Korean Journal of Sport Science 2024, 35(1), 033-043
https://doi.org/10.24985/kjss.2024.35.1.33

Original Article

Effects of 3D-printed Customized Gloves on the Performance of Wheelchair Racers

Hyoung-Kuy Roh and Gun-Hwan Bae*

Korea National Sport University

Article Info
Received 2023. 10. 22.
Revised 2024. 03. 14.
Accepted 2024. 03. 25.

Correspondence*
Gun-Hwan Bae
milan04@knsu.ac.kr

Key Words
3D printing,
Wheelchair racing gloves,
Customized equipment,
Disability sport

이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자 지원사업의 지원을 받아 수행한 연구임 (NRF-2021S1A5A2A01062542)

PURPOSE This study seeks to contribute to the enhancement of the performance of domestic wheelchair racers by producing 3D-printed customized gloves and verifying their application effect. **METHODS** A total of three male wheelchair racers who belong to the T54 and have won gold medals in the National Para Games within the last three years were selected as subjects. Each subject performed three session s of muscle activity and maximum speed measurements before and after applying a 3D-printed glove during the stroke and recovery phases of wheelchair racing, focusing on the pectoralis major (PM), triceps brachii (TB), and erector spinae (ES) muscles. To standardize the muscle activity measurement data, the relative muscle activity level (%) for each section was calculated by maximum voluntary isometric contraction (MVIC) for each subject. All maximum speeds of each round of driving were calculated by the average record for comparative analysis. In addition, to verify the effectiveness of applying the 3D-printed glove, the Wilcoxon signed rank test, which is a non-parametric test method, was performed on all measured values using SPSS 24.0. **RESULTS** This study derived the following results. First, a statistically significant difference was observed in the muscle activity of each major muscle before and after using the 3D-printed glove. In common, an increase in muscle activity of the PM, TB, and ES was confirmed in the stroke section, and an increase in muscle activity of the TB was confirmed in the recovery section. Second, a statistically significant difference was documented in the maximum speed before and after using the 3D-printed glove. When using 3D-printed gloves, the maximum speed increased by 4.57, 3.63, and 1.06km/h for Payer A, and by 5.9, 6.04, and 7.86km/h for Player B. In the case of Player C, the speed increased by 6.73, 2.27, and 0.83km/h, and all three players improved their maximum speed through the 3D-printed gloves. **CONCLUSIONS** Our study suggests that the application of 3D-printed customized gloves can have a positive impact on the performance of wheelchair racers. If the application of 3D-printed customized equipment is extended to athletes in a wider range of sports in the future, this could significantly contribute to the improvement of performance in domestic disability sport.

서론

장애인 올림픽의 기초 종목들 중에서도 육상은 다양한 세부 종목으로 구성되어있으며 가장 많은 수의 메달이 걸린 치열한 종목이다(Hong & Han, 2014). 장애인 육상의 경기 종목은 트랙(track)경기와 필드(field)경기로 구분되며 장애 유형 및 기능에 따라 입식 경기와 휠체어 경기로 나뉘어 등급별로 진행된다. 그중에서도 휠체어 육상은 하계 패럴림픽의 꽃이라 불리는 주요 종목으로 T51~52 등급의 사지마비 선수들과 T53~54 등급의 척수 및 절단 장애 선수들이 참여한다(Hong & Kim, 2019).

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.

www.kci.go.kr

장애인스포츠 중 가장 빠른 속도로 경기가 진행되는 휠체어 육상에서는 두 개의 큰 뒷바퀴와 하나의 작은 앞바퀴가 달린 육상경기용 휠체어를 사용한다. 또한 선수들은 휠체어 육상용 글러브를 활용하여 뒷바퀴의 핸드림(handrim)을 밀어내는 반복적 스트로크 동작을 통해 빠른 속도로 추진하게 된다(Hong & Han, 2016). 휠체어 육상 선수들은 단시간에 강한 힘을 반복적으로 휠체어에 전달하여 빠른 추진력을 얻게 된다. 이를 위해 선수들은 보편적인 휠체어 추진 방식과 다르게 뒷바퀴의 핸드림을 손으로 강하게 타격하는 방법으로 스트로크 동작을 수행하게 된다. 이 과정에서 휠체어 육상선수들은 손을 보호하고 추진력을 높이기 위해 자신이 선택한 휠체어 육상용 글러브를 착용한다.

스포츠에서 장비가 중요한 역할을 한다는 것은 누구나 공감하는 사실이다. 특히 장애인스포츠 영역에서는 선수들이 자신의 장애를 보조하기 위해 자신에게 최적화된 장비를 사용하는 것이 선수들의 퍼포먼스와 직결되는 매우 중요한 부분이다(Hong & Han, 2014). 휠체어 육상 종목에서도 반복적으로 핸드림에 강한 힘을 가하는 동작으로 추진력을 얻는 만큼 휠체어 육상 선수들이 착용하는 글러브는 효율적인 휠체어 추진 동작 구현에 많은 영향을 미치는 중요한 요소들 중 하나이다(Usama et al., 2018). 이렇듯 경기력과 밀접한 영향을 갖는 글러브의 중요성에도 불구하고 기존에 시판되고 있는 휠체어 육상용 글러브는 해외 수입품으로 고가의 제작 비용이 책정되어있거나 선수별 정교한 개인 맞춤 제작이 불가능한 상황이었다(Colvill et al., 2020). 이에 따라 휠체어 육상 선수들은 개인용 글러브를 직접 제작하고 다듬어 사용하는 번거로운 과정을 거치거나 본인의 손 형태나 기능에 맞지 않는 글러브를 사용하는 불편함을 감수할 수 밖에 없는 실정이었다. 이러한 현실에도 불구하고 휠체어 육상의 글러브 관련 국내 연구는 전무한 상황이며 해외에서도 관련 자료가 극히 드문 실정이다.

