

Comparison of Repositioning Error According to Eccentric and Concentric Contraction of the Ankle Dorsiflexor Muscle in the Ankle Joint

Jin-Hee Oh¹, Ju-Sang Kim², Chang-Jae Oh³, Mi-Young Lee⁴

¹Department of Medical Science, Graduate School, Daegu Haany University, Daegu, Republic of Korea; ²Department of physical Therapy, Yeungnam University College, Daegu, Republic of Korea; ³Rehabilitation Center, Yeungnam University Medical Center, Daegu, Republic of Korea; ⁴Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation and Health, Daegu Haany University, Daegu, Republic of Korea

Purpose: This study compared the movement control ability of the ankle joint according to the type of muscle contraction, namely, eccentric or concentric contractions.

Methods: Thirty-four healthy adult subjects participated in this study. As a single group, before the experiment, the subjects were trained on achieving the required position of the ankle around the target point by manually controlling the ankle dorsiflexion by 10°. Concentric contraction starts at 0° and continues until the target point of 10° is reached. During an eccentric contraction, the ankle joint starts at 20° ankle dorsiflexion and continues till the target point is reached. Movements using eccentric contraction and concentric contraction were randomly performed 3 times each.

Results: The results of comparing the difference in the movement control ability of each type of muscle contraction of ankle dorsiflexion showed that the measurement-remeasurement error was significant in eccentric contraction.

Conclusion: In this study, we found a difference in the ability to control movement according to whether the contraction is eccentric or concentric. Therefore, we propose that the ability to control movement is affected by the type of muscle contraction.

Keywords: Concentric, Eccentric, Movement control, Muscle contraction

서론

신체 움직임은 세 가지 유형의 근수축에 의해 수행된다. 근육의 길이는 변하지 않지만 긴장도가 높아지는 등척성 수축(isometric contraction), 근 길이가 짧아지면서 긴장도가 발생하는 구심성 수축(concentric contraction)과 길이가 늘어나면서 긴장도가 발생하는 원심성 수축(eccentric contraction)으로 구분할 수 있다.^{1,2} 근수축 유형에 있어 구심성과 원심성 수축은 일상동작에 필수적인 요소로 작용한다. 구심성 수축은 근력을 강화하기에 효과적이며, 또한 원심성 수축은 에너지비용 및 대사측면에서 효율적으로 노인과 임상 재활에서 근력과 균형각각을 향상시키는데 적합하다.^{3,6} 특히 계단을 내려가거나 내리막을 걸을 때 그리고 의자에 앉을 때와 같이 신체의 감속 동안 근육이 원심성 수축을 함으로써 에너지를 일시적으로 저장하고, 흡수된 에너지가 탄성에너지와 반동에너지로 방출하면서 충격흡수의 작용을 한다.^{7,9}

근수축 유형에 따라 신경생리학적 및 운동생리학적 특성에 차이가 있다는 것은 여러 선행 연구를 통해 증명되었다. 같은 크기의 힘과 속도로 수축할 때 구심성 수축보다 원심성 수축에서 더 적은 뉴런이 활성화되며, 주어진 힘이 발생되기 위한 근전도 진폭 또한 구심성 수축보다 원심성 수축 동안 낮다고 보고되었다.¹⁰⁻¹² 두 가지 근수축 유형을 단백질 수준에서 보았을 때 원심성 수축은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 이미 상당수 결합된 위치에서 시작하기 때문에 구심성 수축보다 빠르게 재결합하여 낮은 에너지 비용으로 높은 힘을 발생한다.¹³ 원심성 수축은 더 적은 에너지를 필요로 하며, 더 큰 장력을 발생시킨다.^{14,15} 이렇듯 에너지 효율성에서 비교하였을 때도 원심성 수축과 구심성 수축은 차이가 있다. 원심성 수축은 손상으로 인한 제한된 기능을 보완하여 근육이 적응할 수 있는 변화를 유발하고 조직 손상과 통증을 감소시킬 수 있는 반면 강도 높은 원심성 수축은 운동 부상을 유발할 가능성이 높다.¹⁶⁻¹⁹ 낮은 대사 비용으로 높

Received March 20, 2023 Revised April 9, 2023

Accepted April 25, 2023

Corresponding author Mi-Young Lee
mykawai@hanmail.net

Copyright ©2023 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute 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.

