

시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 만성 발목 불안정성 성인남성의 하지 근활성도 및 발목 불안정성 지수에 미치는 영향

남승민 · 이도연[†]
대구대학교 물리치료학과

Effects of Visual Feedback Closed Kinetic Chain Exercise on the Lower Limb Muscles Activity and ankle Instability in Adult men with Chronic Ankle Instability

Seung-Min Nam, PT, Ph.D · Do-Youn Lee, PT, Ph.D[†]
Department of Physical Therapy, Daegu University

Received: November 23, 2018 / Revised: November 27, 2018 / Accepted: December 28, 2018
© 2019 J Korean Soc Phys Med

| Abstract |

PURPOSE: This study examined the effects on muscle activation and ankle instability following sudden ankle inversion of the closed kinetic chain exercise using visual feedback to evaluate chronic ankle instability in adult males. **METHODS:** In this study, 28 subjects with chronic ankle instability were recruited and randomly divided into a closed kinetic chain exercise using a visual feedback group(n=13) and an open kinetic chain exercise group(n=15). Each group underwent 30 minutes of exercise three times a week for 8 weeks. The electromyographic(EMG) values of the rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior, peroneus longus, peroneus brevis, and lateral gastrocnemius muscles were

measured to analyze muscle activity. The Cumberland ankle instability tool(CAIT) was used to measure ankle instability.

RESULTS: Both groups showed improvements in tibialis anterior, peroneus longus and CAIT score(p<.05). In the experimental group, there were significant improvements in the rectus femoris, biceps femoris, and lateral gastrocnemius muscle activation(p<.05).

CONCLUSION: The results suggest that closed kinetic chain exercise using visual feedback can be a useful treatment method for patients with chronic ankle instability.

Key Words: Chronic ankle instability, Closed kinetic chain exercise, Muscle activation, Visual feedback

I. 서론

산업의 발달로 현대인들의 스포츠 활동 참여비율은 증가하는 추세이며, 이러한 스포츠 활동의 증가는 스포츠 손상의 증가로 이어진다. 스포츠 손상이 자주 발생하는 신체부위는 하지로써 약 77%를 차지하며, 이 중 발목관절이 18%를 차지한다[1]. 발목관절의 움직임은

[†]Corresponding Author : Do-Youn Lee

triptoyoun@naver.com, <https://orcid.org/0000-0003-0886-1713>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

안쪽변짐, 가쪽변짐, 발등굽힘, 발바닥굽힘이 있으며, 이 중 발목 뺨은 안쪽변짐에 의한 가쪽발목 손상은 85%를 차지한다[2]. 이는 발목의 가쪽이 안쪽보다 상대적으로 약한 구조와 조직으로 구성되어 있기 때문에 안쪽 변짐 동작 시 쉽게 손상이 된다[3].

발목 뺨은 활동장애의 주된 원인이 되며, 통증, 부종, 근력의 약화 및 불안정성 등의 증상을 나타낸다[4]. 발목 뺨 환자 중 20-40%는 통증과 발목관절의 불안정성을 보이는 만성 발목 불안정성(chronic ankle instability: CAI)으로 진행되며, 이는 발목 뺨의 재 손상 유발 요인이 된다고 할 수 있다[5]. 만성 발목 불안정성의 주요 원인은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째 해부학적 불안정성이다. 발목 뺨 시 주로 안쪽인대 보다 상대적으로 약한 가쪽인대 손상이 발생하게 되며, 종아리뼈의 전방전위는 발목 불안정성의 기여 인자가 될 수 있다[6]. 둘째 하지 근육의 근력 약화이다. 특히 앞정강근과 종아리근은 다른 발목관절 주변 근육들과 함께 갑작스런 발목 안쪽변짐 및 발바닥굽힘 시 발목 뺨을 방어하는 역할을 한다고 보고되었으며, 넙다리네갈래근과 넙다리두갈래근은 보행 시 자세 조절 및 발목관절의 안정성을 제공한다 보고되었다[7]. 하지만 만성 발목 불안정성 환자들 대부분에게서 하지의 근력 저하가 나타났다고 보고되었다[8]. 즉 하지 근육의 근력이 정상적일 때, 자세조절 및 발목관절의 안정성을 가질 수 있으며, 재 손상을 방지하고, 예방할 수 있다[9].

