

Tensiomyography를 이용한 중추 피로에 의한 근육 손상의 평가

순천향대학교 스포츠의학과¹, 선수촌병원 정형외과²

채 정 훈¹ · 배 상 원²

Evaluation of Muscle Damage by Central Fatigue Using Tensiomyography

Jung Hoon Chai¹, Sang-Won Bae²

¹Department of Sports Medicine, Soonchunhyang University, Asan, ²Department of Orthopaedics, Sunsoochon Hospital, Seoul, Korea

This study compared muscle function pre- and post-central fatigue caused by a marathon, using maximal displacement (Dm), which indicates muscular stiffness in tensiomyography (TMG) results. Blood and noninvasive TMG test were performed on the 1st, 3rd, and 5th days before and immediately after the marathon. The muscles assessed were the vastus lateralis (VL), vastus medialis (VM), rectus femoris (RF), biceps femoris (BF), semitendinosus (ST), tibialis anterior, gastrocnemius lateralis, and gastrocnemius medialis. Lactate dehydrogenase levels (lactate dehydrogenase) increased sharply immediately after the competition and decreased to the pre-competition level after 5 days. Dm was the highest immediately post-competition at BF, ST, VL, VM, and RF muscles, with a tendency to decrease to pre-competition levels after 1 day. The application of TMG to identify muscle changes in central fatigue studies may be appropriate in the proximal region rather than in the distal region.

Keywords: Lactate dehydrogenase, Marathon, Muscle, Myalgia, Neurologic

서 론

근피로는 근육의 반복적인 움직임으로 인하여 근육의 수의적 인 능력이 감소되는 현상으로^{1,3}, 신경근 접합부의 기능이 약화되

어 힘이 감소하는 말초 피로와 중추신경계의 운동신경 약화로 힘이 감소하는 중추 피로의 두 가지 상황을 포함한다⁴. 근육의 활성도를 평가하기 위한 움직임 혹은 동작을 요구하여 검사하는 electromyography (EMG) 방법은 중추신경계의 피로가 유발된 피험자에게 적용하기에는 어려움이 있을 것이다. 비침습적인 근육의 검사방법으로 소개되고 있는 tensiomyography (TMG)는 전기 자극을 통해 안정된 피험자의 근수축을 유도하여 근육에서 나타나는 반응을 분석하는 것이며, 각 근육 부위에서 가장 높게 솟아오른 근배위를 측정하는 것을 원칙으로 한다. 대표적인 결과 변인은 이동 변위(maximal displacement [Dm])로서 전기적 자극에 의해 움직인 근육의 이동거리를 의미하며, 근육의 강직도와 장력과의 상관 관계가 높아 근육의 손상 혹은 근육의 기능을 평가하는 변인으로 설명하고 있다⁵. TMG는 EMG 방법과는 다르게 안정된 상태에서 측정할 수 있으며, 이동이 간편하여 현장에서

Received: July 31, 2020 Revised: September 16, 2020

Accepted: October 6, 2020

Correspondence: Sang-Won Bae

Department of Orthopaedics, Sunsoochon Hospital, 17 Olympic-ro 4-gil, Songpa-gu, Seoul 05572, Korea

Tel: +82-2-431-3379, Fax: +82-2-6925-3901

E-mail: yodeo@naver.com

Copyright ©2020 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.

쉽게 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Garcia-Manso 등⁶은 철인3종 선수들을 대상으로 경기 전후의 넵다리곧은근(rectus femoris [RF])과 넵다리두갈래근(biceps femoris [BF])의 변화를 비교하여 경기 직후 Dm이 과도하게 증가하는 결과를 보고하였고, Giovanelli 등⁷은 언덕 마라톤에 참여한 선수들의 가쪽넓은근(vastus lateralis [VL])에서 경기직후 델 경직되어, Dm이 증가하는 결과를 제시하여, 중추신경의 근피로에 의해 TMG의 Dm이 증가할 수 있다는 종합적인 결론을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 선행논문에서는 일반적으로 근육의 손상 혹은 피로를 평가하는 생화학적 지표로서 명확한 정보를 제공하지 못했으며⁸, 검사부위도 상이하게 측정되었다.

