

패션비즈니스 제27권 5호

ISSN 1229-3350(Print)
ISSN 2288-1867(Online)

J. fash. bus. Vol. 27,
No. 5:93-107, Nov. 2023
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2023.27.5.93](https://doi.org/10.12940/jfb.2023.27.5.93)

Corresponding author

Jooyong Kim
Tel : +82-2-820-0631
E-mail : jkim@ssu.ac.kr

Keywords

E-textile,
Electirc muscle stimulation,
smart knee brace,
pain scale,
exercise performance assessment
전자 섬유 텍스타일,
전기 근육 자극,
스마트 무릎 보호대, 통증 척도,
운동 수행 능력 평가

이 연구는 2023년도 산업통상자원부
및 산업기술평가관리원(KEIT)의 연구비
지원과('20016038') 2023년도 정부
(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업
기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연
구임 (P0012770, 2023년 산업혁신인
재성장지원사업)

무릎 통증이 있는 엘리트 배드민턴 선수를 위한 건식 E-textile 전극의 EMS(Electirc muscle stimulation) 보호대 설계 및 효과

이주일* · 박진희 · 김주용†

*송실대학교, 스마트웨어블공학과, 석사
송실대학교, 신소재공학과, 교수
†송실대학교, 신소재공학과, 교수

A Study on EMS Protective Gear Design and Its Effects for Elite Badminton Players with Knee Pain

Jull Lee* · Jinhee Park · Jooyong Kim†

*Master, Dept. of Smart Wearable Engineering, Soongsil University, Korea,
Professor, Dept. of Materials Science and Engineering, Soongsil University, Korea
†Professor, Dept. of Materials Science and Engineering, Soongsil University, Korea

Abstract

This study aimed to design a knee brace with dry electrode EMS (Electrical Muscle Stimulation) for elite badminton players suffering from knee pain and assess its effectiveness in relieving pain and improving mobility. The assessment measured knee joint range of motion (ROM), Sargent jump height, and pain perception using a visual analog scale (VAS). Four experimental groups were established: stability, pain induction after 100 squats, muscle soreness induction with a regular knee brace, and muscle soreness induction with the EMS knee brace. The most suitable knee brace was selected from four samples to design the EMS knee brace. The conductive fabric was integrated into the inner surface of the knee brace to enhance EMS conductivity for the quadriceps muscles. Tensile strength tests showed that the dry electrode did not significantly affect the physical functionality of the knee brace. Regarding knee joint ROM and Sargent jump height, the EMS knee brace outperformed muscle soreness induction with a regular knee brace and wearing a standard knee brace. VAS measurements demonstrated that the EMS braces effectively alleviated pain perception in most cases. The results indicate the potential for developing EMS braces to alleviate pain and prevent injuries for athletes across various sports.

1. 서론

배드민턴은 우리나라 생활 스포츠의 대표적 종목이다. 전국에 약 4,200여 개의 클럽이 형성되어 있으며 동호인 수로는 150만 명 이상으로 46개 생활체육 종목 중 회원 수로 일곱 번째로 많은 규모이다(Oh, Sung & Lee 2016). 최근 대한체육회에 등록된 다양한 종목의 동호인 팀을 살펴보면, 배드민턴 동호인 팀은 1,718개, 동호인 수 32,708명으로 게이트볼 동호인 팀 55개, 동호인 수 20,608명, 철인 3종 동호인 팀 370개, 동호인 수 27,422명, 축구 동호인 팀 3,897개, 동호인 수 33,926명과 비교하면 축구를 제외하고 배드민턴 종목이 다른 종목에 비해 많은 동호인 팀과 인원을 보유하고 있다는 사실을 증명하고 있어 배드민턴의 인기를 실감할 수 있다(Lee, Won, Moon, & Lee, 2022). 엘리트 선수 등록 인원은 초등부 남 589명 여 372명, 중학생 남 355명여 189명, 고등학생 남 285명 여 161명, 대학생 남 194명여 109명 총 2500명에 해당한다(Korea Sports Support Portal, n.d.). 엘리트 체육 수준에서도 배드민턴은 세계적인 높은 경쟁력을 가지며, 올림픽에서 2021년 기준 금메달 6개, 은메달 7개, 동메달 6개로 총 19개의 메달을 획득하여 세계 3위의 메달 획득 순위에 올라있다(Kim & Sung, 2021; Kim, 2009; Koo, 2005).

배드민턴은 역동적으로 빠른 움직임을 요구하는 스포츠로서, 경기력의 향상을 위해서는 전략과 전술, 기술, 심리, 생리와 함께 우수한 배드민턴 전문 체력과 부상 관리가 필요하다(Kang, Park, Lee, & Choi, 1998; Lee & Huh, 2006; Oh, Choi, & Jung, 2005). 배드민턴 경기는 코트 안팎에서 셔틀콕(shuttlecock)의 특징을 파악하고, 셔틀콕의 움직임을 미리 예측하여 정확한 지점에 신속하게 도달하는 무산소성 파워(anaerobic power) 동작을 반복해야 한다. 이에 따라 배드민턴 경기에서 우수한 경기력을 수행하고 좋은 성적을 내기 위해서 순발력과 민첩성, 체력이 중요하다. 또한 경기 중에 민첩한 무산소 파워 동작을 반복하기 위해서는 무산소성 에너지 회복과 피로 내성(Fatigue Tolerance)이 배드민턴 경기력의 중요한 요인으로 파악된다(Jo, Yoo, & Yoon, 2013; Wei, Oh, Jeong, Park, & Lee, 2009; Oh et al., 2005; So, Han, & Seo, 2003).

운동역학적인 관점에서 본다면 배드민턴 경기에서 수행되는 가장 많은 동작은 발목-무릎-고관절 사슬의 삼관절 신전 운동 기전(triple extension mechanism of ankle, knee, and hip joints extension)과 무릎 신전-굴곡 사슬(Knee flexion-extension chain)에 대한 운동역학적 기전이 강조된

다(Kim, Chai, & Kim, 2021; Kim & Park, 2014; Moon, Lee, Hong, & Kim, 2007; Sin & Kim, 2015). 최신의 경기 규칙은 경기 중 기술적 움직임이 상당한 강도와 운동량을 요구하도록 개정되었다. 이에 따라 선수와 지도자는 풋워크(footwork), 런지(lunge), 그리고 점프(jump)에 대한 힘, 시간, 체공(공중에 머물러 있는 시간) 거리 및 수직 점프를 변경된 경기 규칙에 맞게 적용할 수 있도록 조정이 필요하다. 즉, 강화된 경기 운영에 작용하는 개별적인 골격근에 대한 특성을 분석하여 과도한 경쟁상황에 적용할 수 있는 골격근의 관리가 시급히 요구되고 있다(Kim, Kim, & Yang, 2011; Oh et al., 2016). 배드민턴 경기 진행을 위해서는 무릎 통증이 필연적으로 동반하게 되는데, 그 이유는 1점당 렐리(rally, 볼을 주고 받는 행위)가 5회에서 10회라고 가정했을 시 무릎 굽힘 횟수가 10~20회가 발생하며, 한 세트 21점 경기 중 최소 420회에서 최대 900회기량의 무릎 굽힘 횟수가 발생하기 때문이다. 배드민턴 경기가 3세트 2선승제임을 생각했을때 경기후 최소 840회에서 2700회의 무릎 굽힘 횟수가 발생한다. 점프와 착지를 고려한다면 한 경기에 5천회 가량의 무릎 굽힘 횟수로 추정되어 무릎 통증에 쉽게 노출된다.