발목관절의 안정성을 증가시키기 위해서 임상에서는 약화된 하지의 근육을 강화시키는 훈련이 필요하다. 일반적으로 임상에서는 개별 근육에 근력강화를 시키는 열린 사슬 운동을 실시하고 있으며, 발목관절 주변 근육에 국한되어 운동을 실시한다[10]. 하지만 닫힌 사슬 운동은 체중 부하를 하는 운동을 의미하며, 신체의 원위부 움직임을 제한하여 강한 외부의 저항을 받게 되어 열린 사슬 운동에 비해 하지 전체의 강한 근력을 만든다[11]. 또한 엉덩관절과 무릎관절의 움직임을 통한 조절이 있어야 발목관절이 충격을 적절하게 흡수할 수 있을 뿐만 아니라, 하지 전체의 근력 강화로 인해 관절의 압력을 증가시켜 관절의 안정성을 증가시킨다고 보고되었다[12,13]. 이처럼 발목의 안정성 증가시키

기 위해서는 하지 전체의 근력강화가 필요하다. 하지만 단순한 닫힌 사슬 운동은 환자들이 단조로움을 느껴 얼마 가지 않아 훈련을 중단하게 되지만, 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동은 기구를 이용하여 모니터를 보면서 훈련을 하기 때문에 환자들의 의지에 따라 능동적인 운동이 가능하며, 단조로운 느낌을 보완할 수 있다[14].

이전 연구에 의하면 닫힌 사슬 운동은 주동근과 길항근의 동시수축을 발생시켜 근력강화와 안정성 향상에 효과가 있다고 보고되었다[15]. 닫힌 사슬 운동의 근력 증가 및 안정성 효과에 더해 집중력과 참여도를 높일 수 있는 시각적 피드백을 적용하여 안정성에 보다 효과적인 훈련 방법이 필요하다. 갑작스런 자세변화가 일어날 때는 발목관절 전략보다 무릎관절과 엉덩관절 전략을 더 많이 쓰게 되는데, 하지 전체 근육의 근력에 미치는 영향을 평가한 연구는 부족한 상황이다. 따라서 만성 발목 불안정성의 효과적인 예방과 운동 방법의 연구가 필요하며, 본 연구에서는 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 만성 발목 불안정성을 가진 성인남성의 갑작스런 발목관절 안쪽변짐 유도 시 하지의 근활성도 및 발목 불안정성 지수에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구를 위하여 경상북도 소재의 D대학교 만성 발목 불안정성을 가진 만 19세 이상 30세 미만의 성인 남성 29명으로 대상으로 선정하였다. 만성 발목 불안정성에 대한 선정기준은 발목관절에 휘청거림을 느끼고, cumberland ankle instability tool (CAIT) 점수가 24점 이하인 자를 선정하였다. 연구 대상자 전원에게 실험 참가 동의를 배부하여 본 연구의 목적 및 실험내용을 설명한 후 자발적 참가 동의를 얻었다. 선정된 29명을 대상으로 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동을 실시한 14명의 실험군(EG, n=14)과 하지의 열린 사슬 운동을 실시한 15명의 대조군(CG, n=15)으로 무작위로 배치하였으나, 실험 도중 중도포기 자 1명을 제외하