은 부하를 달성하는 원심성 수축은 다양한 심장 질환을 가진 환자에 게도 안전한 훈련으로 보고된다.²⁰ 근력훈련 및 재활을 목적으로 하는 등속성 운동의 경우, 환자의 편의성과 안정성을 위하여 주로 구심 성 수축 위주의 근력검사와 근력 보강운동을 시행한다.²¹ 근수축 유형에 따라 생리학적 및 운동역학적 측면에 차이가 있어 물리치료 및 스포츠 의학 등 다양한 운동프로그램으로 이용되고 있다.

한편, 고유수용감각은 인간이 자신의 신체부위의 위치나 움직임을 감지하고 인지하는 능력을 의미한다. 운동 후 각각의 관절에서 발생하는 수축 혹은 신체부위의 위치 이동 등에 대한 민감도와 정확도를 나타내는 지표이다. 고유수용감각은 근육, 인대, 힘줄, 관절, 피부, 림프관 및 혈관에서 발생하는 수용기로부터 정보를 수신하여 나타낸다. 이러한 정보는 중추신경계에서 처리되어 인지적인 능력으로 표출되며, 균형유지, 자세제어, 운동제어에 필수적인 역할을 한다.²² 고유수용감각을 평가하기 위해 재위치 오차(reposition error)를 사용되고 있다.^{23,24} 이전의 연구에서는 관절 재위치 오차를 통해 허리 통증과 고유수용감각 관계를 확인하였으며, 또한 재위치 오차를 통해 다양한 연령대에서 고유감각과 균형 능력 사이의 관계를 확인할 수 있는 연구도 이루어지고 있다.^{25,26}

고유수용감각은 근육수용기인 근방추와 골지건 기관을 통해 전달된 감각정보를 받아들여 신체 분절의 위치와 방향을 인식하는데, 근수축 유형이 분절 위치 인식에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구는 부족한 실정이다.²⁷ 따라서 본 연구에서는 발등 굽힘근의 근수축 유형에 따른 운동조절능력을 발목관절 재위치 오차 값을 통해 알아보고자 한다.

연구 방법

1. 연구대상

본 연구에 참여한 대상자는 건강한 성인 34명으로 대상자의 선정기준은 만 18세 이상의 성인으로 근골격 및 신경계 질환이 없는 건강한 자, 연구자의 지시를 이해하고 따를 수 있는 자, 발목관절의 골절과 염좌와 같은 손상 이력이 없는 자, 하지의 감각장애가 없는 자로 선정하였다. 실험 전 연구의 목적과 실험 방법에 대하여 충분히 이해하였으며 연구에 자발적으로 참여하고 동의하였다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

	data
Sex (male / female)	34 (17/17)
Age (yr)	23.0±12.4
Height (cm)	167.9±7.6
Weight (kg)	64.8±12.0

2. 측정도구 및 방법

본 연구에서는 스포츠 분석을 위한 비디오 플레이어인 Kinovea software (Kinovea® version 0.9.5 Kinovea, Bordeaux, France)를 활용하였으며, Kinovea내에서 지원하는 각도계(Goniometer)를 사용하여 대상자의 발목 각도를 분석하였다. 발목관절의 수축형태가 전환되는 순간을 포착하기 위해 발꿈치 끝에서 30cm 떨어진 곳에서 영상으로 기록하였다. 각도계의 고정팔(SA, stabilization arm)은 종아리뼈 머리(fibular head)와 가쪽 복사뼈(lateral malleolus)를 이은 가상의 선, 움직임팔(MA, movement arm)은 5번째 발허리뼈(5th metatarsal bone)와 일치시켜 이 두 선이 만나는 점을 축(axis)으로 설정하였다(Figure 1).²⁸ 실제 수행한 각도와 기준 각도와의 차이 값을 측정하였다.

3. 구심성과 원심성 운동

본 연구는 단일그룹으로 진행되며, 대상자는 앉은 자세에서 무릎관절과 엉덩관절을 90° 굽히고 발을 바닥에 붙이게 한 후 시선은 정면을 향하도록 하여 발목 움직임에 대한 시각적 정보를 차단하였다. 발목관절 발등 굽힘 구심성 수축과 원심성 수축 모두 실험 전 대상자에게 발목관절의 기준점인 발등 굽힘 10°를 수동적으로 조절하여 기준점에 대한 발목의 위치를 교육하였다. 발목관절에서 발등굽힘근의 구심성 수축과 원심성 수축 동안 발 무게에 대한 중력을 제외한 어떠한 저항도 제공하지 않았다. 발목관절의 발등굽힘근의 구심성 수축 시 발목관절은 0°에서 시작하여 기준점에 도달하였을 때를 5초간 유지하도록 지시하고, 발목관절의 발등굽힘근의 원심성 수축 시 발목관절은 발등굽힘 20°에서 시작하여 기준점에 도달하였을 때를 5초간 유지하도록 지시하였다. 구심성 수축과 원심성 수축의 순서는 무



Figure 1. Stabilization arm and movement arm for ankle joint control.