기존에 휠체어 육상 선수들 사이에서 주로 사용되는 글러브는 크게 두 가지 형태가 있는데 첫 번째 유형은 일정한 크기의 규격품으로 시중에 판매되고 있는 가죽 글러브이며 두 번째 유형은 선수들이 직접 제작하는 수제 플라스틱 글러브이다.

먼저 가죽 글러브의 경우 대량생산되는 제품인 만큼 제품을 구하기는 쉽지만 개인 맞춤 제작이 어렵고 가죽의 변형 및 파손을 피하기 어렵다는 제약이 있다. 또다른 유형인 수제 플라스틱 글러브의 경우에는 열을 가해 변형시킬 수 있는 열가소성 플라스틱(thermoplastic)의 일종인 PCL(polycaprolactone) 재질을 활용해 제작하고 있다. PCL 재질을 활용한 수제 글러브 제작 방식의 경우 재료를 구하기 쉽고 제작 방식이 비교적 단순하다는 장점이 있다. 하지만 점토를 빚듯 손으로 직접 형태를 다듬는 방식인 만큼 동일한 크기와 형태로 복제해내기가 어려워 분실 및 파손이 발생하는 경우 긴 시간을 들여 선수들이 글러브를 다시 제작하고 새로운 글러브에 오랜 시간 동안 적응해야만 하는 상황이 불가피했다.

이에 본 연구에서는 기존 글러브 제작 방식의 이러한 제약사항들을 극복하고 휠체어 육상 선수의 경기력 향상을 도모하기 위해 3D 스캐닝(3D scanning), 3D 모델링(3D modeling) 및 3D 프린팅(3D printing) 기술을 활용한 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브를 제작하고자 하였다. 다품종 소량생산에 강점을 지닌 3D 프린팅 제작 방식을 통해서는 선수별 개인맞춤형 글러브를 더욱 정교하게 제작할 수 있을뿐더러 언제든지 동일한 크기와 형태의 글러브를 복제해낼 수 있고 필요에 따라 글러브 디자인을 수정 및 변형하여 발전시킬 수도 있다는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 휠체어 육상 선수들을 대상으로 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브를 개발하고 글러브의 적용이 선수들의 경기력에 어떠한 영향을 미치는지 글러브 적용 전후 주요 근육별 근 활성도 및 최고 속도 비교 분석을 통해 확인하고자 하였다. 이를 위해 본 연구에서는 다음과 같이 연구가설을 설정하였다.

연구가설 1. 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브 적용 전후 선수들의 주요 근육별 근 활성도에는 차이가 있을 것이다.

연구가설 2. 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브 적용 전후 선수들의 주행 최고 속도에는 차이가 있을 것이다.

본 연구는 4차 산업혁명 핵심 기술 중 하나인 3D 프린팅 기술을 활용해 개인맞춤형 휠체어 육상용 글러브를 제작하고 그 적용 효과를 검증하여 국내 휠체어 육상 선수들의 경기력 향상에 기여하는 데에 그 목적이 있다.

연구방법

연구대상

본 연구에서는 IPC(International Paralympic Committee)에서 부여하는 스포츠 등급 중 사지 결손, 수동 관절 가동범위 운동장애, 근력 장애, 다리 길이 불균형 등의 최소 장애 기준에서 한 개 이상이 충족되는 선수들이 포함되는 T54 등급(IPC, 2018)에 해당하며 최근 3년 이내 전국장애인체육대회에서 금메달 획득 경력이 있는 남성 휠체어 육상 선수 중 자발적 연구 참여 의사를 밝힌 총 3명의 선수를 대상자로 최종 선정하였다.

이에 따라 본 연구에서는 소수 대상의 사례연구를 진행하였다. 이러한 접근은 특히 엘리트 선수 개개인에 대한 중재 및 처치 적용 효과, 즉, 수행능력 및 경기력 향상 등에 효과를 미친 것에 대해 더욱 구체적으로 파악할 수 있다는 특징이 있으며(Kim et al., 2000) 향후 더욱 다양한 종목 및 대상자에 적용할 수 있는 가능성을 확인하고 후속 연구의 방법적 토대를 마련하는 선행 시범 사례로서의 가치를 지닌다.

본 연구의 수행을 위해 연구자는 K 대학의 생명윤리 위원회를 통해 심의 승인(20210916-131)을 받았으며 모든 연구 대상자들에게 본 연구 참여에 관한 전반적인 설명 및 안내를 진행한 후 자발적인 연구 참여 동의를 받아 연구를 진행하였다.