한편, 중추 피로는 중강도 수준에서 장기간의 활동 혹은 운동으로 유발되는 것이며, 중장거리 혹은 마라톤과 같은 종목에서 나타날 수 있다고 하였다^{4,5}. 따라서, 본 연구는 풀코스마라톤 경기참여 후 하지근육 전체에서 나타나는 근육들의 피로를 TMG로 검사하여, 생화학적 지표와 비교함으로써 중추 피로의 영향을 더 많이 받는 근육을 확인해보고자 하였다.

증례

이 연구는 순천향대학교 연구윤리위원회의 승인을 받아 진행하였다(IRB No. 1040875-201710-BM-044). 피험자는 풀코스마라톤경기의 3회 이상의 완주경험이 있고 근골격계 질환 등이 없는 건강한 1명의 피험자로, 신장 175 cm, 체중 90 kg이었다. 피험자는 매해 가을에 개최되어 서울 잠실에서 경기도 성남 일대로 달리는 중앙일보마라톤(섭씨 6~10°의 맑은 날씨)에 참여하였으며, 경기 전날, 경기 직후, 1일, 3일, 5일까지 총 5회에 걸쳐 채혈과 TMG 검사를 실시하였다. 채혈은 정중주와정맥에서 채취하여 업체에 의뢰하였고, 혈액 변인으로는 근손상의 지표인 lactate dehydrogenase (LDH), creatine phosphokinase (CPK), creatine kinase-myoglobin (CK-MB)을 선정하였다⁸. TMG의 검사

방법은 먼저 측정하고자 하는 근육부위에서 가장 높게 치솟아 있는 근배위에 센서를 위치시키고, 센서를 중심으로 약 2-3 cm 이격시켜 전극을 부착시켰다. 최초의 전기자극은 20 mA에서 시작하였고, 10 mA씩 증가시켜 근배위의 이동변위인 Dm이 최대 수치에 이를 때까지 진행하였다. 이때, 결과 변인은 근피로와 상관관계가 높은 Dm을 평가하였다. 측정부위는 가쪽넓은근(VL), 안쪽넓은근(vastus medialis [VM]), 넵다리곧은근(RF), 넵다리두갈래근(BF), 반힘줄모양근(semi-tendinosus [ST]), 외에 앞정강근(tibialis anterior [TA]), 가쪽장딴지근(gastrocnemius lateralis [GL]), 안쪽장딴지근(gastrocnemius medialis [GM])을 양쪽에서 모두 실시하였으며, 우세성 다리의 효과를 배제하기 위해 Dm은 양쪽다리에서 나온 결과의 합으로 분석하였다⁶. 이때, 동일한 부위의 반복측정에 대한 오차를 줄이기 위해 인체용 펜으로 표식을 실시하였으며, 마지막 5차 검사 때까지 유지될 수 있도록 수시로 덧칠을 하였다.

1. 혈액 및 TMG 결과 분석

마라톤 전후 및 회복기 5일까지의 혈액분석 결과는 Fig. 1에 나타내었으며, 각 하지 근육에서의 Dm의 변화는 Figs. 2-4에 제시하였다. LDH는 마라톤경기 직후에서 가장 높게 나타났으며, CPK와 CK-MB는 경기 다음날 회복 1일차에서 가장 높았다. 회복 5일째에서는 LDH, CPK, CK-MB 모두 경기전 수준으로 돌아가는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 넵다리뒤근육의 BF, ST는 마라톤경기 직후에서 높게 나타났으며, 회복 1일째부터 경기전의 수준이나 그 이하로 감소하였다(Fig. 2).

