

패션비즈니스 제28권 2호

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

J. fash. bus. Vol. 28,
No. 2:109-124, May. 2024
[https://doi.org/
10.12940/jfb.2024.28.2.109](https://doi.org/10.12940/jfb.2024.28.2.109)

Corresponding author

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

Keywords

PARA Taekwondo,
Pain relief,
Electrical muscle stimulation,
Calf brace,
Textile electrode design
PARA 태권도, 통증 완화,
전기 근육 자극, 종아리 보호대,
텍스타일 전극 디자인

이 논문은 2024년도 정부(산업통상자원
부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의
지원을 받아 수행된 연구임(P0012770,
2024년 산업혁신인재성장지원사업)

PARA 태권도 선수의 통증 완화를 위한 종아리 EMS 보호대 설계 및 효과

한국현* · 박진희 · 김주용†

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

Design and Efficacy of Calf EMS Protective Gear for Pain Relief in PARA Taekwondo Athletes

Kookhyun Han* · 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

The aim of this paper is to design and evaluate calf braces that are equipped with Electrical Muscle Stimulation (EMS) modules. These braces are intended to alleviate calf pain in PARA Taekwondo athletes. The paper also seeks to assess the effects of different textile electrode designs. PARA Taekwondo participants are at a heightened risk of injuries and pain due to the nature of this exercise, which is designed for individuals with disabilities. Additionally, there is a significant risk of strain on the lower limb muscles in PARA Taekwondo compared to regular Taekwondo. To address this issue, calf taping methods are commonly used. In this study, we develop calf EMS protective gear and aim to examine the effects of different textile electrode designs inspired by taping methods. We evaluate the differences in the effects of three different textile electrode designs through visual analog scale (VAS) and range of motion (ROM) measurements. The results show that EMS protective gear has the potential to reduce calf pain among PARA Taekwondo athletes, with electrode designs inspired by kinesiology taping providing the most effective pain relief. This research suggests that these findings may be applicable to other sports disciplines, body areas, and everyday pain relief scenarios.

1. 서론

현대 사회에서 체육 활동은 건강 증진과 신체적, 미적 가치를 추구하는 데에 있어 중요한 역할을 하고 있다(Kim & Ryu, 2021). 이러한 체육 활동 중 하나로서 태권도는 그 독특한 기술과 운동량으로 유명하며, 이는 선수들에게 뛰어난 체력과 유연성을 요구하고 있다. 최근 수 십년 동안, 태권도는 그 독특한 기술과 철학적 가치로 세계적으로 대중화되고 있는 무술의 하나로 주목받고 있다(Pieter, 2009). 한국의 전통 무술 중 하나로 발원한 태권도는 그 동양적 가치와 미학뿐만 아니라 체력, 정신력을 향상시키는 효과로 세계 각지에서 수많은 사람들에게 사랑받고 있다. 대한민국은 물론이고, 전 세계적으로 태권도의 대중화는 그 어느 때보다 높은 수준에 이르렀다(Chiodo, Tessitore, Cortis, Lupo, Ammendolia, Iona, & Capranica, 2011). 이는 운동의 중요성과 건강한 라이프 스타일을 추구하는 현대 사회의 흐름과 일맥상통하며, 많은 사람들이 그 활동성과 독특한 기술을 경험하고자 하는 욕구에 의한 것으로 해석할 수 있다(Campos, Bertuzzi, & Dourado, 2012). 세계 각국에서 열리는 국제 태권도 대회는 이러한 대중화의 한 장면으로서, 각 국가의 태권도 선수들이 기술의 경쟁과 문화적 교류를 통해 세계무술의 대표로서의 위치를 공고히 하고 있다. 더불어, 태권도는 그 특유의 경기 체제와 규칙을 통해 세계 각지의 참가자들에게 공평하고 격렬한 경기를 제공하면서, 다양성과 교류의 장이 되고 있다. 이러한 태권도의 대중화와 세계화 현상은 단순히 무술의 기술적인 측면뿐만 아니라 문화적인 측면에서도 긍정적인 영향을 미치고 있다(Lystad, Pollard, & Graham, 2009). 다양한 문화 간 교류와 이해는 세계 각지의 태권도 수련자들에게 뿐만 아니라 그 외의 이들에게도 역동적인 가치를 제공하며, 문화의 경계를 허물어 새로운 연대와 이해의 지평을 열어가고 있다.

태권도는 체력 향상과 정신력 강화를 목적으로 하는 전통적인 무술 중 하나로, 그 독특한 기술과 운동량으로 인해 광범위한 연령대와 인구층에게 사랑받고 있다(Bridge, Ferreira, & Chaabene, 2014). 그러나 무술 활동의 특성상 고강도의 운동과 극한의 유연성이 요구되다 보니, 부상의 위험성은 불가피한 현실로 부각되고 있다(Kim, Cha, Lee, Kan, & Kim, 2020). 태권도 수련 중 발생하는 부상은 그 정도와 종류에 따라 선수들의 훈련 및 경기 활동에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 특히, 하지 부상은 태권도 선수들에게 가장 흔히 나타나는 문제 중 하나로, 종종 지나친 스트레칭 부족, 부적절한 기술 수행, 또는 불필요한 신체 부하로 인해

발생할 수 있다(Xia, He, & Wu, 2020). 이러한 부상의 위험성뿐만 아니라, 부상으로 인한 부작용 또한 태권도 선수들에게 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 만성적인 통증, 운동 불편감, 그리고 정신적인 스트레스는 선수의 전반적인 피로감과 정신적인 상태에 영향을 주어 효율적인 훈련 및 성과 달성을 저해할 수 있다(Mosler, 2018).

장애를 가진 개인들이 태권도를 수련하고 참가할 수 있도록 설계된 현대적 형태의 태권도의 종류인 PARA 태권도는 전통적인 태권도의 원칙을 기반으로 하며, 장애를 가진 사람들의 특수한 요구에 부응하여 개발된 것으로 볼 수 있다. PARA 태권도는 참가자들에게 동등한 기회를 제공하고, Figure 1 과 같이 신체적 제약에도 불구하고 무술을 통해 신체적, 정신적인 향상을 이룰 수 있는 특별한 운동 환경을 제공한다. 이러한 측면에서 PARA 태권도는 무술의 평등한 접근성을 강조하며, 장애를 가진 개인들에게 적용 가능한 훈련 방법을 제공한다. 장애의 종류와 정도에 상관없이 무술의 기술을 익힐 수 있도록 유연하게 설계된 PARA 태권도는 참가자들에게 자신감을 키우고, 신체적, 정신적인 능력을 향상시킬 수 있는 독특한 기회를 제공할 수 있다(Davalli, O'Sullivan, Bella, & Jeong, 2021).