자료 수집

본 연구에서는 글러브의 프로토타입(prototype) 제품이 제작된 이후 본격적인 장비 디자인 개선 절차를 총 3회차에 걸쳐 진행하며 회차별로 제작된 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브에 대한 적용 전후 주요 근육별 근전도(EMG) 및 최고 속도 비교 측정을 실시하였다.

본 연구 과정을 통해 제작된 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브의 효과 검증을 위한 근 활성도 측정 분석 실험은 장애인 핸드사이클 등의 장애인스포츠(Kraaijenbrink et al., 2020; Yi et al.,

www.kci.go.kr

2015) 및 휠체어 트레드밀 운동부하검사(Choi, 2015)와 같은 관련 선행연구에서 진행한 실험 프로토콜을 참고하였으며 운동역학 전공 교수 1인 및 운동역학 전공 박사과정 3인의 자문을 받아 세부 계획을 수립하였다. 이에 따른 실험 프로토콜 상세 내용은 아래 〈Table 1〉에 제시된 바와 같다.

본 연구에서는 휠체어 육상 주행 동작 중 핸드림을 타격하고 밀어내는 동작이 진행되는 스트로크 구간과 핸드림에 힘을 전달한 후 손이 핸드림에서 이탈했다가 다시 핸드림을 타격하기 직전 시점까지인 리커버리 구간의 동작 수행 시 주요 활용 근육인 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근 3개 근육에 표면 전극을 부착하여 1, 2, 3차 제작 3D 프린팅 글러브의 적용 전후 근육별 활성도 데이터를 취득하였다. 이와 동시에 측정 회차별 글러브 적용 전후 주행의 최고 속도 기록을 측정하였다.

실험 도구

본 연구에서는 연구 대상자들이 익숙함을 느끼는 평상시 훈련 환경과 최대한 동일한 조건에서 측정이 진행될 수 있도록 선수들이 평소 훈련을 위해 자주 활용하는 자체 제작 트레이닝 롤러를 사용하여 실험을 진행하였다. 근활성도 비교 측정을 위한 측정기로는 Ultium ESP(Naraxon, USA)를 활용하였으며 최고 속도 측정을 위한 속도계측기는 휠체어, 사이클 등에 관한 연구에서 측정 도구로 빈번히 활용된 무선 속도계(Chang et al., 2022; Karinharju et al., 2021; Lemay et al., 2012)의 일종인 CC-RD310W(Cateye, Japan) 모델을 사용하였다.

Table 1. Experiment protocol

1st measurement	• measuring 3 times using conventional driving method • 10 sec maximum speed driving per trial • 1 min rest between runs
	full recovery time(at least 2 min)
	• measuring 3 times using 1st 3D printed glove • 10 sec maximum speed driving per trial • 1 min rest between runs
developing glove design	
2nd measurement	• same as 1st measurement
	full recovery time(at least 2 min)
	• measuring 3 times using 2nd 3D printed glove • 10 sec maximum speed driving per trial • 1 min rest between runs
developing glove design	
3rd measurement	• same as 1st measurement
	full recovery time(at least 2 min)
	• measuring 3 times using 3rd 3D printed glove • 10 sec maximum speed driving per trial • 1 min rest between runs

3D 프린팅 기술을 활용한 글러브 제작 절차

1. 사용자 참여 디자인의 적용

사용자 참여 디자인이란 사용자가 디자인이 전개되는 단계에서 지속적으로 참여하여 스스로 삶의 질을 개선하기 위한 의사결정에 다방면으로 영향을 미치고, 완성되어가는 결과물에 대해 적극적으로 의견을 게재하는 일을 반복하는 과정을 말한다(Park et al., 2015).

장애인스포츠 현장의 종목별 지도자 및 선수 요구사항이 장기간 반영되지 못하고 있는 현재의 엘리트 스포츠 지원 시스템은 국내 장애인스포츠 분야의 주요한 문제점 중 하나라고 할 수 있다(Shin & Oh, 2022). 장애인스포츠 분야 종목별 경기력 향상을 도모하기 위해서는 공급자 중심의 현행 지원 체계에서 더욱 실효성을 갖춘 스포츠 과학 기반 수요자 중심 맞춤형 지원 체제로의 전환이 필수적으로 요구된다(Lee, 2019).

이에 따라 본 연구에서는 장애인스포츠 현장의 장비 관련 요구사항들을 다방면으로 고려하고 실수요자 의견을 더욱 충실히 반영하고자 이러한 사용자 참여 디자인 방식을 도입하여 3D 프린팅 개인 맞춤형 글러브를 제작하였다. 이에 따라 제작물의 실사용자인 휠체어 육상 선수들이 글러브 개발 초기 단계부터 직접 제작에 참여하여 장비 구조 및 형태, 크기 등 장비 개발 과정에서 고려되는 다양한 세부사항에 관한 피드백을 적극적으로 제공하였다.