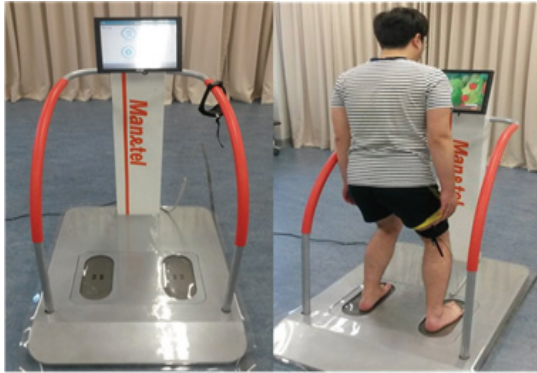


Fig. 1. Bal pro (Man&tel)

실험군 13명과 대조군 15명이 최종 실험을 완료하였다.

2. 운동방법

1) 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동

시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동의 효과를 적용하기 위해 본 연구에서 사용된 훈련기구는 Bal Pro (Bal Pro, Man&tel, Korea)를 사용하였다(Fig. 1). 훈련기구는 발판에 체중부하의 좌우 이동 정도를 감지하는 압력센서(pressure sensor), 무릎관절의 각도를 인식할 수 있는 기울기센서(tilt sensor)가 있으며, 압력센서와 기울기센서에서 인식된 정보를 처리하는 프로그램이 저장된 본체 및 스크린으로 구성되어 있다. 발판의 압력센서는 환자의 체중 중심점을 감지하여 환자의 체중이 좌우로 이동함에 따라 화면상에 손가락 모양의 커서(cursor)가 수평면으로 이동할 수 있도록 한다. 무릎의 기울기센서는 무릎관절의 굽힘 및 펴 동작의 각도 움직임을 감지하여, 무릎을 굽히면 커서가 올라가고 펴면 커서가 내려와 스크린 상의 나무에 무작위로 배치되어 있는 다양한 열매를 터치하는 훈련을 실시한다[16]. 닫힌 사슬 운동은 8주 동안 주 3회 실시하였으며, 1회당 30분의 운동 시간을 가졌다.

2) 열린 사슬 운동

열린 사슬 운동을 적용한 대조군에게는 발목관절 불안정성 환자에게 적용하는 일반적인 운동치료를 실시하였다[10]. 운동은 탄력밴드를 이용하여 발목관절 발등굽

힘, 발바닥굽힘 및 무릎관절 굽힘, 펴의 근력강화운동을 실시하였다. 8주 동안 주 3회 실시하였으며, 1회당 30분의 운동시간을 가졌다(Table 1).

3. 측정방법

1) 트랩도어(trap door)

트랩도어(trap door)는 가쪽 발목관절 뺨과 비슷한 갑작스런 발목관절 안쪽변짐을 유도시키기 위해 특수하게 고안된 발판이다(Fig. 2). 환자는 트랩도어 위에 맨발로 서서 발목관절의 중립 자세를 유지 한다. 양쪽의 수직 지지대에 연결된 밧줄을 당기면 트랩도어가 열리면서 발목관절의 갑작스런 안쪽변짐이 유도된다. 발목관절의 손상이 되지 않는 범위 내에서 갑작스런 발목 안쪽변짐의 각도는 25°가 될 수 있게 설계되었다. 중앙에 경첩(hinge)의 최소한의 마찰 이외에는 트랩도어가 열리는 것에 대하여 영향을 주지 않았으며, 환자가 트랩도어가 열리는 것을 예상할 수 있기 때문에 시각적, 청각적 정보를 차단하였다[17]. 트랩도어를 이용한 갑작스런 발목관절 안쪽변짐은 운동 전과 후에 우세발에 각각 3번씩 실시하였다. 트랩도어는 맞춤 제작하였다.