특히, PARA 태권도는 선수들의 활동 패턴과 신체적 특성으로 인해 부상에 취약한 부분이 있다(Ivček, Buljevac, & Leutar, 2021). 3전 다승제 (2분 3회전 / 각 회전 간 1분 휴식) 이라는 기존 태권도 경기 시간과 다르게 PARA 태권도의 경기 규칙은 단회 5분이라는 시간을 갖는데, 총 경기 시간으로 보면 PARA 태권도의 경기 시간이 짧은 것이 맞지만 쉬지 않고 5분이라는 시간은 장애를 가진 선수들의 신체에 통증이 누적되어 큰 무리가 발생하기에 충분히 긴 시간이다(Pieter, Fife, & O'sullivan, 2012). 따라서, 경기 및 훈련 전후에 즉각적인 통증 완화를 위한 방법의 도입이 필요하다는 것이 현 선수들의 입장이다. 경기 규칙과 관련된 제도의 개선도 중요하지만, 근본적으로 PARA 태권도 선수들의 의지는 장애와 상관없이 태권도 수련에 임하는 것이기 때문에 통증 문제를 완화할 수 있는 방법을 찾는 문제가 중요할 것이다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 마사지, 테이핑 용법 등 신체에 직접 작용하여 통증 완화 효과를 낼 수 있는 방법이 제시되고 있다. 본 논문에서는 언급한 마사지, 테이핑 두 가지의 방법을 결합한, 전기 근육 자극(EMS)을 활용한 보호대의 설계와 적용을 제안한다. 전기적 용법으로 근육에 자극을 일으키는 EMS를 테이핑 용법이 적용되는 비복근 방향으로 배치하여 두 방법을 동시에 적용함으로써 통증 완화 효과를 증폭시키는 역할을 실험을 통해 확인하고자 한



Figure 1. Scene from Para Taekwondo Competitions
(taken by authors)

다. 설계된 EMS 보호대는 태권도 종목에서 선수들이 가장 빈번하게 사용하는 종아리 부위에 적용되어 PARA 태권도 선수의 훈련 효율과 안정성을 향상시키는 중요한 요소로 작용할 것으로 기대된다.

본 논문은 PARA 태권도의 운동 특성을 기반으로 부상 예방 및 통증 완화를 위한 최적의 EMS 보호대 설계를 목표로 한다. 더불어, 설계된 EMS 보호대의 효과를 일반적으로 사용되는 테이핑 요법과 비교하여 EMS가 주는 효과를 검증하고, 기존 제품에서 전극 디자인의 차이가 성능에 주는 효과를 확인하고자 한다. 검증은 피실험자들에게 근육통을 유발 후 각각의 경우에서 통증정도를 VAS를 통해 시각화하여 결과를 평가한다. 이를 통해 본 연구는 PARA 태권도 선수들이 경험하는 통증을 감소시키고, 그들의 훈련 및 경기 중 더 나은 성과를 이룰 수 있는 의미있는 해결책을 제시할 것으로 기대된다.

II. 연구적 배경

1. 태권도 기술

태권도는 다양한 신체적 기술과 정신적 수련을 포함하는 종합적인 무술이며, 이는 태권도 수련자가 단순히 신체적 능력

을 향상시키는 것을 넘어 정신적, 도덕적 발달을 목표하도록 격려한다(Matsushigue, Karin, Hartmann, & Franchini, 2009). 이러한 목표를 갖는 태권도의 기술은 크게 발기술, 손기술의 분야로 설명할 수 있다.

발기술은 태권도에서 가장 대표적인 기술로, 다양한 종류의 차기 방법을 포함한다(Casolino, Lupo, Cortis, Chiodo, Minganti, Capranica, & Tessitore 2012). 이 기술은 하체의 힘과 유연성을 크게 향상시키며, 신속성과 정확성을 요구한다(Mailapalli, Damodhara, John, & Thomas, 2015). 발 기술에는 앞차기, 옆차기, 돌려차기, 뒤차기 등이 포함되며, 각기 다른 상황과 목적에 맞게 수행된다. 다음으로 손기술은 태권도에서 사용하는 다양한 손의 움직임을 포함한다. 주먹 지르기, 손날치기, 밀기 등이 이에 해당한다(O'Sullivan, Jeong, & Won, 2022). 손기술은 상대와의 거리가 가까울 때 주로 사용되며, 방어와 공격 모두에 활용될 수 있다. 이 기술은 상체의 힘과 조절 능력을 강화한다. 품새는 태권도의 다양한 기술을 연속적으로 수행하는 일련의 동작으로 구성된다. 품새 수행은 신체적 기술뿐만 아니라, 집중력과 기(氣)의 흐름을 조절하는 능력을 향상시킨다. 품새는 태권도의 철학적, 예술적 측면을 반영하며, 수련자가 무술의 깊은 이해를 얻을 수 있도록 돕는다(Pons, Lenssen, Leffers, Kingma, & Lodder, 2013).

PARA 태권도에서의 기술은 전통적인 태권도 기술을 기반으로 하되, 선수들의 다양한 신체적 제약을 고려하여 조정되고 변형된 기술을 포함한다. 이는 PARA 태권도의 접근성을 높이는 방법이며, 단순한 무술을 넘어 모든 사람에게 열려 있는 정신적, 신체적 수련의 도구임을 보여준다. PARA 태권도에서 사용되는 기술은 선수들의 장애 유형과 정도에 따라 차이가 있으며, 모든 선수들이 공정하게 경쟁할 수 있도록 설계되었다. 예시로 Figure 2 과 같이 상지, 하지 장애 선수와 비장애선수의 품새 동작의 차이를 볼 수 있다. 상지 장애가 있는 선수는 손을 사용한 기술을 최소화하고, 발이나 다른 신체 부위를 활용한 기술로 대체할 수 있다. 반면, 하지 장애가 있는 선수의 경우 하체 사용 대신 손을 활용한 기술로 대체된다.

태권도 경기에서는 기술의 난이도와 실행의 정확성에 따라 다른 점수를 부여한다. 일반적으로, 태권도 겨루기에서는 특히 손기술보다 발기술이 중요하게 여겨진다(Estevan, Isaac, Daniel, & Coral, 2013). 주된 이유 중 하나는 경기 규칙에서 발기술에 부여하는 점수가 손기술에 비하여 상대적으로 높기 때문이다(Pieter & Pieter, 1995). 세계태권도연

맹(WT)의 규칙에 따른 정량적인 수치를 통한 설명은 Table 2 과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 발기술을 사용한 점수 획득이 손기술을 사용한 것보다 높음을 확인할 수 있다. 또한, 태권도에서 발기술의 종류는 손기술보다 많다. 태권도 기술의 지속적인 발전으로 인해 새로운 형태의 기술이 추가되고 있고, 기본 기술에서 파생된 다양한 변형 기술이 생성되고 있기 때문에 정확한 숫자를 들어 그 개수를 파악하기 어렵지만, 크게 Table 1 과 같이 발기술과 손기술의 종류를 분류할 수 있다. 이러한 내용들로 태권도는 '발의 무술'이라 불릴 정도로 하지를 사용한 발기술 종류의 중요성을 확인할 수 있다(Kim, Yoon, & Shin, 2011).