Table 2. Comparison of the position-reposition error degree for concentric and eccentric contraction

	Concentric	Eccentric	t	p
Position-reposition Error degree (°)	3.36±1.54	4.12±2.02	-3.253	0.003

작위로 시행하였으며, 각 3회 실시하여 평균값을 산출하였다. 구심성과 원심성 운동을 하는 동안의 모든 과정은 영상으로 기록한 후 오차 각을 분석하였다.

4. 자료분석

본 연구의 모든 자료는 SPSS 12.0K for Window (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 분석하였다. 모든 측정값은 평균과 표준편차로 산출하였다. 발목관절에서 발등굽힘근의 구심성 수축과 원심성 수축에 따른 발목관절 재위치 오차 각의 차이를 알아보기 위해 대응표본 t-검정하였다. 모든 통계학적 유의수준은 α=0.05로 하였다.

결 과

본 연구는 Kinovea를 이용하여 근수축 유형에 따른 발목각도 조절력 차이를 분석하였다. 분석 결과, 발목관절에서 발등굽힘근의 원심성 수축 시 오차 각도는 4.12±2.02°, 구심성 수축 시 오차 각도는 3.36±1.54°로 측정되었다. 이에 따라 발목관절에서 발등굽힘근의 원심성 수축과 구심성 수축 간 발목각도 조절력 차이가 존재함을 확인하였으며, 통계 분석 결과 원심성 수축이 구심성 수축보다 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 2).

고 찰

본 연구는 근수축 유형에 따른 조절능력에 대한 차이를 발목관절을 대상으로 발등굽힘 조절력을 통해 차이가 나타나는지 알아보았다. 결과에서 구심성 및 원심성 수축 시 기준 각도와 실제 수행한 각도의 차이 값이 원심성 수축은 4.12±2.02°, 구심성 수축은 3.36±1.54°로 통계학적으로 유의한 차이가 나타났다.

Bigland-Ritchie와 Woods²⁹의 연구에서 전동 자전거 에르고미터를 이용하여 원심성 수축과 구심성 수축을 하는 동안 가쪽넓은근의 근전도와 정상 상태의 산소 섭취속도를 동시에 측정한 결과 원심성 수축 시 근 섬유의 활성이 더 적었으며, 근 섬유의 길이가 늘어날 때 산소의 흡수도 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Daly 등³⁰의 연구에서 정상인을 대상으로 근수축 유형에 따른 피질 신경원 활성화도 차이를 확인한 결과 원심성 수축의 피질전위 정점 값이 더 높게 나타났으며, 운동단위의 활동 전위 동원은 보다 감소되었다고 보고하였다. 또한

뇌신경 사이 전기적 흐름이 구심성 수축에 비해 원심성 수축에서 더 적은 것으로 나타났다.³¹ Linnamo 등³²의 등척성 수축 사전활성화에 따른 구심성 수축과 원심성 수축 시 운동단위의 활성화 패턴을 비교한 실험에서 원심성 수축보다 구심성 수축에서 운동단위의 모집과 근전도의 진폭이 더 높았다고 보고하였다. 여러 선행연구를 통해 구심성 수축과 원심성 수축의 다양한 특성에서 차이를 확인할 수 있었고, 그 중 수축 유형에 따른 운동단위의 동원률이 본 연구 결과에 영향을 미쳤다고 생각된다. 운동단위의 활성화는 근육의 힘 증가를 야기시키지만 근육의 가변성은 감소시킨다.^{33,34} 따라서 구심성 수축 시 운동단위가 더 많이 활성화되어 힘의 변동을 감소시키기 때문에 더 정확한 조절력을 보였고, 상대적으로 운동단위가 적게 활성화되는 원심성 수축에서 힘의 변동이 증가되기 때문에 두 근수축 유형의 조절력에 차이가 있었을 것이라 생각된다. 또한 공간 내에서 관절의 위치 및 방향성을 지각하는 위치감각은 고유수용감각 중 하나로 근육, 관절, 피부수용기로부터 들어오는 정보로부터 강화된다.^{35,36} Sainburg 등³⁷의 연구에서 손가락뼈사이관절의 위치-재위치 오차를 측정할 결과 고유수용감각이 상실된 환자에서 위치-재조정 오차가 더욱 크게 나타났으며, 원심성 수축에서 오차가 더욱 커졌다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구의 대상자들은 정상 성인으로 관절과 피부수용기에 대한 정상적인 감각을 가지고 있음에도 발등굽힘근의 구심성 수축과 원심성 수축에 따른 발목관절 재위치 오차 각 차이가 보였다. 이는 근수축의 유형이 운동조절능력에 영향을 미친다는 사실을 더욱 뒷받침해준다.