2. 3D 프린팅 기술의 활용

3D 프린팅은 4차 산업혁명 핵심 기술 중 하나로 생산 절차 단순화를 통해 제작 기간, 비용 등에서 기존 제조 방식 대비 효율성이 높다는 특징이 있다. 또한 대량 생산 체제와 달리 제품 제작 과정에서 디자인 수정 및 테스트 반복 진행에 무리가 없고 다품종 소량생산에 적합하다는 장점이 있다. 이러한 특징은 3D 스캐닝, 3D 모델링 등을 활용해 선수 개개인의 특성과 요구를 세심히 반영한 맞춤형 장비 제작에 최적화되어있다고 볼 수 있다.

3. 3D 스캐닝(3D scanning)

3D 스캐너는 3차원 입체 형상 정보를 수집해 데이터화하고 용도에 따라 가공할 수 있게 지원하는 장치다. 본 연구에서는 대상자들이 희망하는 글러브 디자인과 유사하게 제작된 타 선수의 기존 수제 PCL 글러브를 디자인 기초 모델로 활용하고자 3D 스캐너

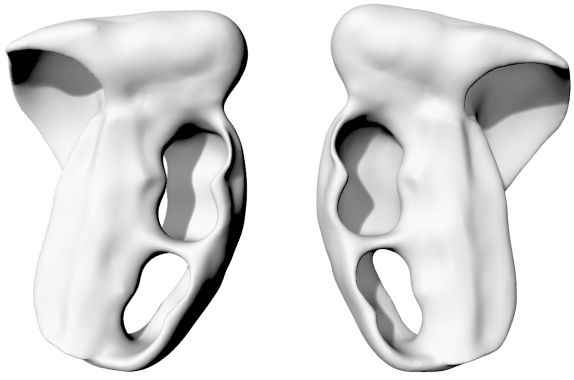
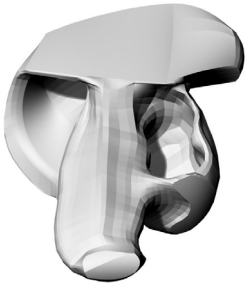


Fig. 1. 3D scan data(standard model)

www.kci.go.kr

Table 2. 3D model data of 3D-printed customized gloves

Participants	Design of 3D-printed customized gloves
A	
B	
C	

EinScan-Pro 2X Plus(Hustem, Korea)를 활용하여 글러브의 기초 형상 데이터를 취득하였다.

4. 3D 모델링(3D modeling)

3D 모델링은 특정한 아이디어를 3차원 데이터로 제작하고 실제 제품으로 구현해내는 과정의 실질적인 첫 단계라 할 수 있다. 3D 모델링 소프트웨어를 통해서는 3D 스캔 데이터의 세부적인 보정뿐 아니라 제작물의 디자인 수정 및 변형, 데이터 공유까지 가능하다. 본 연구에서는 제품 및 산업 디자인 영역 등에서 폭넓게 활용되고 있는 3D 모델링 소프트웨어인 Rhinoceros 7(Robert Mcneel & Associates, USA)를 활용하여 휠체어 육상용 글러브 디자인 작업을 진행하였다.

본 연구에 참여한 연구 대상자들은 손 부위의 특성 및 기능, 휠체어 추진 동작 등에 있어 크고 작은 편차가 존재하였고 이에 따라 개인별 글러브 디자인 관련 요구사항도 상이하게 나타났다. 따라서 3D 프린팅 글러브 제작 과정에서는 글러브의 외형뿐만 아니라 개인별 손가락 투입부 면적이나 내부 공간의 깊이, 파지 그립의 형태 및 손날 보조용 구조 설계 등 다양한 개인맞춤형 디자인의 세부 요소들이 3D 모델링 작업을 통해 반영되었다. 이러한 과정들을 통해 최종적으로 제작된 연구 대상자별 3D 프린팅 휠체어 육상 글러브의 개인맞춤형 디자인 결과물은 〈Table 2〉에 제시된 바와 같다.



Fig. 2. Application of 3D-printed glove



Fig. 3. Experiment scene

5. 3D 프린팅(3D printing)

글러브 디자인 데이터는 3D 프린팅 동작명령어인 G-code로 변환하였으며 3D 프린터 M220(Moment, Korea)을 활용하여 제작물을 출력하였다. 또한 글러브의 재료로는 주행 중 핸드림과 직접 마찰하며 강한 충격이 반복적으로 가해지는 데다 균열 및 파손 등의 위험으로부터 안전해야 한다는 특징을 고려하여 내마모성과 내구성이 우수한 TPU(thermoplastic polyurethane) 재질의 필라멘트를 사용하였다.

자료 처리

본 연구의 근전도 측정 분석에서는 2,000Hz로 샘플링(sampling) 주파수를 설정하였으며 20~400Hz로 대역통과 필터링(band-pass filtering)을 한 후 정류(rectification)를 실시하였다.