2) 발목 불안정 지수

Cumberland ankle instability tool (CAIT)은 발목 불안정성을 평가하는 도구로써, 높은 신뢰도와 타당도를 가지고 있으며[18], 발목 불안정성 정도를 점수화 시킨 것이다. 이 평가도구는 발목 통증 여부, 일상 활동에서 발목의 불안정성 여부, 발목 뺨 후 회복시간 등의 주관적인 느낌을 평가하는 9개의 문항으로 구성되어 있으며, 30점 만점에서 28점 이상은 정상, 27점 이하는 잠재된 기능적 발목 불안정성, 24점 이하는 기능적 발목 불안정성으로 정의한다[19]. 측정은 환자의 우세발에 기준으로 측정하였다.

3) 근활성도

발목관절의 갑작스런 안쪽변짐 유도 시 하지의 근활성도를 측정하기 위해 표면 근전도 장비 MP35 (MP35, Biopac System, USA)를 이용하였다. 전극은 근육이 가장 활성화되는 부분인 힘살의 중간부위에 근섬유와 평

Table 1. Open kinetic chain exercise

| | 운동 | 방법 |
|----------|--------------|--|
| 근력 강화 운동 | 발목강화 (발등굽힘) |  앞은 자세에서 최대한 발등굽힘을 15회씩 4세트 실시하며, 총 5분 동안 실시한다. |
| | 발목강화 (발바닥굽힘) |  앞은 자세에서 최대한 발바닥굽힘을 15회씩 4세트 실시하며, 총 5분 동안 실시한다. |
| | 발가락 수건 당기기 |  벽에 기대고 선 자세에서 발가락으로 수건 당기기를 15회씩 4세트 실시하며, 총 5분 동안 실시한다. |
| 스트레칭 운동 | 발바닥 밀기 |  누운 자세에서 최대한 발바닥굽힘을 15회씩 4세트 실시하며, 총 5분 동안 실시한다. |
| | 발 당기기 |  누운 자세에서 최대한 발등굽힘을 15회씩 4세트 실시하며, 총 5분 동안 실시한다. |



Fig. 2. Trap door

행하게 부착하였다. 접지전극은 가쪽 복사뼈(lateral malleolus)에 부착하였다. 각 전극의 부착부위는 넙다리

곧은근(rectus femoris), 넙다리 두갈래근(biceps femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 긴종아리근(peroneus longus), 짧은종아리근(peroneus brevis), 가쪽 장딴지근(lateral gastrocnemius) 총 6개의 근육에 부착하였으며, 전극은 우세다리에 부착하였다. 근활성도의 평균값을 얻기 위하여, 3회의 반복 측정된 진폭을 실효치로 변환하여 비교 분석하였다. 표면 근전도는 수집된 데이터를 일반화하기 위한 과정으로 정상 성인임을 감안하여 최대 수의 적 근 수축(maximal voluntary isometric contraction: MVIC)의 값을 기준으로 측정된 값을 표준화하였다. MVIC의 기준값은 발목관절 안쪽변집 유도 시 근활동의 개시시간부터 2초 동안의 측정되는 활성도의 평균값을 비율

Table 2. General characteristics of subjects

| | Experimental Group | Control Group |
|--------------|--------------------|---------------|
| Age (years) | 23.023±2.916 | 23.752±1.871 |
| Height (cm) | 177.435±6.858 | 174.082±4.031 |
| Weight (kg) | 76.184±16.789 | 66.956±6.453 |
| CAIT (score) | 19.664±4.337 | 21.323±3.211 |

* $p < .05$

Mean±SD : mean±standard deviation

CAIT : Cumberland ankle instability tool

Table 3. Comparison of the muscle activity(MVIC, %) and Cumberland ankle instability tool(CAIT) score for each group at pre- and post-test

| | Experimental Group | | Control Group | |
|--------------|--------------------|----------------|---------------|----------------|
| | Pre-test | Post-test | Pre-test | Post-test |
| RF | 49.512±14.223 | 61.345±18.487* | 51.232±12.264 | 58.942±20.668 |
| BF | 38.225±10.178 | 49.123±9.448* | 41.666±17.283 | 44.584±17.823 |
| TA | 24.332±11.056 | 38.134±21.274* | 28.977±16.356 | 38.339±15.918* |
| PL | 48.797±23.443 | 74.686±25.032* | 50.752±21.067 | 75.786±21.143* |
| PB | 19.286±5.935 | 21.918±6.538 | 20.000±9.148 | 25.964±8.615 |
| GAS | 52.748±16.552 | 71.252±25.641* | 58.000±27.158 | 61.727±25.633 |
| CAIT (score) | 19.614±4.337 | 20.634±3.784* | 21.333±3.283 | 22.783±2.373* |