최근 통증은 스포츠분야에서도 관심이 매우 높은 이슈이다. 운동, 트레이닝 후 발생하는 지연성 통증의 종류로 압통, 부종, 관절 뻣뻣함, 그리고 관절가동범위 저하 등을 경험하게 된다. 지연성 통증에 수반되는 여러 종류의 증상과 증후는 스포츠 선수들의 좋은 신체 컨디션 유지 및 경기력 향상에 부정적 영향을 주기도 한다. 특히 지연성 근육통은 급성 염증반응 과정과 유사한 반응으로 관절과 관절 주변 조직을 뻣뻣하게 만들어 유연성 저하를 가져와 부상 위험을 상승시킬 가능성이 높다(Kim & Lee, 2020; Oh, 2022; Song, Choi, & Baek, 2011; Won, Kim, Kim, Kwon, & Kim, 2005). 또한, 스포츠와 스포츠 의학에서 관심이 높은 통증 조절 및 회복에 관한 미세전류 처치 효과의 검증에 따르면, 무릎 굽힘 또는 팔꿈치 굽힘과 펌 운동 후 발생한 지연성 근육통 완화에 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다(Choi & Kim, 2013; Jung, Jung, You, & Gho, 2000; Kim, Park, & Jung, 2009; Park, 1997; Ryu, Kim, Kim, & Chung 2008). 이러한 미세전류는 혈류량 개선에 대한 효과도 있는데, Janmey, Shah, & Tang(1998)은 저강도 직류 전류를 적용시킨 결과 혈관의 민무늬 근육의 기계 수용기를 작동시켜 연부 조직에서 혈류량이 증가하였다고 보고하였다(Balogun, Biasci, & Han, 1998; Chapman-Jones, 1998; Gilcreast, Stotts, Froelicher, Baker, & Moss, 1998;

McMakin, 1998; Tsolakidis, Rosenauer, Schmidhammer, & Rennekampff, 2022; Wirsing, Habrom, Zehnder, Friedli, & Blatti, 2015). 미세전류 자극을 통해 혈관이 새로 형성되고, 모세혈관의 밀도가 증가함으로써 혈류량이 증가하는 효과를 볼 수 있는데 이는 대사 활동, 림프순환 등이 활발하게 이루어질 수 있게 하며, 이를 통해 조직의 치유가 촉진될 수 있다. 또한 미세전류는 아교질 합성을 증가시켜 인대, 피부, 힘줄 등 조직의 치유를 촉진시킨다(Chaikin, Kashiwa, Bennet, Papastergiou, & Gregory, 2015). 이러한 미세전류 자극은 관절가동범위 증가 및 회복에도 효과가 있다고 보고되며 이러한 미세전류 자극의 특성은 아래 Figure 1과 같다.

이 밖에 미세전류 적용에 따른 통증과 기능 회복에 관한 연구로 만성 테니스 엘보 환자에게서 긍정적 효과를 보고하였다(Poltawski & Watson, 2011). MES 외 통증 완화 방법 중 저주파 전기 근육 자극요법(electrical muscle stimulation, EMS)은 신경과 근육에 주어지는 저주파의 전기 자극을 통해 근육의 크기나 기능 개선에 도움을 줄 수 있으며, 전기 자극은 근육의 3비자발적 수축 및 근섬유의 우선적 활성화를 발생시켜 기능 향상의 효과를 나타내므로

관련 근육의 기능 향상 및 운동 재활 영역에서 최근 많이 활용되고 있다(Kemmler & Von Stengel, 2012). 또한, 최근에는 전극의 크기가 작아지고 이용방법이 쉬워져 전문적인 기계 사용 교육법을 배우지 않아도 누구나 인위적으로 근육의 수축을 유발할 수 있어, 운동선수들 역시 전기 자극 요법을 훈련이나 훈련 후 회복 및 재활의 영역에서 사용하는 사례가 증가하고 있다고 하였다(Lee, 2020; Son & Park, 2016). 최근 스포츠 퍼포먼스 증대를 위한 스포츠 웨어러블이 대두되고 있어 이러한 전기 근육 자극(EMS)은 움직임이 없는 사람들을 위한 운동 방법으로도 사용되고 있다(Yeun & Kim, 2021). 국내에서의 무릎 보호대 관련 연구로는 주로 운동선수들의 무릎관절 부상 방지 효과에 초점을 두고 연구를 수행한 경우가 있었다. Lim(2007a)과 Lim(2007b)은 여자 농구선수들을 대상으로 무릎 보호대 착용이 착지 시 무릎관절 부하를 감소시킨다고 보고하였다. 또한 여자 체조 선수들이 한발 착지 동작 시에도 무릎 보호대가 전방십자인대 부하 감소 효과가 예상된다고 하였으나 신전 모멘트 감소를 전방십자인대 감소로 간주하여 이 부분에 대한 재검증이 필요할 것으로 판단된다(Lim, Kim, & Seo, 2012). 또한 여자 배구 선수들을 대상으로 무릎 보호대 착용이 도약 동

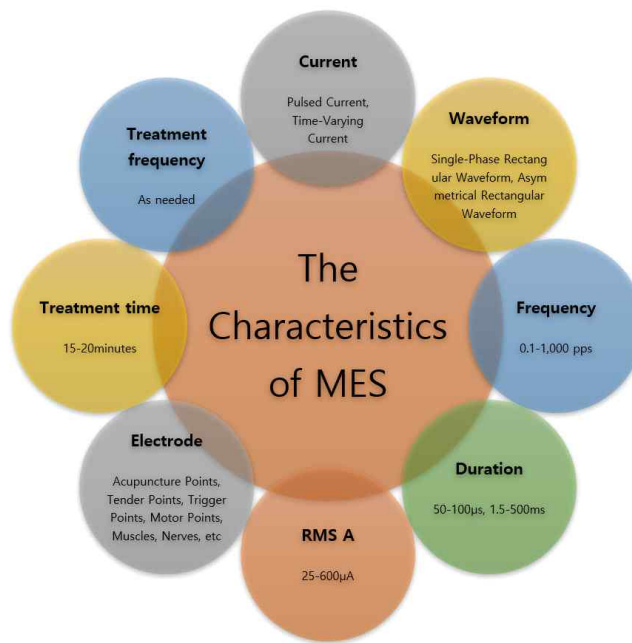


Figure 1. MES(Microcurrent Electrical Stimulation) Characteristics (Ryu et al., 2008)

채 25분간 EMS 세션(5V/1A)을 진행했다. 피로 회복을 위해 1시간의 휴식을 가진 후, 동일한 절차를 반복하여 실험을 수행하였다. 프로세스는 Table 2와 같다.