PARA 태권도는 이러한 기술적 변형을 통해 장애인에게 스포츠적 역량을 키울 수 있는 방법을 제시하였으며, 장애인 스포츠에 대한 인식을 넓히는 것에 중요한 역할을 한다. PARA 태권도를 통해 장애인도 무술 수련을 통한 정신력, 인내력을 키울 수 있고, 여러 대회들은 이들이 자신의 장애를 극복하고 도전과 성취를 함으로써 스포츠의 가치를 높이는 모습을 보여줄 수 있다.



Figure 2. Examples of Poomsae Movement Differences Between Athletes with Disabilities and Non-disabled Athletes (Top left to bottom right: Left Downward Kick/Left Front Stance, Right Front Body Kick/Cat Stance, Right Hand Body Block, Side Kick) (taken by authors)

Table 1. Types of Foot Techniques and Hand Techniques in Taekwondo

Foot techniques	Hand Techniques
Front Kick (앞차기)	
Back Kick (뒤차기)	
Side Kick (옆차기)	Punch (지르기)
Turning Kick (돌려차기)	Strike (치기)
Downward Kick (내려차기)	Push (밀기)
Crescent Kick (반달차기)	Block (막기)
Swing Kick (후려차기)	
Jumping Kick (뛰어차기)	

Table 2. Scoring of Taekwondo Techniques

Taekwondo	PARA Taekwondo	점수
Attacking the torso with a front kick	Attacking the torso with a front kick	Awarding 2 points
Attacking the head with a back kick	Attacking the torso with a back kick	Awarding 3 or more points
Attacking the head with a kick that includes a spinning motion	Attacking the torso with a kick that includes a spinning motion	Awarding 4 or more points
Attacking with hand techniques	-	Generally awarding 1 point

2. 종아리 근육 피로

신체에서 부분적으로 발생하는 피로의 원인은 그 부위의 근육이 수축/이완하는 정도가 많기 때문일 것이다. 특히 태권도 겨루기 경기에서는 주먹보다는 발을 사용한 타격기술이 점수획득에 주 요인이 되고, 또한, 태권도는 정적인 무술이 아니라 스텝이 존재하는데, 이에 따른 종아리 근육의 사용이 잦아진다(Sant'Ana, Franchini, Silva, & Diefenthaler, 2017). 종아리 근육은 단순히 서있는 자세만 유지하여도 긴장된 상태를 유지하여 통증이 유발될 수 있기 때문에 태권도를 수행할 시 종아리 근육의 통증은 몸이 불편한 PARA 태권도 선수들에게 힘든 요인이 될 것이다(Seo, Kim, & Ju, 2020). 또한, 운동역학적인 시각으로 봤을 때, 다리를 들어 휘두르는 발차기 자세를 취할 경우 발목-무릎-고관절에 이어지는 신전이 반복됨에 따라 하지에 피로가 발생하게 되고,

착지동작이 수행될 경우 종아리 부위에 추가적인 자극이 가해질 수 있다(Lee, Youm, Son, Kim, & Kim, 2017). 따라서 태권도를 할 때에 종아리에 발생하는 부하로 인해 근육 피로가 발생하는 양이 과다할 것으로 보인다.

이러한 근육 피로는 근육 파열이 아닌 경우 적절한 휴식이나 스트레칭을 통해 회복이 가능하다. 테이핑 요법은 스트레칭을 더 효과적으로 할 수 있는 방법 중 하나인데, 근육이 형성되어 있는 방향에 맞추어 테이프를 부착하여 회복에 도움을 줄 수 있다(Fu, Wong, Pei, Wu, Chou, & Lin, 2008). 여러 운동 경기에서 선수들이 신체에 테이프를 붙이고 경기를 수행하는 모습을 볼 수 있다. 선수들이 테이핑을 하는 이유는 테이핑 요법이 근육 이완에 도움을 주어 피로 감소를 발생시켜 운동 능력 향상에 도움을 주기 때문이다(Artioli & Bertolini, 2014). 테이핑 요법의 원리는 스트레칭된 부위에 테이프를 붙여 테이프의 수축으로 근육과 근막



Figure 3. Taping Therapy for Pain Relief
(drawn by authors)

사이의 공간을 팽창시켜 혈액순환 향상 등의 효과로 근육 통증을 완화시키는 것이다(Yoshida & Kahanov, 2007). 더하여, 과신전과 과수축 같은 근육에 무리를 줄 수 있는 행위를 방지하는 효과도 갖게 된다. 앞서 태권도를 통해 발생하는 종아리 통증 역시 테이핑 요법을 통해 완화 효과를 볼 수 있다. Figure 3 와 같이 종아리 근육에 맞추어 테이핑을 할 수 있다. 종아리에서 큰 근육인 비복근의 결에 맞추어 테이핑을 하는 모습을 확인할 수 있다.

본 논문에서 언급한 PARA 태권도의 선수들은 신체의 불편함으로 인해 종아리 통증이 더 심할 수 있다. 특히 신체의 움직임이 힘들어 혈액순환이 어려워지게 된다면 하지정맥류와 같은 병으로 더 큰 통증이 발생하기 쉽다. 따라서 본 논문에서는 테이핑 요법에 더하여 좀 더 효과적인 종아리 통증 완화를 위한 연구를 진행하고자 한다. 따라서, EMS(전기 근육 자극)을 사용한 보호대 제작으로 효과를 확인하고자 한다. 기존의 시중 EMS 보호대 제품들 및 관련한 연구는 대부분 종아리 축 방향 수직으로 EMS 자극이 가해지게 배치되어 있으며 이 외에도 다른 여러 종류의 전극 디자인을 고려하지 않는 등 전극 디자인에 따른 효과의 차이를 입증하는데 부족함이 있었다(Hwang, Park, & Kim, 2021). 본 논문에서는 정맥혈을 자극하는 비복근을 감싸도록 전극을 세로로 배치하여 효과를 검사와 이를 확장하여 기존 제품과의 차별성을 둔 고성능의 제품 개발의 기초가 되고자 한다.