* $p < .05$

Mean±SD : mean±standard deviation, RF : rectus femoris, BF : biceps femoris, TA : tibialis anterior, PL : peroneus longus, PB : peroneus brevis, GAS : lateral gastrocnemius, CAIT : Cumberland ankle instability tool

로 나타내었다[20]. 각 측정은 3번 씩 측정되었고 평균 값을 내어 계산하였다.

4. 분석방법

본 연구에서 얻어진 실험의 결과는 평균±표준편차 (Mean±SD)로 기술하였다. 각 그룹 내 운동 전후 차이를 검증하기 위하여 대응 표본 t검정(Paired T-test)을 실시하고, 그룹 간의 비교를 위하여 독립 표본 t검정(Independent Sample T-test)을 실시하였다. 통계 처리는 통계처리 프로그램 SPSS 20.0 for Windows를 이용하여 분석하였다. 유의수준 α 는 .05로 하였다.

III. 연구결과

본 연구는 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 하지의 근활성도 및 발목 불안정성 지수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다. 연구대상자의 동질성 검정을 실시한 결과 그룹 간에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p > .05$)(Table 2). 연구결과 발목 불안정성 지수는 실험군과 대조군 모두 운동 전후 유의한 증가가 있었다($p < .05$)(Table 3). 하지 근육의 근활성도는 앞정강근, 긴종아리근은 실험군과 대조군 모두 운동 전후 유의한 증가가 있었으며($p < .05$), 짧은종아리근은 실험군과 대조군 모두 운동 전후 유의한 증가가 없었다($p > .05$). 넙다리 골근근, 넙다리 두갈래근, 가쪽 장딴지근은 실험군에서는 운동 전후 유의한 증가가 있었으나

($p < .05$), 대조군에서는 운동 전·후 유의한 증가가 없었다 ($p > .05$).

IV. 고 찰

본 연구는 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 만성 발목 불안정성을 가진 성인남성의 하지 근활성도 및 발목 불안정성 지수에 미치는 효과를 알아보고자 실시하였다.

시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동은 무릎관절의 굽힘과 폼을 적용하여 신체 무게 중심의 상하 움직임과 무릎관절의 조절을 적용 하도록 하여, 발목관절의 충격을 적절하게 흡수할 수 있을 뿐만 아니라, 발목의 근력 약화 및 불안정성을 무릎관절이 전략적으로 보상할 수 있는 장점이 있다[12]. 또한, 만성 발목 불안정성을 치료하기 위한 대부분의 운동들은 동일한 움직임을 요구하는 단순화된 운동으로써 환자들의 흥미를 유발시키기 어려운 단점이 있다. 하지만 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동은 모니터를 보면서 운동을 하기 때문에 환자들의 집중력과 치료의 참여도를 높일 수 있는 장점이 있다[14].

본 연구에서는 하지의 근활성도를 측정하기 위해서 표면 근전도 장비를 이용하였다. 근전도는 수의적 운동의 근육활동을 간접적으로 측정할 수 있다. 이에 하지 근육의 활성도를 알아보기 위하여 여섯 부위를 측정하였는데, 넙다리 곧은근(rectus femoris), 넙다리 두갈래근(biceps femoris), 앞정강근(tibialis anterior), 긴종아리근(peroneus longus), 짧은종아리근(peroneus brevis), 가쪽장딴지근(lateral gastrocnemius)을 최대 근활성도에 대한 갑작스런 안쪽변짐 유도 시의 근활성도를 측정하였다.