2.2.1. 지연성 근육통 유발방법

모든 실험 참가자는 지연성 근육통 유발을 위해 스쿼트(Figure 2)를 모든 실험 전에 총 3회에 걸쳐 100회씩 수행했다. 지연성 통증 유발 후, 1차 측정으로는 총 3가지 항목인 수직 점프(Sargent Jump), 관절 가동 범위(ROM), 그리고 통증 자각도 검사 (VAS)를 실시한 후 60분간 휴식을 취하였고, 무릎 보호대를 착용한 후에 동일한 측정을 하였다. 실험 종료 후에는 60분 동안 휴식을 가진 후, EMS 보호대를 착용한 상태로 동일한 측정을 진행하였다.

2.2.2. 수직 점프 (Sargent Jump)

수직 점프 (Sargent Jump)는 하체의 순발력을 평가하기 위한 방법이다. 이 방법은 제자리에서 얼마나 높이 뛸 수 있

는지를 측정한다. 측정 장비는 높이를 측정하는데 사용되며, 스포츠 선수들은 훈련 및 성적 관리 뿐만 아니라 체력 테스트나 피트니스 프로그램에서도 이를 활용한다. 또한, 수직 점프(Sargent Jump) 방법은 높이 측정뿐만 아니라 동작 자체의 기술적인 문제를 파악하고 개선하는 데에도 사용된다. 측정 방법은 측정 장비를 원하는 위치에 배치한 후, 수직 점프(Sargent Jump) 동작 시 이 장비가 발생하는 길이를 측정하여 최대 높이를 측정한다(Figure 3). 이 측정 결과는 디지털 디스플레이에 표시되며, 일반적으로 센티미터 (cm) 단위로 표시된다. 배드민턴에서 수직 점프(Sargent Jump)의 중요성은 Lee(1993)의 연구에서 확인되었는데, 이 연구는 3명의 엘리트 선수를 대상으로 스탠딩 스매시(standing smash)와 점프 스매시(jump smash) 동작을 분석하여 점프 스매시 동작이 스탠딩 스매시에 비해 공중에서 더 자유롭게 회전할 수 있어서 운동 범위가 더 크며, 따라서 점프 스매



Figure 2. In The Context of Squatting Movements, The Frontal and Posterior Views of Flexion and Extension Actions



Figure 3. Sargent Jump Measurement Procedure,
 a) Appearance of the Measurement Tool, b) Measurement Preparation Posture, c) Measurement,
 d) How Sargent Jump is Applied During Badminton Matches

사에서 키네마 스틱(물리 운동학) 원리가 더 효과적이라는 결과를 얻었다. 셔틀콕 초기 속도 역시 점프 스매시가 스텐딩 스매시보다 65.72m/s 대 54.26m/s로 높게 측정되어 배드민턴에서 수직 점프 (Sargent Jump)가 중요하다는 것을 확인시켜 주었다.

2.2.3. 무릎 관절 굽힘의 측정 (ROM)

무릎 관절의 움직임 범위 (ROM)를 측정하기 위해, 무릎 관절의 굽힘과 펴를 해부학적 자세에서 측정했다. 연구 대상자들은 무릎 관절의 굽힘과 펴 동작을 능동적으로 수행하였으며, 통증이 발생하지 않는 각도 범위에서 3회에 걸쳐 측정했다(Figure 4).

측정된 각도 중 무릎 관절 굽힘이 130도 이상인 경우, 무릎 관절의 움직임 범위가 회복된 것으로 간주되었다. 초기에는 각도계를 사용하지 않고 환자가 편안하게 동작을 1회 연습한 후 측정을 진행했으며, 정확한 측정을 위해 대퇴부, 무릎 외측, 종아리 위치를 펜으로 표시했다. 3회의 측정 중 가장 우수한 결과를 최종 측정값으로 선택했다.

2.2.4. 통증 자각도 검사 (VAS)

시각적 아날로그 척도 (VAS)를 사용하여 통증 정도를 평가했다. 이 척도는 통증의 정도를 0점(전혀 아프지 않음)부터 5점(매우 아픔)으로 나누어 측정했다. 총 12개의 문항 중 1번부터 10번까지는 객관적인 선택사항을, 11번부터 12번까

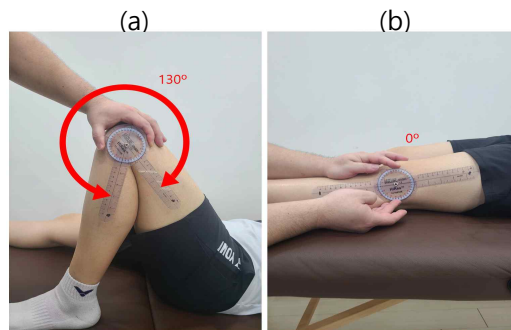


Figure 4. Measurement of Knee Joint Range of Motion (ROM) Angles, a) Flexion and b) Extension.

Table 3. Content about VAS Questions

VAS Number	Survey Questions
1	How much pain do you feel in the knee when it is at rest and not engaged in any movement or activity?
2	How much pain do you experience during repetitive knee movements or activities?
3	How much pain do you feel when the knee is flexed backward?
4	How much pain do you experience when the knee is extended forward?
5	How much pain do you feel when transitioning from a seated to a standing position?
6	How much pain do you experience during jumping movements?
7	How much pain do you feel while walking?
8	How much pain do you experience when running or sprinting?
9	How much pain do you feel during routine daily activities?
10	How much pain do you experience during physical exercise or sports participation?

지는 주관적인 응답을 요구하는 방식으로 질문했다. 구체적인 질문 내용은 Table 3과 같다.

자연성 근육통 유발 후 보호대 착용 여부 및 EMS 보호대 적용 후에 동일한 방법으로 총 3회의 VAS 측정을 수행했으며, 보호대 착용 여부 및 EMS 보호대 적용 후의 데이터를 비교하여 분석했다.