3. 전기 근육 자극

EMS(전기 근육 자극)은 Electric Muscle Stimulation 의 줄임말로 전기 자극을 발생시켜 인위적으로 근육을 수축시키는 것을 말한다(Parry, Berney, Granger, Koopman, El-Ansary, & Denchy, 2013). 인위적인 근육의 수축은 뇌에서 움직임이 발생한 것으로 느끼게 하여 운동이나 운동 후 회복의 효과를 갖게 한다. 따라서 최근 이 현상을 통해 여러 기술로 발전시키고자 하는 산업이 늘고 있다(Lopes, Ion, & Baudisch, 2015). EMS 를 통한 치료는 특히 신체 움직임에 제한을 갖는 환자들에게 적용될 때, 큰 효과를 볼 수 있다. 전기 자극이 피부를 통해 근육에 직접적으로 작용되기 때문이다. 따라서, 움직임이 불편한 PARA 태권도 선수들에게 적용될 경우 착용하여 EMS를 작동시킴으로 쉽게 근육 피로를 완화할 수 있는 결과를 가져올 수 있을 것으로 예상된다.

EMS 는 아래 Figure 4 와 같은 구조로 설계되어 있다. 그림과 같이 전기를 받아 저주파를 발생시키는 파워 장치가 있고, 신체에 접촉시켜 이를 전달하는 패드 부로 나뉘게 된다. 본 논문에서는 EMS를 좀 더 효과적으로 사용하기 위해 두 개의 전극을 사용하여 전위 차를 유도하며 이를 통해 근육을 자극하는 방식의 EMS로 전도성 원단을 배치하여 전기 자극이 적용되는 범위를 넓히고, 이를 작동시킬 수 있도록 구성하여 보호대를 설계하였다.

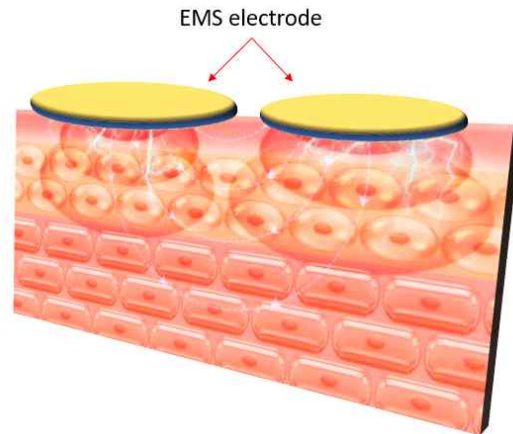


Figure 4. The Structure of EMS
(drawn by authors)



Figure 5. EMS Calf Brace
(taken by authors)

III. 실험 방법

1. EMS 보호대 제작

본 논문에서는 테이핑 요법의 원리를 응용하여 테이핑 요법이 적용되는 부위에 전도성 원단을 부착하여 더 효율적인 종아리 보호대를 만들고자 한다. 보호대에 전도성 원단을 부착하는 식으로 보호대를 제작하였다. 사용할 보호대는 착용 시 보호대 내부에 있는 실리콘이 종아리 부위에 점착되어

테이핑 효과를 주는 것이 특징이다. 이 형태의 보호대에 전도성 원단을 부착하여 EMS 장치를 구성하여 장착하는 방식으로 EMS 보호대를 제작하였다. 전도성 원단을 Figure 5와 같이 두 줄의 바이폴라 형식으로 설계할 경우 전기 자극의 분포를 균일하게 만들어 근육에 더 효과적인 자극을 제공할 수 있다. 또한, 전기 자극이 근육에 가까운 위치에 발생하기 때문에, 근육 수축을 더 자연스럽게 발생시킬 수 있다. 본 논문에서는 Figure 5의 (H), (V), (G)의 세 가지 형태로 제작하여 EMS 성능 및 그 효과를 평가한다. (H)와

(V) 형태의 제작을 통해 가로, 세로 방향의 EMS 자극의 효과를 각각 평가하고, 테이핑 요법의 원리를 적용하여 (G)와 같이 종아리 내부 비복근의 방향에 맞추어 EMS 자극이 적용되도록하여 성능을 평가하고자 한다. EMS 전달을 위한 전극 역할을 수행하는 전도성 원단에 교류 전류를 전달하기 위한 설계 방안 및 단면도는 Fig. 6과 같다. Laser cutting machine을 통해 재단된 전도성 원단은 종아리 슬리브에 열

프레스기로 접착되었으며 전도사(120D, 은 코팅 나일론사)를 통해 자석 스냅까지 이어진다. 또한 자석 스냅은 F사의 EMS 모듈(Figure 7)과 부착되어 교류 전류가 전달되도록 한다. 사용된 종아리 슬리브는 폴리 95%, 스판덱스 5%의 혼용물로 구성되었으며 가로 폭 12cm, 세로 폭 30cm이고 전도성 원단은 시중에 판매되고 있는 은 코팅 나일론사 100%의 편직물로 직물 구조는 Figure 8과 같다. 또한 전도

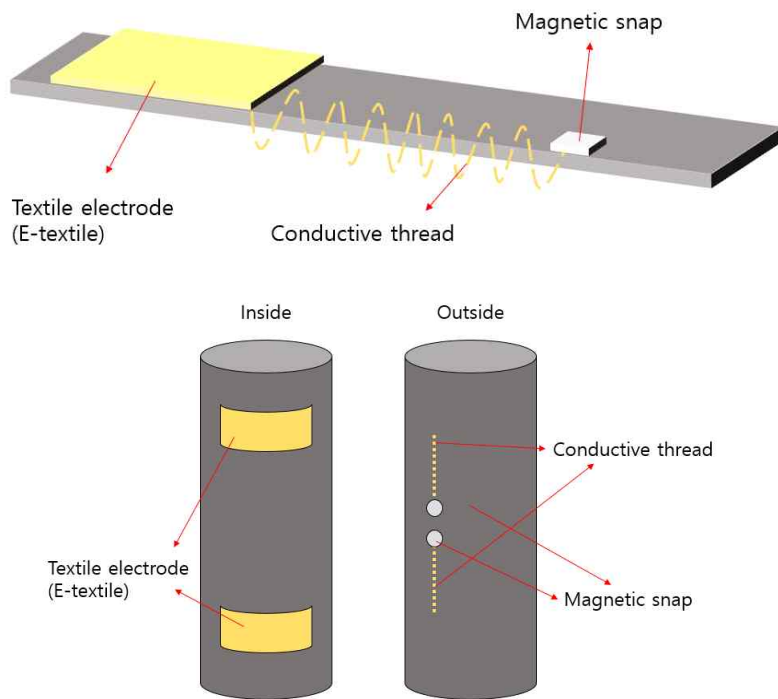


Figure 6. EMS Sleeve Design Diagram(H)
(drawn by authors)



Figure 7. Ems Module
(taken by authors)



Figure 8. Structure of Conductive Fabric
(Taken by authors)