연구결과 그룹 간 유의한 차이는 없었고, 앞정강근, 긴종아리근의 근활성도는 실험군과 대조군 모두 운동 전·후 유의한 증가가 있었다. 이러한 결과는 발목관절 불안정성 환자에게 적용하는 일반적인 운동치료의 효과를 다시 한 번 입증할 수 있었다. 또한 불완전 발판에서의 균형훈련이 앞정강근과 긴종아리근의 근활성도에 유의한 증가가 있었다고 보고된 연구결과와 일치하였으며, 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 만

성 발목 불안정성의 치료효과를 입증할 수 있었다[21]. 이는 닫힌 사슬 운동이 고유수용기를 자극시켜, 발목관절 주변 근육의 운동조절 증가로 이어졌다고 사료된다.

짧은종아리근의 근활성도는 실험군과 대조군 모두 운동 전·후 유의한 증가가 없었다. 이러한 연구결과는 짧은종아리근은 긴종아리근의 협력근으로써, 짧은종아리근의 반사적 수축이 발목관절 뺨 방지에 큰 역할을 못한다고 보고한 연구결과와 일치한다[22]. 또한, 짧은종아리근은 표면전극으로 전기적 활동을 선택적으로 기록되기 어렵다고 사료된다.

넙다리 곧은근, 넙다리 두갈래근, 가쪽 장딴지근의 근활성도는 실험군에서 유의하게 증가되었지만, 대조군에서는 유의한 증가가 없었다. 이러한 연구결과는 넙다리 곧은근과 넙다리 두갈래근은 엉덩관절과 무릎관절의 운동에 관여하며, 가쪽 장딴지근은 발목관절과 무릎관절의 운동에 관여하는 두 관절 근육(two joint muscle)으로써, 엉덩관절과 무릎관절을 구부렸다 폈다 하는 동작으로 인해 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 넙다리 곧은근, 넙다리 두갈래근, 가쪽 장딴지근의 근활성도 증가에 더 효과적인 것으로 사료되며, 만성 발목 불안정성 환자에게 각각의 근육 및 관절에 초점을 맞춘 치료보다 하지의 모든 근육과 관절의 기능이 고려된 치료를 실시해야 된다고 사료된다.

아울러, 실험군과 대조군 모두 Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT) 점수가 유의하게 증가되었다. 이는 발목 주변 근육의 근력의 향상으로 이어져 환자가 주관적으로 느끼는 발목불안정성이 감소되었다고 사료된다. 또한 근력강화운동이 앞정강근 및 긴종아리근 등 발목주변 근육의 근활성도가 증가되어 발목의 안정성을 증진시킨다는 연구결과와 일치하였다[16].

연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째 대상자가 발목 불안정성을 가진 남성만을 대상으로 하여, 발목불안정성을 가진 여성에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 둘째, 동적인 상황에서 갑작스런 안쪽변짐을 유도하여 측정되지 않았다. 실제로 동적인 상황에서 발목관절의 뺨이 자주 발생하게 되는데, 본 연구에서는 정적인 자세인 서기(standing)상태에서 갑작스런 안쪽변짐을 유도하여 측정하였다. 추후 동적인 상황을 고려한 연구가

필요하다. 이러한 결과를 통해 만성 발목 불안정성 성인 남성의 하지 근력 및 발목 불안정성의 개선을 위해 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 효과가 있음을 알 수 있었다. 또한 기존의 치료법 보다 환자의 흥미 및 치료의 참여도를 높일 수 있는 점으로 보아 효율적인 운동방법으로 제시될 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 실험의 연구결과 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 만성 발목 불안정성 환자의 앞정강근, 긴 종아리근, 넙다리 곧은근, 넙다리 두갈래근, 가쪽 장딴지근의 근활성도를 증가시켰음을 알 수 있었고, CAIT 점수 또한 유의한 증가가 있었다. 이러한 결과를 토대로 만성 발목 불안정성 환자들에게 시각적 피드백을 이용한 닫힌 사슬 운동이 새로운 치료방법으로 제시될 수 있다고 생각된다.