본 연구에서 근수축 유형에 따른 운동단위의 동원률 차이가 근육의 힘뿐만 아니라 측정 재 측정 시 관절 조절력에도 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 따라서 정상 성인뿐만 아니라 뇌 손상 환자의 기능적 훈련 시 원심성 수축을 요구하는 과제에서 더 많은 외재적 피드백으로 정확한 자세교육이 필요할 것으로 사료된다.

연구 제한점으로 운동 단위는 하나의 신경과 근섬유로 구성되며 운동단위의 정보를 수집하기 위해 근전도를 이용한다.³⁸⁻⁴⁰ 하지만 본 연구에서 근수축 방법이 바뀌는 순간을 영상으로 포착하였기에 실제 근수축 활성화 정도를 정확한 수치로 파악하기 어려웠으며, 근수축 전환점을 명확하게 설명하기 어렵다. 따라서 추후 연구에서 실험 장비를 이용한 실험적 입증 이 필요할 것이다. 또한 발목관절에 국한하여 실험하였기 때문에 다양한 관절의 조절 능력에 대한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1F1A1062308).

REFERENCES

1. LaStayo PC, Woolf JM, Lewek MD et al. Eccentric muscle contractions: their contribution to injury, prevention, rehabilitation, and sport. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(10):557-71.
2. Bae SS. Biomechanical analysis of combination of isotonic in proprioceptive neuromuscular facilitation. *J Kor Phys Ther.* 2002;14(4):260-5.
3. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(2):249-58.
4. Thompson PD, Buchner D, Pina IL et al. Exercise and physical activity in the prevention and treatment of atherosclerotic cardiovascular disease: a statement from the Council on Clinical Cardiology (Subcommittee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention) and the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity). *Circulation.* 2003;107(24):3109-16.
5. Hortobágyi T, DeVita P. Favorable neuromuscular and cardiovascular responses to 7 days of exercise with an eccentric overload in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000;55(8):B401-10.
6. Roig M, Macintyre DL, Eng JJ et al. Preservation of eccentric strength in older adults: evidence, mechanisms and implications for training and rehabilitation. *Exp Gerontol.* 2010;45(6):400-9.
7. Lindstedt SL, LaStayo PC, Reich TE. When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol Sci.* 2001; 16:256-61.
8. Leadbetter WB. Cell-matrix response in tendon injury. *Clin Sports Med.* 1992;11(3):533-78.
9. Canepa P, Papaxanthis C, Bisio A et al. Motor cortical excitability changes in preparation to concentric and eccentric movements. *Neuroscience.* 2021;475:73-82.
10. Kim CS, Kim JH, Park MK et al. Comparison of cortical activation between concentric and eccentric exercise: a pilot fMRI study. *J Kor Phys Ther.* 2010;22(2):25-30.
11. Ema R. Unique neuromuscular activation of the rectus femoris during concentric and eccentric cycling. *J Electromyogr Kinesiol.* 2022;63: 102638.
12. Green DJ, Thomas K, Ross EZ et al. Torque, power and muscle activation of eccentric and concentric isokinetic cycling. *J Electromyogr Kinesiol.* 2018;40:56-63.
13. Franchi MV, Reeves ND, Narici MV. Skeletal muscle remodeling in response to eccentric vs. concentric loading: morphological, molecular, and metabolic adaptations. *Front Physiol.* 2017;8:447.
14. Fang Y, Siemionow V, Sahgal V et al. Greater movement-related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *J Neurophysiol.* 2001;86(4):1764-72.
15. Park SK, Kim JH. Effects of isokinetic eccentric training on lower extremity muscle activation and walking velocity in stroke patients. *J Kor Phys Ther.* 2015;27(4):190-5.
16. Silbernagel KG, Thomeé R, Thomeé P et al. Eccentric overload training for patients with chronic achilles tendon pain--a randomised controlled study with reliability testing of the evaluation methods. *Scand J Med Sci Sports.* 2001;11(4):197-206.
17. Shellock FG, Fukunaga T, Mink JH et al. Exertional muscle injury: evaluation of concentric versus eccentric actions with serial MR imaging. *Radiology.* 1991;179(3):659-64.
18. Yoon BC, Ham YW, Lee MH et al. Effects of massage and microwave diathermy therapy on eccentric exercise-induced DOMS and indices of muscle damage. *J Kor Phys Ther.* 2001;13(2):293-303.