2.3. EMS 무릎 보호대 제작과 평가

2.3.1. EMS 무릎 보호대 제작을 위한 일반 무릎 보호대 선정

EMS 무릎 보호대 제작을 위해 다음 조건을 만족하는 무릎 보호대를 선정하였다. 첫 번째 피부와의 접촉이 떨어지지 않아야 하는데 그 이유는 건식전극을 통해 표피까지 흐르는 보호대의 원리상 전극이 피부와 떨어지면 미세전류가 침투하기 어렵기 때문이다. 둘째 편안한 착용감과 동작의 용이함이다. 단순히 보호대를 착용하였을 때 동작에 방해가 준다면 EMS의 효과보다 압박으로 인한 통증 유발이 심해질 수 있

기 때문이다. 따라서 두가지 조건에 적합한 보호대를 선정하였다.

먼저 전극이 떨어지지 않을 정도로 압박감이 있는 4가지 샘플들을 선정하였다. 제품1(B사), 제품2(Z사), 제품3(E사) 그리고 제품4(J사)로 무게 및 구성 성분과 길이, 두께는 Table 4와 같으며 Figure 5에 나타내었다. 또한 사이즈는 피시험자들의 평균 신체 조건을 고려하여 L사이즈로 통일하였다.

다음으로는 편안한 착용감으로 인한 동작의 용이함을 평가하여 최종 EMS 무릎 보호대 제작을 위한 일반 무릎 보호대 선정을 실시하였다. 착용감 평가는 배드민턴 선수에게 적합한 보호대를 선택하기 위해 배드민턴 선수 10명의 피시험자에게 4개의 시판 무릎 보호대(Figure 5)를 무작위로 착용시킨 후 동작 시의 착용감을 평가하였다. 동작 평가는 배드민턴 경기 중 많이 사용하는 3가지 풋워크(footwork), 런지(lunge), 그리고 점프(jump) 기반의 동작 평가를 위해 사이드스텝(side step), 런지(lunge), 스쿼트점프(squat jump)를

Table 4. Weight, Thickness, Material, and Length of Knee Protectors Candidates

	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
Weight	105 g	300 g	95 g	180 g
Thickness	2 mm	5 mm	1 mm	6 mm
Material	Specialized Core-Structured Microfiber	Cotton, Polyurethane, Nylon, Polyester, Spandex	Nylon, Spandex, Silicone	Cotton, Polyurethane, Nylon, Polyester, Spandex
Length	28 cm	28 cm	27 cm	16 cm



Figure 5. The Appearance of Knee Protectors Candidates

실시하고, '동작이 용이한가', '착용이 편안한가', '허벅지가 편안한가', '무릎이 편안한가', '정강이가 편안한가'의 문항을 평가하도록 하였다. 평가는 '매우 그렇다(5점)', '보통이다(3점)', '전혀 그렇지 않다(0점)'의 설명어만을 제시하여 리커트 5점 척도로 응답하게 하였다. 동작 평가는 보호대를 착용하고 20분 동안 동작한 후 평가를 하였으며, 다른 보호대 착용 전에 10분 휴식을 부여하였다. 동작 평가 결과는 Table 5와 같다. 평가 결과에 따라 최종적으로 제품 1이 선정되었다.

2.3.2. 실험용 EMS 무릎 보호대 제작

무릎 보호대에 EMS 부착을 위해 전도성 실을 통한 자석 스냅을 부착, 전도성 원단을 부착 후 무릎 회복이 가능도록 제작하였다. 무릎보호대에 EMS 모듈을 연결하기 위해 자석 스냅을 사용하였고, EMS의 전달력을 높이기 위해 대퇴부(Figure 6) Rectus femoris(대퇴직근), Vastus medialis(내측광근), Vastus lateralis(외측광근)위치의 무릎보호대 안쪽 면에 전도성 원단을 Kinesio Taping(키네시오테이핑방식)(Figure 6)을 적용하여 재단하고, 열 프레스기로 접착하였다.

Table 5. The Average Value of All Questions for Evaluating comfortness of Movement

Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4
4.4	2.7	3.7	3.2



Figure 6. (a) Appearance of the Lower Extremity Anatomy, (b) Design Process via Kinesio Taping Technique, (c) Appearance of Completed EMS Knee Protector, (d) Appearance after EMS Module Assembly

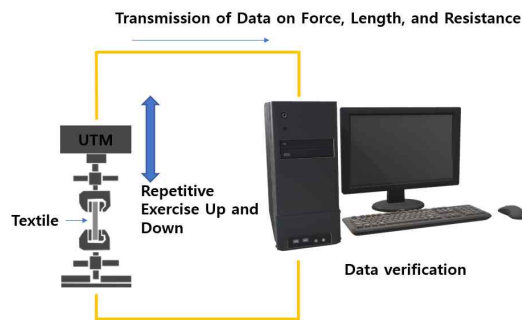


Figure 7. Schematic of Property Testing Using UTM

이때, EMS 모듈은 F사의 제품을 이용하였다. 모듈이 자석 스냅과 전도성 원단을 통해 EMS 전류를 전달하며 완성된 제품의 모습은 Figure 7과 같다.

2.3.3. EMS 무릎 보호대 건식 전극의 저항 변화 및 인장력 측정

제작된 EMS 무릎 보호대는 Universal Testing Machine (UTM)을 통해 텍스타일 소재의 인장에 따른 힘의 변화를 관찰하고 저항 변화를 측정하는 실험을 수행하였다. UTM 실험 도중에는 텍스타일 소재의 저항 변화를 주의 깊게 관찰하였으며, 건식 텍스타일 전극을 덧붙이기 전과 인장력 변화가 없는지 확인하였다. 이는 원단이 덧붙여져 있는 부분의 무릎 보호대 샘플을 UTM에 고정 후 가동 설정을 1cm/s의 속력으로 10cm에서 15cm까지 총 100회 왕복운동을 하도록 설정하여 확인하였다. 이를 확인하는 이유는 건식전극이 추가됨으로써 EMS 보호대의 물성이 변화하여 실험 결과가 다르게 나올 수 있기 때문에 물성에는 변화가 없음을 확인하기 위함이다. 뿐만 아니라, 이 실험을 통해 EMS 보호대가 운동 시 전극으로서의 역할을 충실히 수행할 수 있는지에 대한 예측도 이루어졌다. 저항 변화를 통해 전극의 성능을 확인하고, 운동 중 근육과 관련된 요소에 미치는 영향을 파악함으로써, 이 보호대가 EMS를 통한 운동 성능 향상 및 근육 관련 이점을 제공할 수 있는지에 대한 가설을 탐구하였다. UTM을 통한 실험 모식도는 Figure 7과 같다.