References

- [1] Scott A. Assessment of the injured ankle in the athlete. *Journal of Athletic Training*. 2002;37(4):406.
- [2] Fong DIP, Hong Y, Chan LK, et al. A systematic review on ankle injury and ankle sprain in sports. *Sports medicine*. 2007;37(1):73-94.
- [3] Morrison KE, Kaminski TW. Foot characteristics in association with inversion ankle injury. *Journal of athletic training*. 2007;42(1):135.
- [4] Williams GN, Jones MH, Amendola A. Syndesmotic ankle sprains in athletes. *AM J Sport Med*. 2007;35(7):1197-207.
- [5] Kaminski TW, Hartsell HD. Factors contributing to chronic ankle instability: a strength perspective. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):394.
- [6] Hubbard TJ, Hertel J. Anterior positional fault of the fibula after sub-acute lateral ankle sprains. *Manual therapy*. 2008;13(1):63-67.
- [7] Van D, Staes FF, Stappaerts KH, et al. Relationship of chronic ankle instability to muscle activation patterns during the transition from double-leg to single-leg stance. *AM J Sport Med*. 2007;35(2):274-81.
- [8] Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sports medicine*. 2000;29(5):361-71.
- [9] Denegar CR, Miller SJ. Can chronic ankle instability be prevented? Rethinking management of lateral ankle sprains. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):430.
- [10] Mattacola CG, Dwyer MK. Rehabilitation of the ankle after acute sprain or chronic instability. *Journal of athletic training*. 2002;37(4):413.
- [11] Lephart SM, Henry TJ. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity. *J Sport Rehabil*. 1996;5(1):71-87.
- [12] Morris ME, Matyas TA, Bach TM, et al. Electrogoniometric feedback: its effect on genu recurvatum in stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(12):1147-54.
- [13] Iwasaki T, Shiba N, Matsuse H, et al. Improvement in knee extension strength through training by means of combined electrical stimulation and voluntary muscle contraction. *Tohoku J Exp Med*. 2006;209(1): 33-40.
- [14] Lai CH, Peng CW, Chen YL, et al. Effects of interactive video-game based system exercise on the balance of the elderly. *Gait & posture*. 2013;37(4):511-5.
- [15] Miller JP, Croce RV. Analyses of isokinetic and closed chain movements for hamstring reciprocal coactivation. *J Sport Rehabil*. 2007; 16(4):319-25.
- [16] Nam SM, Kim WB, Yun CK. Effects of balance training by knee joint motions on muscle activity in adult men with functional ankle instability. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(5):1629-32.
- [17] Hopkins JT, McLoda T, McCaw S. Muscle activation following sudden ankle inversion during standing and walking. *Eur J Appl Physiol*. 2007;99(4):371-8.
- [18] Hiller CE, Refshauge KM, Bundy AC, et al. The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(9):1235-41.

- [19] Donahue M, Simon J, Docherty CL. Critical review of self-reported functional ankle instability measures. *Foot & Ankle International*. 2011;32(12):1140-6.
- [20] Cordova ML, Jutte LS, Hopkins JT. MG comparison of selected ankle rehabilitation exercises. *J Sport Rehabil*. 1999;8(3):209-218.
- [21] Soderberg GL, Cook TM, Rider SC, et al. Electromyographic activity of selected leg musculature in subjects with normal and chronically sprained ankles performing on a BAPS® board. *Physical Therapy*. 1991;71(7): 514-22.
- [22] Isakov E, Mizrahi J, Solzi P, et al. Response of the peroneal muscles to sudden inversion of the ankle during standing. *Int J Sport Biomech*, 1986;2(2):100-109.