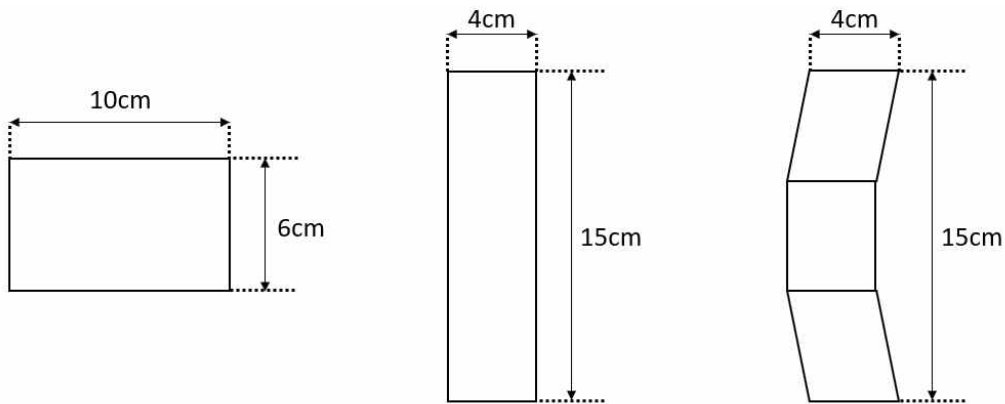


Figure 9. Fabric Electrode Design Diagram
(drawn by authors)

성 원단의 면적으로 인해 EMS의 강도가 변화할 수 있으므로 면적은 모두 60cm^2 로 통일하였다. 가로 방향의 전극의 경우 $10\text{cm} \times 6\text{cm}$, 세로 방향의 전극의 경우 $4\text{cm} \times 15\text{cm}$, 키네시오 테이핑 형태의 전극의 경우는 폭 4cm , 총 높이 15cm 로 면적을 통일시켰다. 제품의 디자인은 Figure 6과 같으며, 전극의 디자인은 Figure 9과 같다. 최종적으로 착용한 모습은 각각 Figure 10과 같다.

위와 같이 제작된 EMS 보호대의 경우 전극 디자인에 따라 장력이 달라져 EMS 자체의 효과가 아닌 압박으로 인한 효과가 달라질 수 있다. 또한 수축, 이완 시 충분히 낮은 저항을 형성하지 못해 전류의 전달에 지장이 있을 수 있다.

따라서 Universal Testing Machine (UTM)을 통해 전극이 부착 전, 후 인장력이 유의미한 변화가 일어나는지, 직물 전극은 전극 역할을 할 정도의 낮은 저항이 유지되는지 관찰하였다. 먼저 전극이 부착되기 전 보호대 샘플을 UTM에 고정 후 가동 설정을 1cm/s 의 속력으로 5cm 에서 7.5cm 까지 총 100회 왕복운동을 진행하였다. 이후 건식 전극을 부착하고 똑같은 크기의 샘플로 절단 후 같은 방식으로 왕복운동을 진행 및 이 과정에서 인장력을 측정하였다. 전극이 부착된 샘플의 경우 저항 및 저항의 변화를 측정하여 EMS 보호대로써의 기능을 할 수 있는지 실험하였다.



Figure 10. Wearing an EMS Sleeve
(drawn by authors)

Table 3. VAS Question

VAS Index	VAS Question
1	The degree of calf pain when no movement is made.
2	The degree of pain experienced during repetitive calf movements.
3	The degree of pain when the ankle is flexed backward.
4	The degree of pain when getting up from a seated position.
5	The degree of pain during jumping.
6	The degree of pain during walking.
7	The degree of pain during running.

2. EMS 보호대 성능 평가

성능 평가는 시각 통증 척도(VAS) 및 ROM(Range Of Motion, 관절 가동 범위)을 통해 비교한다. 실험에 사용된 시각 통증 척도의 질문 내용은 아래 Table 3 과 같으며 각각의 질문에 1부터 10까지의 척도로 통증 정도가 높으면 10, 낮으면 1의 통증 정도를 평가하였다. 실험을 위해 PARA 태권도 선수 10명에게 Figure 11 과 같은 하지에 자극을 줄 수 있는 동작인 ‘카프 레이즈’ 100회를 2회에 나누어 시행시킨 후, VAS 설문을 통해 통증 정도를 확인한다. 이후 발목의 ROM 각도를 측정한다. 발목의 ROM 각도 측정은 Dorsiflexion 상태, Plantar flexion 상태에서 각각

측정되며 상세한 방법은 Figure 12와 같다. 또한 이전 실험이 종료되고 난 후에는 2시간의 휴식시간을 가지고 나서 운동 전 EMS 슬리브 착용 후 EMS 자극을 1분간 진행 한 뒤 다시 통증을 유발하였다. 실험에 참가한 10명의 인원들의 신체정보는 아래 Table 4 와 같다. 실험의 참가자들은 동작을 통해 종아리 부위의 통증을 발생시키고 VAS 설문에 따라 통증을 평가하고 발목의 ROM 변화를 통해 통증의 정도를 입증한다. 그 후, 본 논문에서 제작한 보호대를 통해 종아리 부위에 전기 근육 자극을 수행하여 수행 후의 통증 정도를 VAS 설문에 따라 점수를 설정한다. 실험의 프로세스는 Table 5와 같다.



Figure 11. Calf Raise Posture for Inducing Pain
(drawn by authors)

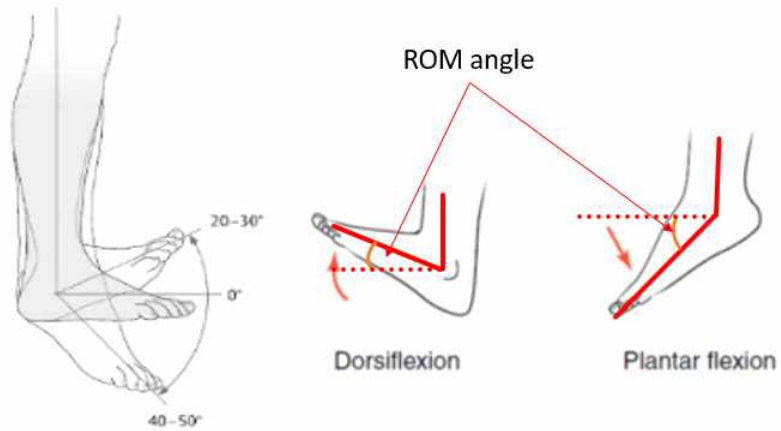


Figure 12. Measurement Methods for Ankle ROM
(drawn by authors)

Table 4. Information on Participants in The Experiment

Variables	Group
Age	26.8 ± 3.9
Height (cm)	176.5 ± 4.2
Weight (kg)	67.2 ± 6.2

(M±SD, n=10)

Table 5. The Process of Measurement Methods in Research

Performing Standing calf raise 100 times						
baseline measurement	→	2H rest	→	wearing 1 st EMS sleeve after (1 min)	→	2H rest
				wearing 2 nd EMS sleeve after (1 min)	→	2H rest
						wearing 3 rd EMS sleeve after (1 min)
Measurement Pain Perception Assessment (VAS)						
Range of Motion of ankle (ROM)						