2.4. 자료 처리

본 연구에서 측정된 값은 IBM SPSS Statistics for Windows(version 27)를 이용하여 실험 결과의 평균(mean: M)과 표준편차(standard deviation: SD)를 나타내었다. 수직점프, ROM 및 VAS 측정의 결과는 안정시와 지연성 근육통 유발 이후와 일반 보호대 착용 후 근육통 유발 이후, EMS 보호대 착용 후 근육통 유발 이후의 데이터(이하 각각 그룹 a, b, c, d)로 일원분산분석(one-way ANOVA)를 실시하였다. 통계적으로 유의차가 나타난 변인은 사후분석으로 LSD(least significant difference)를 적용하였다. 모든 통계분석의 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. EMS 보호대 설계에 관한 실험 결과

3.1.1. EMS 보호대의 물성 변화

EMS 보호대의 인장에 따른 힘의 변화는 Figure 8와 같다. 두 샘플 모두 탄성이 일정 횟수 이상 가해지면 힘이 약해져 인장력이 saturation되는 형상이 일어났다. 또한 건식전극을 열프레스기로 부착 후에도 최고 인장력은 전, 후 각각 0.061kgf, 0.066kgf에 달하였으며 이는 대략 7.6%의 수준으로 인장력에 대한 큰 변화는 없었다. 또한 대부분의 인장에서 0.06kgf 이하의 인장력을 보여주었다. 따라서 EMS보호

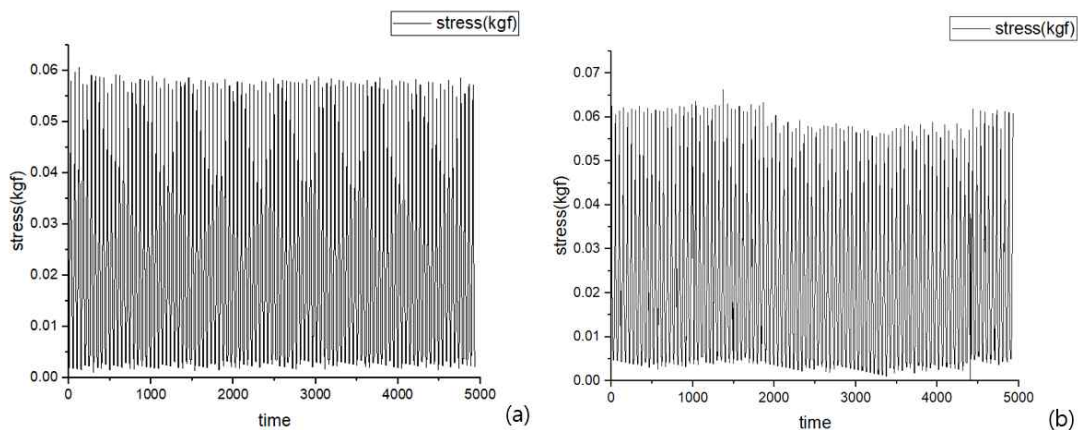


Figure 8. (a) Test Results Before Textile Electrode Attachment via UTM, (b) Test Results After Textile Electrode Attachment via UTM

대와 일반 무릎보호대만을 착용할 수 있을 때 피험자의 통증 감소 효과가 있었다면 EMS의 효과가 더욱 크게 작용했음을 알 수 있다.

3.1.2. EMS 보호대의 건식 전극 저항 변화

EMS 보호대의 건식 전극의 저항 변화는 10cm의 샘플에서 최소 저항은 2.8Ω, 최대 저항은 5.7Ω으로 최대 저항에서도 전극으로 활용할 만한 가치가 있다(건식 전극의 저항<10Ω). 또한 단위 길이(cm)당 저항의 경우 최소 0.3Ω, 최대 0.5Ω으로 대략 1.7배 증가하였으나 단위 길이당 저항이 1Ω보다 적어 전극으로써의 기능을 충실히 수행 할 수 있었다.

3.2. EMS 보호대 측정에 관한 실험 결과

3.2.1 ROM 측정 결과

안정시와 지연성 근육통 유발 이후와 일반 보호대 착용 후 근육통 유발 이후, EMS 보호대 착용 후 근육통 유발 이후 ROM의 변화는 Table 6과 같다. 상황 별 ROM의 변화는 Flexion, Extension의 상태를 포함하여 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p<.001$). Num 1~8의 경우 Flexion 상태에서 안정시($131.3 \pm 2.1^\circ$)와 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시($130.9 \pm 3.6^\circ$)가 일반 보호대 착용시($109.3 \pm 3.6^\circ$)보다 높은 것으로 판단되며, 이는 일반 근육통 유발시

Table 6. Variation of ROM

Num	Variable	N=10	Post-Verification	p
1	Rest time flexion	131.3 ± 2.1	b<c<a,d	.000***
2	After squatting flexion	107.9 ± 3.6		
3	After squatting with protective gear flexion	109.3 ± 3.6		
4	After squatting with EMS protective gear flexion	130.9 ± 2.1		
5	Rest time Extension	0.7 ± 0.8	b<c<a,d	.000***
6	After squatting Extension	5.8 ± 2.3		
7	After squatting with protective gear Extension	3.7 ± 1.3		
8	After squatting with EMS protective gear Extension	1.1 ± 0.9		
9	Rest time ROM (a)	130.6 ± 2.8	b,c<a,d (a)>b,c d>b,c b<a,d c<a,d	.000***
10	After squatting ROM (b)	102.1 ± 5.7		
11	After squatting with protective gear ROM (c)	105.6 ± 4.0		
12	After squatting with EMS protective gear ROM (d)	129.8 ± 2.7		

*** $p<.001$

Table 7. Variation of Sargent Jump

Variable	N=10	Post-Verification	p
Rest time jump (a)	62.7 ± 1.9	b,c<a,d	.005**
After squatting jump (b)	59.4 ± 1.8		
After squatting with protective gear jump (c)	60.6 ± 2.3		
After squatting with EMS protective gear jump (d)	62.5 ± 1.6		

** $p<.01$

($107.9 \pm 3.6^\circ$)보다 높은 것으로 판단되었다. Extension 상태의 경우도 Flexion 상태와 동일한 결과를 나타내었다. 또한 num 9~12에서 볼 수 있듯 ROM의 변화는 안정시($130.6 \pm 2.8^\circ$)와 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시($129.8 \pm 2.7^\circ$)가 일반 보호대 착용시($105.6 \pm 4.0^\circ$) 및 일반 근육통 유발시($102.1 \pm 5.7^\circ$)보다 높은 것으로 판단되었다. 그룹 별 ROM 측정 값의 변화는 Figure 9과 같다.