측정된 근활성도 데이터는 휠체어 육상 선수들이 최대힘으로 주행하는 10초 내에서 처음과 마지막의 스트로크 및 리커버리 구간을 제외하고 최대의 퍼포먼스를 발휘하는 중간 3회의 스트로크 및 리커버리 구간 데이터를 추출하여 분석하였다. 또한 연구 대상자 각각의 측정 데이터 표준화를 위해 대상자별 최대 수의적 등척성 근수축(MVIC)을 기준으로 구간별 상대적 근 활성 수준(%)을 산출하였다.

www.kci.go.kr

이에 따라 1~3차 제작물 적용 측정에서 기록된 스트로크 및 리커버리 구간 동작 수행 시 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근에 대한 근 활성도 데이터를 3D 프린팅 제작물 적용 전후로 구분하여 비교 분석하였다. 실험 과정에서 근 활성도 데이터와 함께 취득한 최고 속도 기록의 경우 회차별로 3번씩 진행되는 기존 주행 방식과 3D 프린팅 글러브 적용 주행에서 측정되는 모든 최고 속도를 기록하였으며 이를 통해 주행 회차별 최고 속도의 평균값을 산출하여 1~3차 3D 프린팅 제작 글러브 각각의 적용 전후 주행 최고 속도에 대한 비교 분석을 실시하였다.

소수의 장애인 엘리트 선수를 대상으로 하는 본 연구와 같이 장애인 등을 대상으로 하는 특수 영역에서는 표집을 할 수 있는 전집 자체의 크기가 작고 표집 대상이 제한적이다. 또한 같은 장애 유형에 속하는 대상자라 하더라도 개인별 특징이 매우 상이하게 나타날 수 있다는 특징이 있다(Lee, 2006). 특히 그중에서도 우수한 경기력을 나타내는 소수의 엘리트 선수들을 대상으로 하는 연구에서는 통제집단의 설정이나 무선 표집 등의 방식을 채택하기 어려운 경우가 많다(Kim, Park et al., 2013). 이에 따라 본 연구에서는 통계 프로그램 SPSS 24.0(IBM, USA)를 활용하여 회차별 3D 프린팅 글러브 적용 전후 근 활성도와 최고 속도 등의 측정 데이터들에 대해 비모수 검정의 일종인 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 실시하였다. 윌콕슨 부호 순위 검정은 표본의 크기가 작을 때 사전 사후 구간의 수치 비교에 활용될 수 있는 검정 방식으로(Kim & Lee, 2022) 적은 수의 특정 사례를 대상으로 3D 프린팅 글러브 적용 전후 차이를 확인하고자 한 본 연구에 적합한 분석 방법이다.

연구결과

3D 프린팅 개인맞춤형 육상 글러브 적용 전후 주요 근육별 근 활성도 비교 분석

본 연구에서는 프로토타입 글러브의 제작 이후 본격적인 3D 프린팅 글러브 디자인 개선 과정을 총 3차에 걸쳐 진행하며 글러브 제작 회차별로 기존 주행 방식과 3D 프린팅 글러브를 활용한 주행 방식 간의 근 활성 수준을 비교하고자 하였다. 이에 따라 1, 2, 3차 측정에서 동일하게 기존 주행 방식과 3D 프린팅 글러브 주행 방식 모두 10초간 최대 속도로 3회씩 반복하여 주행을 실시하였다. 더불어 휠체어 육상 주행 동작을 스트로크 구간과 리커버리 구간으로 나누어 대흉근(PM), 상완삼두근(TB), 척추기립근(ES) 3개 근육의 근 활성 수준을 각각 정규화한 %MVIC 값으로 산출하였다. 해당 데이터는 아래 제시된 〈Table 3〉의 내용과 같다.

본 연구에서는 1~3차 제작물 각각에 대한 적용 전후 비교 측정을 실시하여 3개 근육에 대한 근 활성도 값을 스트로크와 리커버리 구간으로 구분하여 확보하였다. 이에 따라 A, B, C 대상자로부터 1, 2, 3차 측정을 통해 취득한 3D 프린팅 글러브 적용 전 스트로크 및 리커버리 구간별 각 9개의 데이터와 적용 후 스트로크 및 리커버리 구간별 각 9개의 데이터를 윌콕슨 부호 순위 검정을 통해 비교 분석하였다. 이에 대한 결과는 다음에 제시된 〈Table 4〉의 내용과 같다.

〈Table 4〉의 내용을 통해 확인할 수 있듯 3D 프린팅 글러브 적용 전후 주요 근육별 근 활성도에서는 대흉근의 리커버리 구간 및 척추기립근의 리커버리 구간을 제외한 전 구간, 즉, 대흉근의 스트로크

Table 3. Comparison of muscle activity(%MVIC) (PM: Pectoralis major; TB: Triceps brachii; ES: Erector spinae)