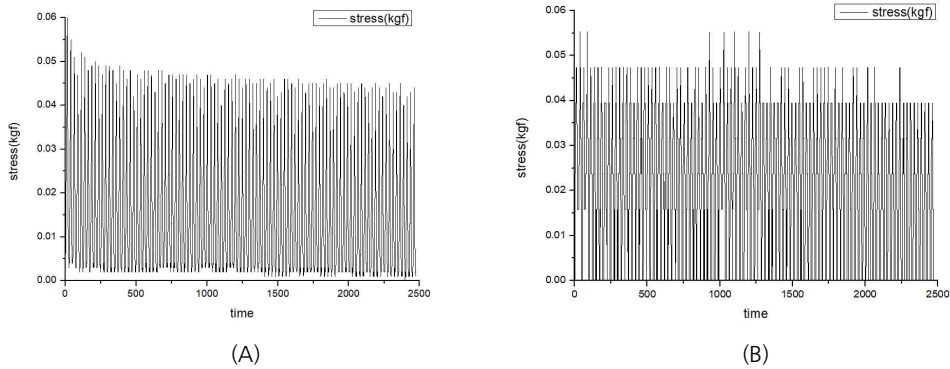


Figure 13. Resistance Changes of EMS Electrodes
 (A: Before attaching the electrode, B: After attaching the electrode)
 (drawn by authors)

3. 자료 처리

프로세스대로 진행된 본 연구의 실험 측정값은 IBM SPSS Statistics for Windows(version 27)를 이용하여 처리되었으며 결과값의 평균(mean: M)과 표준편차(standard deviation: SD)를 나타내었다. 계산된 VAS값은 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하여 분석되었으며, 통계적으로 유의차가 나타난 변인은 사후분석으로 LSD(least significant difference)를 적용하였다. 모든 통계분석의 유의 수준(α)은 0.05로 설정하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. UTM 물성 측정 결과

본 연구에 사용된 EMS 보호대의 물성 측정 결과는 Figure 13과 같다. 먼저 전극이 부착되지 않은 경우 인장력은 0.0553kgf, 전극이 부착된 후 인장력은 0.0600kgf로 0.0047kgf의 미미한 차이를 보였다. 따라서 본 연구에서는 전극 배치로 인한 압력 변화로 통증 완화의 효과는 없다고 해도 무방함을 확인할 수 있었다. 또한 부착 후 전극의 저항은 Figure 14와 같으며 같은 방식으로 UTM을 통해 인장에 따른 저항 변화를 측정한 결과 최소 2.27 Ω 에서 최대 2.94 Ω 으로 전부 EMS의 건식 전극으로 사용되도 무방할 만큼 낮은 저항을 나타내었다.

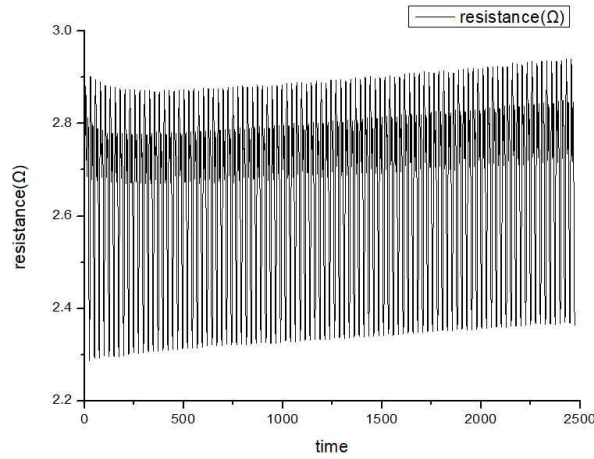


Figure 14. Resistance Changes of EMS Electrodes (drawn by authosr)

Table 6. Compared Of VAS Records

Variable	After Standing calf raise (a)	Perform calf raises immediately after wearing the 1 st EMS sleeve (b)	Perform calf raises immediately after wearing the 2 nd EMS sleeve (c)	Perform calf raises immediately after wearing the 3 rd EMS sleeve (d)	post-verification	p
Vas 1	2.0 ± 0.4	1.5 ± 0.3	1.1 ± 0.3	0.8 ± 0.2	d < b,c < a	.000***
Vas 2	2.7 ± 0.7	2.4 ± 0.3	1.8 ± 0.6	1.5 ± 0.3	d < c < a,b	.000***
Vas 3	3.0 ± 0.7	2.6 ± 0.3	1.9 ± 0.5	1.7 ± 0.5	c,d < b < a	.000***
Vas 4	3.5 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.2 ± 0.4	3.1 ± 0.3	-	.381
Vas 5	3.5 ± 0.3	3.3 ± 0.2	2.6 ± 0.5	2.7 ± 0.5	c,d < a,b	.003**
Vas 6	2.8 ± 0.4	2.4 ± 0.3	1.3 ± 0.2	1.1 ± 0.3	c,d < b < a	.000***
Vas 7	3.5 ± 0.5	3.2 ± 0.4	1.8 ± 0.4	1.7 ± 0.5	c,d < b < a	.000***

*** $p < .001$, ** $p < .01$

2. VAS 측정 결과

자연성 근육통 유발방법 이후 VAS 측정 결과는 Table 6과 같으며, 문항 4번을 제외한 모든 VAS 측정값의 변화는 유의미한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 문항 1번의 경우 아무런 장비를 착용하지 않은 상태에서 자극을 가한 a그룹이 가장 통증의 정도가 크게 나왔으며, 가로방향의 전극 디자인이 들어간 EMS 슬리브를 착용 후 자극을 가한 b그룹 및 세로 방향의 전극 디자인이 들어간 EMS 슬리브를 착용 후 자극

을 가한 c그룹이 유의한 통증 정도를 보였다. 키네시오 테이핑 디자인의 전극이 적용된 EMS 슬리브를 착용한 d 그룹의 경우 가장 낮은 통증 정도를 보였다. 문항 2번의 경우 a,b 그룹은 유의한 통증 정도를 보였으며 이보다 c 그룹이 더 낮은 통증 정도를 나타냈다. 또한 d 그룹이 가장 낮은 통증 정도를 나타냈다. 문항 3, 6, 7번의 경우는 a 그룹보다 b 그룹이, b그룹보다 c,d 그룹이 더 낮은 통증 정도를 나타내었으며, 마지막으로 문항 5번의 경우 a,b 그룹보다 c,d 그룹이 더 통증 정도가 낮음을 알 수 있었다. 즉, 문항별로 다

Table 7. Compared of ROM Records

Variable	After Standing calf raise (a)	Perform calf raises immediately after wearing the 1 st EMS sleeve (b)	Perform calf raises immediately after wearing the 2 nd EMS sleeve (c)	Perform calf raises immediately after wearing the 3 rd EMS sleeve (d)	post-verification	p
Dorsiflexion	42.9±12.8	45.9±9.9	51.9±4.3	52.3±4.5	a, b < c, d	.000***
Plantar flexion	20.7±0.7	21.1±0.8	23.7±1.8	25.8±5.1	a < b < c < d	.000***