3.2.2. Sargent Jump 변화

안정시와 지연성 근육통 유발 이후와 일반 보호대 착용 후 근육통 유발 이후, EMS 보호대 착용 후 근육통 유발 이후

의 Sargent Jump 변화는 Table 7과 같다. Sargent Jump의 변화는 안정시($62.7 \pm 1.9\text{cm}$)와 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시($62.5 \pm 1.6\text{cm}$)가 일반 보호대 착용시($60.6 \pm 2.3\text{cm}$) 및 일반 근육통 유발시($59.4 \pm 1.8\text{cm}$)보다 높은 것으로 판단되었다. 그룹 별 Sargent Jump 측정 값의 변화는 Figure 10과 같다.

3.3. VAS 측정결과

안정시와 지연성 근육통 유발방법 이후 VAS 측정 결과는 Table 8과 같다. 그 결과 문항 3, 9, 10을 제외한 모든

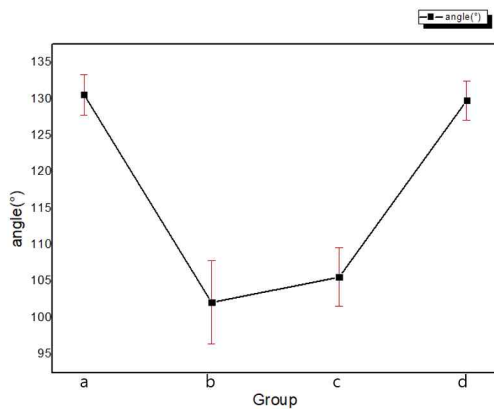


Figure 9. Comparison of ROM

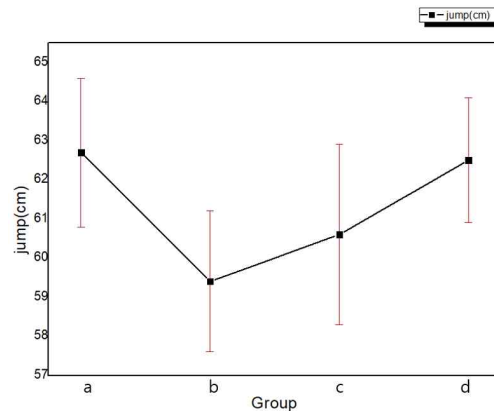


Figure 10. Comparison of Sargent Jump

Table 8. Compared of VAS Records

Variable	Rest time (a)	After squatting (b)	After squatting with protective gear (c)	After squatting with EMS protective gear (d)	Post-Verification	p
Vas 1	0.1 ± 0.3	2.2 ± 0.6	1.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5	a,d<c<b	.000***
Vas 2	1.4 ± 0.7	2.4 ± 0.5	1.5 ± 0.8	1.5 ± 0.8	a,c,d<b	.015*
Vas 3	1.1 ± 0.8	1.2 ± 0.4	1.3 ± 0.9	1.3 ± 0.9	-	.881
Vas 4	1.2 ± 0.8	2.4 ± 0.5	1.7 ± 0.5	1.3 ± 0.7	a,c,d<b	.000***
Vas 5	1.4 ± 1.0	3.4 ± 0.5	2.4 ± 0.5	1.6 ± 0.8	a,d<c<b	.000***
Vas 6	1.6 ± 1.1	3.4 ± 0.5	2.3 ± 0.5	1.9 ± 1.1	a,c,d<b	.000***
Vas 7	0.5 ± 0.5	2.6 ± 0.7	1.9 ± 0.7	0.6 ± 0.5	a,d<c<b	.000***
Vas 8	1.0 ± 0.7	3.6 ± 0.6	2.4 ± 0.8	1.2 ± 0.6	a,d<c<b	.000***
Vas 9	0.2 ± 0.6	0.7 ± 1.3	0.6 ± 1.3	0.5 ± 0.7	-	.713
Vas 10	1.0 ± 0.8	1.9 ± 1.0	1.8 ± 1.1	1.3 ± 0.9	-	.152

*** $p < .001$, * $p < .05$

VAS 측정값의 변화는 유의미한 것으로 나타났다($p < .05$).

사후검증 결과 무릎이 아무런 동작을 하지 않았을 때의 통증정도와 앉았다 일어날 때, 걸을 때, 달릴 때의 통증정도를 묻는 VAS 1, 5, 7, 8의 경우 모두 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 보호대 착용 후 근육통 유발시의 통증 정도가 가장 높았으며 마지막으로 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시와 안정시의 통증이 가장 낮은 것으로 나타났다(a,d<c<b). 즉 일반 근육통 유발시보다 일반 보호대를 착용하였을 경우, EMS 보호대를 착용하였을 경우 순으로 통증이 줄어들어 무릎 보호대가 통증 개선에 효과가 있었으며 그 중 EMS 보호대가 가장 통증 개선에 효과가 있었다. 이는 일부 운동에 대해서는 무릎보호대가 더욱 유의미한 결과를 보였다고 해석할 수 있으며 특히 일반 무릎보호대보다 EMS 무릎보호대의 효과가 더욱 두드러진 통증 완화 효과를 보였다. 또한 해당하는 VAS 질문들은 모두 안정시와 근육통 유발시의 통증 차이가 극명하게 나타난다는 특징이 있었다.

무릎이 반복적으로 움직일 때와 무릎을 앞으로 폈을 때, 점프 시의 통증 정도를 묻는 VAS 2, 4, 6의 경우 모두 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 가장 높은 것으로 나타났다. 그 다음으로는 보호대 착용 후 근육통 유발시의 통증 정도와 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시, 안정시의 통증이 낮은 것으로 나타났다(a,c,d<b). 즉 일반 근육통 유발시보다 일반 보호대를 착용하였을 경우, EMS 보호대를 착용하였을 경우 모두 통증이 줄어들어 두 종류의 무릎 보호대 모두 통증 개선에 효과가 있었다. 이는 일부 운동에 대해서는 EMS 보호대 뿐만 아니라 일반 무릎보호대를 포함한 두 가지의 무릎 보호대 모두 통증 완화에 효과가 있음을 나타낸다.

유의미한 결과값이 나오지 않은 문항의 경우는 안정시와 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 크지 않았다는 공통점이 있었다.

4. 결론

본 연구의 목적은 무릎통증이 있는 엘리트 배드민턴 선수를 위한 건식 EMS 무릎 보호대를 설계하고 설계한 보호대가 무릎 통증과 움직임에 있어 개선이 되는지에 대한 효과를 무릎 관절 굽힘의 측정(ROM)과 Sargent Jump 높이, 통증 자각도(VAS) 테스트를 통해 확인하는 것이다. 각각의 실험은 안정시와 스쿼트 10회를 통한 통증 유발시, 일반 무릎 보호대 착용 후 근육통 유발시, EMS 무릎 보호대 착용 후

근육통 유발시 4개의 그룹으로 나누어 진행되었다.