넵다리네갈래근의 VL, VM, RF는 마라톤경기 직후에서 높게 나타났으며, 회복 1일째부터 경기전의 수준으로 감소하였다(Fig. 3). TA의 Dm은 경기 전에서 가장 높았고, 경기후 회복 1일차에서 가장 낮았으며, 회복 3일차에 증가하였으나, 회복 5일차에도 경기전 수준으로 증가되지 않았다. GL의 Dm은 경기후 1일차에서 가장 낮았고, 회복 3일차에 경기전 수준보다 증가하여, 5일차까지

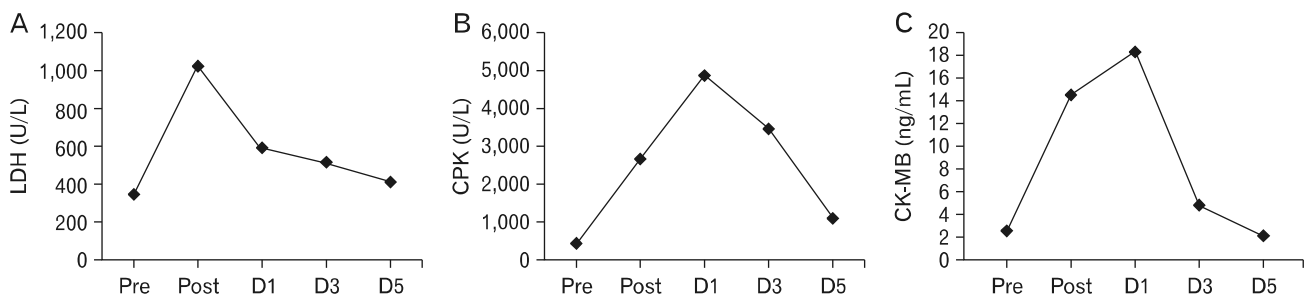


Fig. 1. Blood analysis. (A) Lactate dehydrogenase (LDH). (B) Creatine phosphokinase (CPK). (C) Creatine kinase-myoglobin (CK-MB). D1: 1 day later, D3: 3 days later, D5: 5 days later.

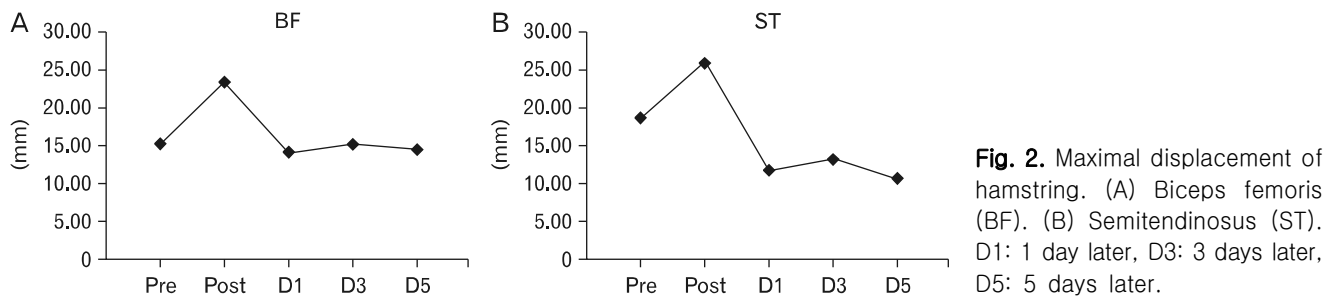


Fig. 2. Maximal displacement of hamstring. (A) Biceps femoris (BF). (B) Semitendinosus (ST). D1: 1 day later, D3: 3 days later, D5: 5 days later.