19. Choi JC. A study on the correlation coefficients between delayed muscle soreness after eccentric exercise, muscle strength, CPK and ALD. *J Kor Phys Ther.* 1999;11(1):103-10.
20. Hoppeler H. Moderate load eccentric exercise: a distinct novel training modality. *Front Physiol.* 2016;7:483.
21. Lee WL. A study of the change of muscle peak torque after eccentric contraction and concentric contraction training. *Korean J Sports Med.* 2000; 18(1):139-46.
22. Proske U, Gandevia SC. The proprioceptive senses: their roles in signaling body shape, body position and movement, and muscle force. *Physiol Rev.* 2012;92(4):1651-97.
23. Newcomer K, Laskowski ER, Yu B et al. Repositioning error in low back pain: Comparing trunk repositioning error in subjects with chronic low back pain and control subjects. *Spine.* 2000;25(2):245-50.
24. Rausch Osthoff AK, Ernst MJ, Rast FM et al. Measuring lumbar reposition accuracy in patients with unspecific low back pain: systematic review and meta-analysis. *Spine.* 2015;40(2):E97-111.
25. Gill KP, Callaghan MJ. The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. *Spine.* 1998;23(3):371-7.
26. Nieto-Guisado A, Solana-Tramunt M, Marco-Ahulló A et al. The mediating role of vision in the relationship between proprioception and postural control in older adults, as compared to teenagers and younger and middle-aged adults. *Healthcare.* 2022;10(1):103.
27. Burgess PR, Wei JY, Clark FJ. Signaling of kinesthetic information by peripheral sensory receptors. *Annu Rev Neurosci.* 1992;5:171-88.
28. Seol P. Effect of local vibration on triceps surae flexibility compared to static stretching. *J Kor Phys Ther.* 2020;32(4):245-9.
29. Bigland-Ritchie B, Woods JJ. Integrated electromyogram and oxygen uptake during positive and negative work. *J Physiol.* 1976;260(2):267-77.
30. Daly JJ, Fang Y, Perepezko EM et al. Prolonged cognitive planning time, elevated cognitive effort, and relationship to coordination and motor control following stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2006; 14(2): 168-71.
31. Yang GA, Kim SH, Lim YE et al. Comparison of the activity of cortical neurons according to muscle contraction type between post stroke hemiplegic subjects and healthy subjects. *J Kor Phys Ther.* 2009;21(1):73-80.
32. Linnamo V, Moritani T, Nicol C et al. Motor unit activation patterns during isometric, concentric and eccentric actions at different force levels. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13(1):93-101.
33. Kunugi S, Holobar A, Kodera T et al. Motor unit firing patterns on increasing force during force and position tasks. *J Neurophysiol.* 2021; 126(5):1653-9.
34. Héroux ME, Pari G, Norman KE. The effect of contraction intensity on force fluctuations and motor unit entrainment in individuals with essential tremor. *Clin Neurophysiol.* 2010;121(2):233-9.
35. Gandevia SC, McCloskey DI, Burke D. Kinaesthetic signals and muscle contraction. *Trends Neurosci.* 1992;15(2):62-5.
36. Köprülüoğlu M, Naz İ, Solmaz D et al. Hand functions and joint position sense in patients with psoriatic arthritis- a comparison with rheumatoid arthritis and healthy controls. *Clin Biomech.* 2022;95:105640.
37. Sainburg RL, Poizner H, Ghez C. Loss of proprioception produces defi-

- cits in interjoint coordination. *J Neurophysiol.* 70(5):1993;2136-47.
38. You SH. Electromyographic and biomechanical analysis of postural movement patterns during the backward sway. *Phys Ther Korea.* 1995; 2(2): 1-8.
39. Jeon S, Ye X, Miller WM et al. Effect of repeated eccentric exercise on muscle damage markers and motor unit control strategies in arm and hand muscle. *Sports Med Health Sci.* 2022;4(1):44-53.
40. Del Vecchio A, Holobar A, Falla D et al. Tutorial: Analysis of motor unit discharge characteristics from high-density surface EMG signals. *J Electromyogr Kinesiol.* 2020;53:102426.