Participants	Phase	Muscle	1st measurement		2nd measurement		3rd measurement	
			Conventional	3D-printed	Conventional	3D-printed	Conventional	3D-printed
A	Stroke	PM	29.36 ± 8.51	43.43 ± 2.10	20.54 ± 8.15	36.79 ± 3.14	23.97 ± 4.74	31.87 ± 4.13
		TB	8.11 ± 5.32	17.78 ± 1.63	12.21 ± 4.48	31.65 ± 0.37	17.81 ± 9.24	27.73 ± 7.34
		ES	17.04 ± 2.84	21.66 ± 13.55	43.18 ± 19.36	43.81 ± 3.74	6.95 ± 2.71	12.51 ± 3.23
	Recovery	PM	8.14 ± 2.16	21.13 ± 10.29	15.45 ± 6.23	19.07 ± 4.48	8.75 ± 4.81	4.20 ± 1.92
		TB	7.86 ± 5.52	13.10 ± 1.83	18.80 ± 1.70	89.02 ± 2.18	25.03 ± 5.14	29.27 ± 6.47
		ES	49.99 ± 2.58	35.66 ± 11.87	88.47 ± 18.69	113.07 ± 12.14	26.32 ± 2.39	26.90 ± 4.30
B	Stroke	PM	41.28 ± 6.17	50.25 ± 6.70	77.46 ± 0.58	106.94 ± 11.44	73.57 ± 6.28	82.18 ± 10.97
		TB	15.44 ± 0.64	18.26 ± 6.27	15.15 ± 1.01	19.19 ± 4.83	21.37 ± 1.30	45.43 ± 18.79
		ES	8.08 ± 1.10	11.85 ± 2.58	15.91 ± 1.34	22.80 ± 6.84	16.26 ± 3.53	20.00 ± 4.27
	Recovery	PM	13.72 ± 6.63	24.20 ± 5.48	29.82 ± 10.90	37.87 ± 2.25	10.68 ± 0.72	16.37 ± 3.36
		TB	8.52 ± 0.58	16.45 ± 3.77	19.32 ± 0.66	33.32 ± 3.22	26.13 ± 1.37	51.31 ± 9.52
		ES	45.57 ± 4.55	32.81 ± 6.38	49.23 ± 1.27	52.08 ± 5.76	54.80 ± 2.48	79.82 ± 22.29
C	Stroke	PM	34.98 ± 8.86	53.50 ± 2.85	67.44 ± 8.44	79.78 ± 9.34	40.26 ± 7.64	50.80 ± 4.07
		TB	64.03 ± 2.57	70.36 ± 5.24	30.60 ± 3.49	48.98 ± 10.57	39.76 ± 6.52	68.69 ± 7.01
		ES	11.81 ± 1.99	13.03 ± 2.84	5.91 ± 1.57	13.46 ± 3.06	3.39 ± 0.43	4.19 ± 0.20
	Recovery	PM	23.04 ± 9.24	15.41 ± 0.76	36.62 ± 5.79	21.77 ± 12.27	12.05 ± 0.82	17.84 ± 0.79
		TB	71.45 ± 11.06	71.62 ± 5.40	12.91 ± 1.63	16.80 ± 4.39	36.01 ± 2.40	51.00 ± 2.91
		ES	35.94 ± 3.75	59.45 ± 10.45	28.89 ± 1.62	32.38 ± 14.23	15.16 ± 0.25	19.71 ± 3.18

www.kci.go.kr

Table 4. Result of wilcoxon signed rank test(muscle activity)

Muscle	Phase	N	Conventional / 3D-printed	median	Q1(25%)	Q3(75%)	Z	p
PM	Stroke	9	Conventional	40.26	26.67	70.51	-2.666	.008*
		9	3D-printed	50.80	40.11	80.98		
	Recovery	9	Conventional	13.72	9.72	26.43	-.770	.441
		9	3D-printed	19.07	15.89	22.99	-.770	
TB	Stroke	9	Conventional	17.81	13.68	35.18	-2.666	.008*
		9	3D-printed	31.65	18.73	58.84		
	Recovery	9	Conventional	19.32	10.72	31.07	-2.666	.008*
		9	3D-printed	33.32	16.63	61.47		
ES	Stroke	9	Conventional	11.81	6.43	16.65	-2.666	.008*
		9	3D-printed	13.46	12.18	22.23		
	Recovery	9	Conventional	45.57	27.61	52.40	-1.362	.173
		9	3D-printed	35.66	29.64	69.64		

*p<.01

Table 5. Comparison of maximum speeds(km/h)

Participants	Trial	1st measurement		2nd measurement		3rd measurement	
		Conventional	3D-printed	Conventional	3D-printed	Conventional	3D-printed
A	1st	32.9	33.1	25.8	29.5	31.2	33.2
	2nd	27.1	33.7	27.3	30.8	31.7	32.3
	3rd	26.8	33.7	27.6	31.3	31.8	32.4
	Mean	28.93	33.5	26.9	30.53	31.57	32.63
B	1st	33.1	31.6	31.9	36.7	32.6	40.0
	2nd	30.8	40.7	31.0	37.1	32.0	40.1
	3rd	30.6	39.9	30.9	38.1	33.1	41.2
	Mean	31.5	37.4	31.26	37.3	32.57	40.43
C	1st	18.2	32.6	28.1	30.3	26.4	24.9
	2nd	30.1	32.7	29.0	31.4	24.9	27.2
	3rd	29.9	33.1	29.4	31.5	24.3	26.0
	Mean	26.07	32.8	28.83	31.1	25.2	26.03

구간, 상완삼두근의 스트로크 및 리커버리 구간, 그리고 척추기립근의 스트로크 구간에서 모두 통계적으로 유의한 차이를 관찰할 수 있었다(p<.01).