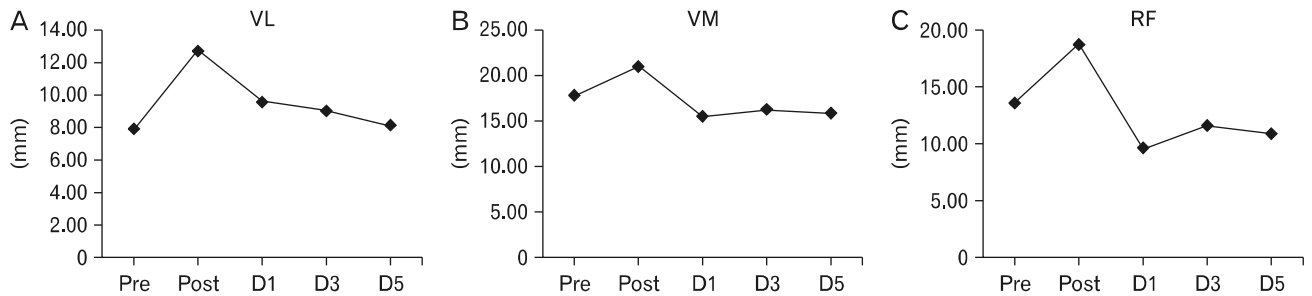


Fig. 3. Maximal displacement of quadriceps. (A) Vastus lateralis (VL). (B) Vastus medialis (VM). (C) Rectus femoris (RF). D1: 1 day later, D3: 3 days later, D5: 5 days later.

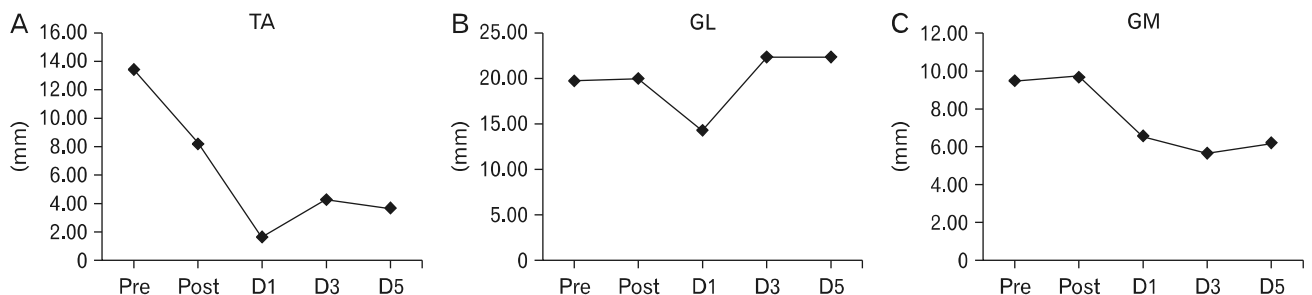


Fig. 4. Maximal displacement of lower leg. (A) Tibialis anterior (TA). (B) Gastrocnemius lateralis (GL). (C) Gastrocnemius medialis (GM). D1: 1 day later, D3: 3 days later, D5: 5 days later.

유지되는 것으로 보였다. GM의 Dm은 경기 직후에 경기전보다 약간 증가하였고, 회복 1일차와 3일차까지 감소하다, 5일차에서 약간 증가되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 4).

고 찰

이 연구는 근육의 손상 혹은 피로의 생화학적 지표로서 TMG의 주요 변인인 Dm과의 경향성을 비교해보고, 마라톤과 같은 중추 피로에 의해 더욱 영향을 받는 하지의 근육을 확인해보고자 하였다. 말초 피로가 짧은 시간에 고강도의 운동에 의해 최대 수축능력이 감소하는 것과는 다르게 중추 피로는 길게 지속되고 반복되는 움직임에 의해 발생되며, 마라톤과 같은 중강도 운동 상황에서 나타나는 것으로 알려져 있다⁴. LDH는 젖산의

산화를 촉진시키는 역할을 하기에 실제로 피로연구에서 젖산을 평가하는 인자로 사용되고 있다⁹. 마라톤에 의한 피로는 LDH가 경기직후 증가하며, CK 및 CK-MB는 경기 후 24시간 후에 증가하는 것으로 알려져 있으며¹⁰, 이는 본 연구의 혈액변인 결과가 유사한 패턴으로 나타난 것을 확인할 수 있었다.