*** $p < .001$

른 결과값이 나타났으며 직물 전극의 디자인에 따라 운동별 통증 저하의 효과가 달라질 수 있음을 알 수 있었다. 문항 2, 5번의 결과는 가로배치의 전극 디자인은 반복적인 종아리의 움직임과 점프를 실시할 때 통증 저하에 효과가 없는 것으로 나타났다. 이를 제외한 나머지 1, 3, 6, 7번 문항의 결과에서는 모든 EMS 보호대가 통증 저하에 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 유의미한 결과를 보인 모든 문항에서 키네시오 테이핑 디자인의 전극 EMS 보호대가 가장 통증 완화 효과가 뛰어났으며, 발목이 뒤로 젖힐 때, 점프할 때, 보행 및 달리기 도중의 통증에서는 세로 배치의 전극 디자인과 유의한 정도의 통증 완화 효과를 보였다. 그리고 움직임이 없는 평상시와 반복적인 종아리 움직임 중에서는 키네시오 테이핑 디자인의 전극 배치 방식 EMS 보호대만이 가장 큰 통증 완화 효과를 보였다. 이는 EMS 보호대가 대부분의 경우에 통증 완화에 효과가 있지만 보행, 달리기 등 강한 운동 시에는 종아리 근육을 전체적으로 감싸는 형태의 EMS 전극 디자인이 통증 완화에 더 큰 효과를 줄 수 있으며 앉아 있는 상태에서 일어날 때의 효과가 적었던 이유로 다른 대퇴근육 및 무릎 관절을 활용하여 충분히 종아리의 힘을 분산시키기 쉬운 자세이기 때문에 통증 차이가 크지 않았다고 추측할 수 있다.

3. ROM 측정 결과

각각의 그룹에서 ROM 측정 결과는 Table 7과 같다. 근육통 유발 직후 발목의 가동 범위는 가장 적었으며 상황별 ROM의 변화는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다 ($p < 0.001$). 전극이 세로로 디자인 된 EMS 보호대로 자극을 준 그룹과 키네시오테이핑 방법으로 디자인 된 EMS 보호대

로 자극을 준 그룹은 Dorsiflexion 상태와 Plantar flexion 상태 모두 발목 관절의 가동 범위를 늘려주는 효과를 보여 통증 완화에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다. 또한 Plantar flexion 상태의 경우 발목의 가동 범위가 EMS 자극을 받은 후 전부 증가했음을 확인할 수 있었으며 마찬가지로 c, d 그룹의 순으로 발목의 가동범위가 증가하여 결론적으로 키네시오 테이핑 디자인의 EMS 보호대가 가장 통증 완화에 효과가 있었음을 고찰할 수 있었다.

V. 결론

본 연구는 PARA 태권도 선수들을 대상으로 한 종아리 EMS 보호대의 효과에 대한 연구를 수행하였다. 특히, EMS 보호대의 전극 디자인이 통증 완화에 미치는 영향을 조사하였다. 실험 결과, 키네시오 테이핑 모양의 전극 디자인을 갖춘 EMS 보호대가 다른 디자인에 비해 더 효과적으로 통증을 완화시키는 것으로 나타났다. 통증 완화의 정도는 통증 유발 이후 행하는 운동에 따라 차이가 있었으나 대부분 EMS 보호대를 통한 자극이 통증 완화 효과를 가져다 주었으며 특히 세로 방향의 전극 디자인 및 키네시오 테이핑 모양의 전극 디자인이 효과적이었다. 특히 아무런 움직임이 없을 때와 발목을 뒤로 젖힐 때, 걷거나 뛸 때 키네시오 테이핑 모양의 전극 디자인이 통증 완화에 가장 효과적인 것으로 나타났으며 다른 유의한 결과를 나타낸 문항에서도 세로 방향의 전극 디자인과 같이 가장 통증 완화에 효과적이었다. ROM 측정 결과 Dorsiflexion 상태에서는 가로 방향의 전극 디자인은 EMS 자극이 없는 상태와 유의미한 차이를 나타내진 못했지만 세로 방향의 전극 디자인 및 키네시오 테이핑 모양의 전극 디자인의 EMS 보호대로 자극을 가한 경

우는 관절의 가동 범위가 유의미하게 넓어졌음을 확인할 수 있었다. 또한 Plantar flexion 상태에서는 EMS 자극이 없는 경우, 가로 방향의 전극 디자인 EMS 보호대로 자극을 가한 경우, 세로 방향의 전극 디자인 EMS 보호대로 자극을 가한 경우, 키네시오 테이핑 전극 디자인 EMS 보호대로 자극을 가한 경우 순으로 발목의 관절 가동 범위가 증가하여 통증 완화에 효과가 있었음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 다양한 측면에서 중요한 의의를 갖는다. 우선, PARA 태권도 선수들의 종아리 통증 문제는 그들의 성능과 훈련에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 이에 대한 효과적인 해결책은 그들의 스포츠 경력에 긍정적인 영향을 줄 수 있다. 따라서, 종아리 통증을 완화시키기 위한 적절한 보호대 디자인은 선수들의 훈련 및 경기 참여에 중요한 역할을 할 수 있다. 뿐만 아니라, 통증 관리에 있어서 전통적인 방법들 이외의 대안인 EMS 보호대의 효과에 대한 새로운 시각을 제공한다. 전통적인 치료법과 함께 EMS 보호대를 사용함으로써 통증 관리의 다양성을 확대할 수 있으며, 이는 향후 연구와 임상 실무에서 더 많은 관심을 불러일으킬 것이다. 마지막으로, 이 연구는 디자인적인 측면에서도 중요한 결과를 도출하였다. 키네시오테이핑 모양의 전극 디자인은 통증 완화에 탁월한 효과를 보여주었는데, 이는 보호대의 디자인이 통증 관리에 있어서 중요한 역할을 할 수 있음을 시사한다. 향후 보호대 제조업체 및 연구자들은 이러한 디자인 측면을 고려하여 제품을 개발하고 향상시키는 데 노력할 필요가 있다. 종합하면, 본 연구는 PARA 태권도 선수들의 통증 완화를 위한 EMS 보호대의 설계디자인 효과에 대한 새로운 통찰을 제공한다. 더 나아가, 특정한 전극 디자인이 통증 완화에 미치는 영향을 이해함으로써 보호대의 효율성을 극대화하는 데 기여할 수 있다. 이러한 결과는 선수들의 건강과 성능 향상을 지향하는 스포츠 의학 및 의류디자인분야에 중요한 의미를 가지며, 향후 관련 연구 및 실무에 있어서 더 깊은 탐구가 필요하다