이와 같이 본 연구에서 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브의 적용 전후 주요 근육별 근 활성 수준에 대한 비교 분석을 실시한 결과 측정을 실시한 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근 3개 근육 모두에서 공통적으로 스트로크 구간의 유의한 근 활성 증가를 확인할 수 있었다. 하지만 스트로크 구간과 달리 리커버리 구간의 경우 상완삼두근에서만 유의한 증가를 관찰할 수 있었으며 대흉근과 척추기립근에서는 유의한 차이를 발견할 수 없었다.

3D 프린팅 개인맞춤형 육상 글러브 적용 전후 주행 최고 속도 비교 분석

본 연구에서는 1~3차 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브 제작물의 적용 전후 근 활성도 측정을 진행함과 동시에 무선 속도 계측기를 활용하여 개인별 주행 최고 속도에 대한 측정을 실시하였다. 이에 대한 세부 내용은 위 〈Table 5〉에 제시된 바와 같다.

먼저 선수별로 측정 회차별 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브 적용 전후의 최고 속도 기록 변화를 살펴보면 A, B, C 선수 모두 1~3차 제작물 측정에서 기존 주행 방식 대비 3D 프린팅 제작물을 사용했을 때 공통적으로 최고 속도 평균 기록이 증가하였음을 확인할 수 있다.

특히 B 선수의 기록을 살펴보면 총 3차에 걸쳐 진행된 글러브 수정 제작 과정에서 디자인에 대한 피드백이 모두 반영된 3차 3D 프린

www.kci.go.kr

Table 6. Result of wilcoxon signed rank test(maximum speeds)

Methods	N	Median	Q1(25%)	Q3(75%)	Z	p
Conventional	9	28.93	26.89	31.54	-2.666	.008*
3D-printed	9	32.80	30.82	37.35		

*p<.01

팅 제작물을 활용한 주행에서 40.43km/h를 기록하여 가장 높은 최고 속도 평균 기록을 나타내는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이에 반해 A 선수와 C 선수의 경우에는 오히려 2~3차 글러브 디자인 수정 과정을 거치기 전에 제작된 초기 글러브를 사용하였던 1차 측정에서 각각 33.5km/h, 32.8km/h를 기록하여 가장 높은 최고 속도 평균 기록을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

모든 최고 속도 평균 기록 중 기존 주행 대비 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브를 사용한 주행에서 가장 큰 속도 차이가 나타났을 때를 선수별로 확인해보면 A 선수의 경우 1차 측정에서 기존 방식 주행의 최고 속도 평균이 28.93km/h였던 반면 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브를 사용한 주행에서는 4.57km/h가 향상된 속도를 기록하여 가장 큰 속도 차이를 나타냈다. B 선수의 최고 속도 평균 기록을 살펴보면 3차 측정에서 32.57km/h의 속도를 기록했던 기존 방식 주행에 비해 3D 프린팅 글러브를 사용한 주행에서 7.86km/h가 향상된 기록을 나타내 가장 큰 폭으로 최고 속도가 향상된 것을 확인할 수 있다. B 선수의 3차 측정에서 나타난 이러한 증가폭은 모든 연구 대상자들의 주행 회차별 측정 기록을 놓고 살펴보았을 때 가장 큰 증가폭인 것으로 확인되었다. 또한 C 선수의 경우 A 선수와 동일하게 1차 측정에서 가장 큰 증가폭을 나타냈으며 26.07km/h를 기록한 기존 주행 방식 대비 3D 프린팅 글러브를 사용한 주행에서 6.73km/h가 향상된 기록을 나타냈다.

본 연구에서는 이렇듯 세 선수가 각각 1~3차 측정에서 나타낸 최고 속도 기록의 평균에 기반하여 3D 프린팅 글러브 적용 전후 각 9개의 측정값을 추출하였으며 윌콕슨 부호 순위 검정을 통한 비교 분석을 실시하였다. 그 결과 위 〈Table 6〉을 통해 살펴볼 수 있듯 3D 프린팅 글러브 적용 전후 선수들의 주행 최고 속도에서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되었다(p<.01).

논의

본 연구에서 실시한 3D 프린팅 제작물 적용 전후 근 활성도 비교 분석 결과 스트로크 구간에서 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브를 사용했을 때 대흉근과 상완삼두근, 척추기립근의 근 활성도가 유의하게 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 리커버리 구간에서는 상완삼두근의 근 활성도가 유의한 증가를 나타냈다.

일반적으로 휠체어 주행에서 근육의 활성이 더욱 증대되는 것은 더 많은 힘이 작용하고 있는 것이라 볼 수 있는데 이때 특정한 근육에서만 과도한 수축이 일어나는 경우 비정상적 움직임을 유도하여 관절 등의 손상을 유발할 수 있다(Kim, Ko et al., 2013). 본 연구에서는 3D 프린팅 글러브를 사용했을 때 휠체어의 핸드림에 직접적인 힘을 전달하는 스트로크 구간에서 특정 근육에서만 근 활성 증대가 나타나는 것이 아니라 모든 측정 근육에서 근 활성이 유의하게 증대되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로 미루어보았을 때 3D 프린팅 글러브를 사용하여 휠체어 추진을 실시하는 경우에도 상지 근육이 함께 협응하며 움직임의 형태가 자연스럽게 구현되고 있어 이로 인한 부상의 우려는 적을 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서 3D 프린팅 글러브를 사용한 주행의 스트로크 구간에서 모든 측정 근육이 근 활성의 증가 경향을 나타냄과 동시에 모든 대상자들의 최고 속도 기록 역시 향상된 것은 휠체어 추진에서 근 활성도의 증가는 속도의 증가와 깊은 관련이 있다는 선행연구의 결과(Hwang, 2022)를 뒷받침하는 결과라 사료된다.