본 연구는 Garcia-Manso 등⁶의 결과제시 방법을 참고하여 우세성 다리의 효과를 배제하기 위해 양쪽 다리의 Dm을 합한 값을 결과로 나타냈다. 넙다리뒤근육(BF, ST)과 넙다리내갈래근(VL, RF, VM)에서는 LDH의 경향성과 유사하게 경기 직후에서 증가하였으며, 24시간 이후에 경기전의 상태로 감소되는 양상을 확인할 수 있었다. Giovanelli 등⁷은 경기 직후 Dm이 증가하는 현상은 근육의 경직도가 감소되는 상황으로 설명하였는데, 이는 중강도 이하의 장기간 일회성 운동인 마라톤에 의해 근육의 수축

력이 저하되어 탄력이 감소한 것이라 예상하고 있다. 반면, 하퇴근의 TA, GL, GM에서는 혈액변인과 유사한 패턴을 찾아볼 수 없었다.

본 연구는 선행연구를 기반으로 마라톤으로서 중추피로를 유발하고, 이를 비침습적인 근육의 측정방법인 TMG로 예측할 수 있을지를 확인하고자 하였지만, 단일 피험자였으며, 중추피로 평가 변인을 혈액과 TMG 결과만으로 제시한 제한점을 가지고 있다. 따라서 추후 연구에서는 충분한 사례수를 확보함과 동시에 중추피로와 관련된 다양한 변인을 적용하여 평가할 필요가 있겠다.

연구의 결과를 정리하면, 마라톤과 같은 극심한 운동은 중추 피로를 유발하지만, 이는 하퇴근보다는 상대적으로 근육의 사이즈가 더 크고, 힘을 발휘하는 허벅지근에서 두드러지게 나타나는 것을 알 수 있었다. 아마도 중추 피로는 신체중심에 가깝고 사이즈가 큰 근육에 주로 영향을 미치며, 반대로 말단부위의 근육은 중추 피로의 영향을 덜 받거나, 회복속도가 빠를 수 있다는 예상을 할 수 있겠다. 따라서, 중추 피로에 의한 근손상 연구에서는 말단부위의 근육보다는 중심부의 근육을 평가하는 것이 더 적합할 것으로 보인다.

Conflict of Interest

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

ORCID

Jung Hoon Chai <https://orcid.org/0000-0002-9523-5827>

Sang-Won Bae <https://orcid.org/0000-0002-9933-3803>

Author Contributions

Conceptualization: SWB. Data curation: JHC. Formal analysis:

JHC. Methodology: JHC. Project administration: JHC. Writing-original draft: JHC. Writing-review & editing: SWB.

References

1. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008;88:287-332.
2. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol* (1985) 1992;72:1631-48.
3. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001;81:1725-89.
4. Carroll TJ, Taylor JL, Gandevia SC. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. *J Appl Physiol* (1985) 2017;122:1068-76.
5. Simunic B, Degens H, Rittweger J, Narici M, Mekjavic IB, Pisot R. Noninvasive estimation of myosin heavy chain composition in human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc* 2011;43:1619-25.
6. Garcia-Manso JM, Rodriguez-Ruiz D, Rodriguez-Matoso D, de Saa Y, Sarmiento S, Quiroga M. Assessment of muscle fatigue after an ultra-endurance triathlon using tensiomyography (TMG). *J Sports Sci* 2011;29:619-25.
7. Giovanelli N, Taboga P, Rejc E, Simunic B, Antonutto G, Lazzer S. Effects of an uphill marathon on running mechanics and lower-limb muscle fatigue. *Int J Sports Physiol Perform* 2016;11:522-9.
8. Brancaccio P, Lippi G, Maffulli N. Biochemical markers of muscular damage. *Clin Chem Lab Med* 2010;48:757-67.
9. Brooks GA, Dubouchaud H, Brown M, Sicurello JP, Butz CE. Role of mitochondrial lactate dehydrogenase and lactate oxidation in the intracellular lactate shuttle. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999;96:1129-34.
10. Santos VC, Sierra AP, Oliveira R, et al. Marathon race affects neutrophil surface molecules: role of inflammatory mediators. *PLoS One* 2016;11:e0166687.