References

- Artioli, D. P., & Bertolini, G. R. F. (2014). Kinesio taping: Application and results on pain: systematic review. *Fisioterapia E Pesquisa*, 21(1), 94-99. doi:10.1590/1809-2950/553210114
- Bridge, C. A., Ferreira da Silva Santos, J., Chaabene, H., Pieter, W., & Franchini, E. (2014). Physical and physiological profiles of taekwondo athletes. *Sports medicine*, 44, 713-733. doi:10.1007/s40279-01-0159 -9
- Campos, F. A. D., Bertuzzi, R., Dourado, A. C., Santos, V. G. F., & Franchini, E. (2012). Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *European journal of applied physiology*, 112(4), 1221-1228. doi:10.1007/s00421-011-2071-4
- Casolino, E., Lupo, C., Cortis, C., Chiodo, S., Minganti, C., Capranica, L., & Tessitore, A. (2012). Technical and tactical analysis of youth taekwondo performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1489-1495. doi:10.1519/JSC.0b013e318231a66d
- Chiodo, S., Tessitore, A., Cortis, C., Lupo, C., Ammendolia, A., Iona, T., & Capranica, L. (2011). Effects of official Taekwondo competitions on all-out performances of elite athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 334-339. doi:10.1519/JSC.0b013e3182027288
- Davalli, A., O'Sullivan, D. M., Bella, S., & Jeong, H. S. (2021). Types and severity of physical impairments of para taekwondo athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61(8), 1132-1136.
- Estevan, I., Jandacka, D., & Falco, C. (2013). Effect of stance position on kick performance in taekwondo. *Journal of sports sciences*, 31(16), 1815-1822. doi:10.1080/02640414.2013.803590
- Fu, T. C., Wong, A. M., Pei, Y. C., Wu, K. P., Chou, S. W., & Lin, Y. C. (2008). Effect of Kinesio taping on muscle strength in athletes—a pilot study. *Journal of science and medicine in sport*, 11(2), 198-201. doi:10.1016/j.jsams.2007.02.011
- Hwang, S., Park, J., & Kim, J. (2021). A study on the development of a calf supporter for improving balance capacity. *Journal of fashion business*, 25(1), 39-50. doi:10.12940/JFB.2021.25.1.39
- Ivček, K., Buljevac, M., & Leutar, Z. (2021). Para taekwondo: Understanding the perspectives of coaches. *Hrvatska revija za rehabilitacijska istraživanja*, 57(2), 47-58. doi:10.31299/hrri.57.2.3
- Kim, M., & Ryu, S. (2021). *The Knowledge Structure Analysis on PARA TAEKWONDO with Keyword Network Analysis. Kinesiology*, 6(2), 64-74.
- Kim, T. H., Cha, M. H., Lee, J. W., Kang, S. K., & Kim, Y. I. (2020). *Taekwondo athletes with disabilities*

- decide the game content. *Journal of Asian Society for Health & Exercise*, 2(2), 55-65.
- Kim, Y. K., Kim, Y. H., & Im, S. J. (2011). Inter-joint coordination in producing kicking velocity of Taekwondo kicks. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 31.
- Kordi, R., Maffulli, N., Wroble, R. R., & Wallace, W. A. (2009). *Combat sports medicine*. Springer Science & Business Media.
- Lee, M., Youm, C., Son, M., Kim, J., & Kim, Y. (2017). Effects of chronic ankle instability and induced mediolateral muscular fatigue of the ankle on competitive taekwondo athletes. *Journal of physical therapy science*, 29(8), 1329-1335. doi:10.1589/jpts.29.1329
- Lopes, P., Ion, A., & Baudisch, P. (2015). Impacto: Simulating physical impact by combining tactile stimulation with electrical muscle stimulation. Proceedings of the 28th annual ACM symposium on user interface software & technology,
- Lystad, R. P., Pollard, H., & Graham, P. L. (2009). Epidemiology of injuries in competition taekwondo: A meta-analysis of observational studies. *Journal of science and medicine in sport*, 12(6), 614-621.
- Mailapalli, D. R., Benton, J., & Woodward, T. W. (2015). Biomechanics of the taekwondo axe kick: a review. *Journal of human sport and exercise*, 10(1), 141-149. doi:10.14198/jhse.2015.101.12
- Matsushigue, K. A., Hartmann, K., & Franchini, E. (2009). Taekwondo: Physiological responses and match analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(4), 1112-1117. doi:10.1519/JSC/0b013e3181a3c597
- Mosler, D. (2018). Application of taekwondo paralympic rules for sparring competition in terms of special needs physical education for reduction of challenging behaviour. SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION. Proceedings of the International Scientific Conference,
- O'Sullivan, D. M., Jeong, H. S., & Won, H. J. (2022). Functional reaction times of a simulated blocking test among para taekwondo athletes. *Healthcare*, doi:10.3390/healthcare10071231
- Parry, S. M., Berney, S., Granger, C. L., Koopman, R., El-Ansary, D., & Denehy, L. (2013). Electrical muscle stimulation in the intensive care setting: A systematic review. *Critical care medicine*, 41(10), 2406-2418. doi:10.1097/CCM.0b013e3182923642
- Pieter, F., & Pieter, W. (1995). Speed and force in selected taekwondo techniques. *Biology of sport*, 12, 257-266.
- Pieter, W., Fife, G. P., & O'Sullivan, D. M. (2012). Competition injuries in taekwondo: A literature review and suggestions for prevention and surveillance. *British journal of sports medicine*, 46(7), 485-491.
- Pons Van Dijk, G., Lenssen, A., Leffers, P., Kingma, H., & Lodder, J. (2013). Taekwondo training improves balance in volunteers over 40. *Frontiers in aging neuroscience*, 5, 10. doi:10.3389/fnagi.2013.00010
- Sant'Ana, J., Franchini, E., da Silva, V., & Diefenthaler, F. (2017). Effect of fatigue on reaction time, response time, performance time, and kick impact in taekwondo roundhouse kick. *Sports biomechanics*, 16(2), 201-209.
- Seo, B. D., Kim, H. J., & Ju, J. Y. (2020). Effect of muscle fatigue on the proprioception by the taekwondo training type. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine*, 15(3), 1-9. doi:10.13066/kspm.2020.15.3.1
- Xia, Z., He, H., & Wu, J. (2020). Return to Society: A case study of the psychology impact of taekwondo training on the handicapped athlete. *Open Journal of Social Sciences*, 8(3), 228-238. doi:10.4236/jss.2020.83021
- Yoshida, A., & Kahanov, L. (2007). The effect of kinesio taping on lower trunk range of motions. *Research in sports medicine*, 15(2), 103-112. doi:10.1080/15438620701405206

Received (April 25, 2024)

Revised (May 17, 2024)

Accepted (May 21, 2024)

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