EMS 무릎 보호대 설계를 위해 4개의 샘플 중 착용감이 가장 좋은 무릎 보호대를 선정하였으며, EMS의 전도력을 높이기 위해 대퇴부, Rectus femoris(대퇴직근), Vastus medialis(내측광근), Vastus lateralis(외측광근)에 해당하는 무릎보호대 안쪽 면에 전도성 원단을 Kinesio Taping(키네시오테이핑방식)을 적용하여 재단하고, 열 프레스기로 접착하였다. 또한 EMS 건식 전극에 해당하는 전도성 원단이 무릎 보호대의 물리적 기능에 관여하는지를 테스트하기 위해 UTM(universal testing machine)을 통해 전도성 원단 부착 전 후 100회 왕복 운동 시 인장력의 변화를 관찰하였다. 그 결과 건식 전극은 EMS의 물리적인 기능에는 관여를 하지 않는 것으로 나타났다.

무릎 관절 굽힘의 측정(ROM)과 Sargent Jump 높이 측정에서는 EMS 무릎 보호대 착용시 일반 근육통 유발과 일반 무릎 보호대 착용보다 더 높은 범위의 관절 움직임과 높이를 기록하였다. 이는 EMS 무릎 보호대가 운동 수행 및 통증 개선에 효과가 있었으며 일반 무릎 보호대보다 그 효과가 더 좋았음을 나타낸다.

VAS측정에서는 문항별로 결과값이 다르게 나타났으며 무릎이 아무런 동작을 하지 않았을 때의 통증정도와 앉았다 일어날 때, 걸을 때, 달릴 때의 통증정도의 경우 모두 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 가장 높고 다음으로 보호대 착용 후 근육통 유발시의 통증 정도가 가장 높았으며 마지막으로 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시와 안정시의 통증이 가장 낮은 것으로 나타났다. 즉 일반 근육통 유발시보다 일반 보호대를 착용하였을 경우, EMS 보호대를 착용하였을 경우 순으로 통증이 줄어들어 무릎 보호대가 통증 개선에 효과가 있었으며 그 중 EMS 보호대가 가장 통증 개선에 효과가 있었다. 무릎이 반복적으로 움직일 때와 무릎을 앞으로 폈을 때, 점프 시의 통증 정도의 경우 모두 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 가장 높았으며 다음으로는 보호대 착용 후 근육통 유발시의 통증 정도와 EMS 보호대 착용 후 근육통 유발시, 안정시의 통증이 낮은 것으로 나타났다. 즉 일반 근육통 유발시보다 일반 보호대를 착용하였을 경우, EMS 보호대를 착용하였을 경우 모두 통증이 줄어들어 두 종류의 무릎 보호대 모두 통증 개선에 효과가 있었다. 유의미한 결과값이 나오지 않은 문항의 경우 공통적으로 안정시와 일반 근육통 유발시의 통증의 정도가 크지 않았다.

실험 결과를 통해 설계된 EMS 보호대를 통해 통증 개선의 효과를 확인할 수 있었다. 본 연구에서 VAS가 임상현장에서 가장 많이 사용되는 통증 척도라 하더라도 압력 통증

역치와 같은 객관적 평가를 추가하여 통증 평가를 다른 연구와 비교할 필요가 있음이 아쉬운 점이다. 후속 연구에서는 무작위 통제, 더 큰 표본, 다양한 평가를 사용하는, 보다 엄격한 연구설계를 통한 EMS의 효과가 앞으로 필요하다. 또한 이를 통해 더 넓은 스포츠 분야에서 선수들이 착용을 통해 통증을 완화하고 부상을 예방할 수 있는 EMS 보호대 개발에 대해 기대해 볼 수 있다.

References

- Balogun, J. A., Biasci, S., & Han, L. (1998). The effects of acupuncture, electrostimulation and transcutaneous electrical stimulation therapies on peripheral haemodynamic functioning. *Disability and Rehabilitation*, 20(2), 41-48. doi:10.3109/09638289809166052
- Chaikin, L., Kashiwa, K., Bennet, M., Papastergiou, G., & Gregory, W. (2015). Microcurrent stimulation in the treatment of dry and wet macular degeneration. *Clinical ophthalmology*, 2345-2353.
- Chapman-Jones, D. (1998). *The Achilles tendon: An evaluation of the healing processes occurring with chronic pathology; using a prospective comparison study of conservative treatment regimes and micro-current application* (Unpublished Doctoral dissertation). City University, London, UK.
- Choi, H. J., & Kim, S. S. (2013). Efficacy of microcurrent electrical neuromuscular stimulation with different types of stimulating electrodes. *Journal of Korean Medicine Rehabilitation*, 23(3), 107-116.
- Gilcreast, D. M., Stotts, N. A., Froelicher, E. S., Baker, L. L., & Moss, K. M. (1998). Effect of electrical stimulation on foot skin perfusion in persons with or at risk for diabetic foot ulcers. *Wound Repair and Regeneration*, 6(5), 434-441.
- Janmey, P. A, Shah, J., & Tang, J. X. (1998). Complex networks in cell biology. In *Dynamic Networks in Physics and Biology: At the Frontier of Physics and Biology* Les Houches Workshop, March 17-21, 1997(pp.17-25). Springer Berlin Heidelberg.
- Jo, A. R., Yoo, S. H., & Yoon, S. H. (2013). The kinematic analysis of upper extremities for badminton smash and drop motions depends on the player's Level. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(3), 201-208.
- Jung, Y.-j., Jung, D.-y., You, H.-y., & Gho, S.-j. (2000). Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and microcurrent electrical neuromuscular stimulation on delayed onset muscle soreness. *Physical Therapy Korea*, 7(2), 76-87.
- Kang, S.-J., Park, K.-H., Lee, M.-S., & Choi, H.-N. (1998). The morphological proportionality in elite badminton players. *The Korean Journal of Physical Education*, 37(2), 389-398.
- Kemmler, W., & Von Stengel, S. (2012). Alternative exercise technologies to fight against sarcopenia at old age: A series of studies and review. *Journal of aging research*, 2012.
- Kim, D.-m., & Sung, B.-j. (2021). The comparison of physical fitness in game type, game level and gender difference of the elite high school badminton player. *The Korean Journal of Physical Education*, 60(1), 639-649.
- Kim, H.-k., Chai, J. H., & Kim, C.-h. (2021). Analysis of contractile properties in lower extremity muscles of youth international badminton players. *The Korean Journal of Physical Education* 60(4), 1-13.
- Kim, J.-W., Kim, D.-Y., & Yang, C.-H. (2011). Study on sports injuries in badminton clubs sport for all of the sport participation. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 44(2), 761-778.
- Kim, M.-J. (2009). Relationship between service and service return course of women's double game for badminton. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 35(2), 1143-1154.
- Kim, S.-D., Park, H.-M., & Jung, H.-S. (2009). The comparison of effect of MC intensity in pain and ROM in delayed onset muscle soreness. *The Korean Academy of Clinical Electrophysiology*, 7(1), 1-6.
- Kim, S.-h., & Lee, J.-h. (2020). Designing smart sportswear to support the prevention of sports injuries in badminton club activities. *Science of Emotion & Sensibility*, 23(3), 37-46.
- Kim, Y.-W., & Park, S.-T. (2014). Comparison of

- muscle force and activation for unilateral and bilateral movements in multi-joint leg extension. *KINESIOLOGY*, 16(1), 75-85.
- Korea Sports Support Portal. (n.d.). Retrieved October 2, 2023, from <https://g1.sports.or.kr/stat/stat01.do>
- Koo, H.-M. (2005). *배드민턴 단식선수의 상대 타구에 대한 예측능력 향상 전략* [Strategies to improve the prediction ability of badminton singles players regarding opponent's hit balls]. Seoul, Korea: Korea National Sport University Sport Science Research Institute.
- Lee, D. H., & Huh, J. H. (2006). The relationship between the sport motivation and the performance strategy depending on the level of competitiveness among Badminton players. *Korean Society Of Sport Psychology*, 17(4), 203-214.
- Lee, D. W., Won, J. E., Moon, M. K., & Lee, K. C. (2022). The moderating effect of participation level in the relationship between the participation period and intrinsic motivation of badminton participants. *Journal of Korean Education Society*, 27(4), 263-272.
- Lee, J., & Lim, B. (2014). Sports for all injury mechanism and prevention program review. *The Korean Journal of Physical Education*, 53(5), 533-542.
- Lee, S. K. (2020). Acupoint electrical stimulation preconditioning to reduce hemorrhoid pain: A case report. *Korean Journal of Acupuncture*, 37(3), 198-202.
- Lim, B. (2007a). Does a knee brace decrease recurrent anterior cruciate ligament injuries. *Health Sports Med*, 9, 103-109.
- Lim, B. (2007b). The effects of knee brace on the knee extensor and valgus moment during the rebound in female highschool basketball player. *The Korea Journal of Physical Education*, 46(4), 509-514.
- Lim, B., Kim, K.-W., & Seo, J.-S. (2012). The effects of knee brace on anterior cruciate ligament injuries risk factors during one-legged landing of female gymnasts. *The Korean Journal of Physical Education*, 51(4), 419-425.
- McMakin, C. (1998). Microcurrent treatment of myofascial pain in the head, neck, and face. *Topics in Clinical Chiropractic*, 5, 29-35.
- Moon, S.-B., Lee, W.-J., Hong, C.-B., & Kim, K.-J. (2007). Effects of cervical extension exercise and Mckinzie exercise on the pain and cervical muscle strength in patients with cervicalgia. *The Korea Journal of Sports Science*, 16(3), 687-698.
- Oh, C. A., Sung, B., & Lee, D. (2016). Injury prevalence of Korea elite badminton players of elementary, middle, and high school. *Journal of Coaching Development*, 18(1), 21-29
- Oh, C.-H., Choi, S.-N., & Jeong, I.-S. (2005). Kinematic analysis of the badminton drop-shot motion. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 15(1), 221-235.
- Oh, S. (2022). A study on the emotional status, pain intensity and cognition of the injury experienced elite athletes. *The Korean Journal of Sport*, 20(4), 723-732.
- Park, R.-J. (1997). The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and microampere electrical nerve stimulation on sympathetic tone in healthy subjects. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, 9(1), 51-57.
- Poltawski, L., & Watson, T. (2011). Measuring clinically important change with the patient-rated tennis elbow evaluation. *Hand Therapy*, 16(3), 52-57.
- Ryu, J.-M., Kim, S.-S., Kim, K.-S., & Chung, S.-H. (2008). A Literature review on the clinical application of microcurrent electrical neuromuscular stimulation (MENS) : Articles published for recent 10 years. *Journal of Korean Medicine Rehabilitation*, 18(4), 121-133.
- Sin, G.-S., & Kim, K.-S. (2015). Biomechanical analysis of straight and cross stroke on smash & drop motion in women badminton player. *Korean Society For The Study Of Physical Education*, 20(2), 75-88.
- So, J.-M., Han, S.-M., & Seo, J.-H. (2003). Comparison of the kinematic variables in the badminton smash motion. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 13(2), 65-74.
- Son, Y.-H., & Park, H.-S. (2016). The effects of electrical muscle stimulation on lower body muscularfunction and balance ability of elderly. *The*

- Korea Journal of Sports Science*, 25(1), 1371-1383.
- Song, C.-H., Choi, T.-K., & Baek, S.-H. (2011). Effects of exercise flow on social adjustment and exercise addiction in badminton club members. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 44(1), 467-476.
- Tsolakidis, S., Rosenauer, R., Schmidhammer, R., Pallua, N., & Rennekampff, H. (2022). Wireless microcurrent stimulation improves blood flow in burn wounds. *Burns*, 48(5), 1230-1235.
- Wei, L. L., Oh, C. H., Jeong, I. S., Park, C. H., & Lee, J. T.(2009). Kinematic analysis of the badminton drive motion. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 19(1), 77-85.
- Wirsing, P. G., Habrom, A. D., Zehnder, T. M., Friedli, S., & Blatti, M. (2015). Wireless micro current stimulation—an innovative electrical stimulation method for the treatment of patients with leg and diabetic foot ulcers. *International wound journal*, 12(6), 693-698.
- Won, C. H., Kim, D. G., Kim, J. I., Kwon, J. K., & Kim, B. S. (2005). The effects of aquatic remedial program on knee joint injured athletes of the pain and flexibility. *Korea Sport Research*, 16(4), 253-264.
- Yeun, E.-J., & Kim, J.-Y. (2021). A study on the high sensitivity electrical muscle stimulation (EMS) pad using E-TEXTILE. *Science of Emotion & Sensibility*, 24(3), 81-90.

Received (October 25, 2023)

Revised (November 13, 2023)

Accepted (November 21, 2023)

저자 박진희는 현 편집위원으로 재임 중이나 이 논문의 게재를 결정하는 데 어떠한 역할도 하지 않았으며 관련된 잠재적인 이해상충도 보고되지 않았음