한편, 휠체어 추진 과정에서 부상을 방지하고 효율적인 동작을 구현하기 위해서는 체간의 굴곡과 상지 근력을 동시에 사용하여 휠체어의 핸드림에 추진력을 전달할 수 있어야 하는데 이러한 과정에서 발견되는 주요한 특징 중 하나는 상완삼두근의 근 활성의 증가이다(Kong et al., 2002). 따라서 본 연구의 측정 결과와 같이 3D 프린팅 글러브를 사용했을 때 스트로크 구간과 리커버리 구간에서 상완삼두근의 근 활성도가 공통적으로 유의한 증가를 나타낸 것은 휠체어 육상 주행에서 3D 프린팅 글러브를 사용하는 것이 부상 방지 및 효율적인 동작 구현에 기여하고 있음을 나타낸다고 해석할 수 있다.

또한 본 연구에서는 3D 프린팅 글러브를 사용한 주행의 스트로크 구간에서 대흉근의 근 활성 증가도 모든 대상자로부터 공통적으로 확인할 수 있었다. 대흉근은 특히 스트로크 구간에서 다른 근육들과 협응하며 장시간에 걸쳐 지속적으로 활성되는 휠체어 추진의 주요한 원동력 역할을 하는 근육이다(Vanlandewijck et al., 2001). 따라서 본 연구에서 핸드림을 밀어내는 동작을 포함하는 스트로크 구간에 확인된 대흉근의 근 활성 증가 경향은 3D 프린팅 글러브가 휠체어 주행 중 더 많은 추진력을 제공하는 요소로 작용하고 있음을 나타내는 것이라 판단된다.

본 연구에서 근 활성도 측정을 실시한 또 하나의 주요 근육은 척추기립근이었다. 휠체어 육상의 기술적 특성에 관한 선행 연구들을 통해 척추기립근의 근 활성 정도는 선수의 퍼포먼스와 직결되는 주요한 근육으로 지목된 바 있다(Jones et al., 1992; Kumnerddee et al., 2018). 세 명의 연구대상자 모두 3D 프린팅 글러브를 사용했을 때 스트로크 구간에서 다른 측정 근육과 마찬가지로 척추기립근의 근 활성 증가 경향도 발견할 수 있었으며 이와 동시에 최고 속도 평균 기록에서도 향상된 결과를 확인할 수 있었다. 이러한 본 연구의 실험 결과는 척추기립근의 근 활성 수준과 추진 속도가 정적 상관관계를 나타내며 특히 휠체어 육상 종목의 T54 등급 선수의 추진 속도 향상에 더욱 주요한 영향을 미친다는 선행 연구의 결과를(Guo et al., 2023) 뒷받침하는 결과라 판단된다. 최고 속도 기록은 제한 시간 내에 도달 가능한 속도의 범위를 확인하여 효율적인 주행 능력을 가늠하는 주요 요소이다(Kim & Kim, 2017). 또한 휠체어 육상 선수들에게 높은 최고 속도 기록은 곧 우수한 최종 주행 기록을 만들어내는 중요한 변수이며 선수의 운동 수행 수준을 확인할 수 있는 지표라고 할 수 있다(Kawabata et al., 2022). 따라서 본 연구에서 세 명의 연구 대상자 모두에게 최고 속도의 증가가 나타난 것은 세 선수 모두 3D 프린팅 제작 글러브를 통해 주행 효율성이 증대되고 퍼포먼스가 향상되는 결과를 가져온 것으로 해석할 수 있다. 더불어 본 연구에서 세 명의 휠체어 육상 선수는 모두 3D 프린팅 과정에서 내부 채움 수치(infill) 및 레이어(layer) 설정값을 최대로 설정하여 최고 경도로 글러브를 제작하였는데 이는 딱딱한(hard) 글러브를 사용했을 때 T53, T54 등급 휠체어 육상 선수들의 주행 최고 속도 기록이 증가했다는 선행연구(Rice et al., 2016)의 결과를 뒷받침하는 결과라 판단된다.

www.kci.go.kr

엘리트 스포츠 영역에서의 과학적 접근은 경기력 향상을 넘어 스포츠 분야 전반에 걸쳐 많은 변화와 발전을 가져왔다(Kim, 2019). 이러한 흐름에서 스포츠과학 지원의 다양화는 반복적으로 언급되어 온 사안이며 종목과 선수 개인의 특이성 등을 반영한 장비 개발과 같은 개인맞춤형 지원 시스템 구축의 필요성은 더욱 강조되고 있다(Ahn & Kim, 2022). 이러한 배경에도 불구하고 스포츠 분야 내 개인맞춤형 장비에 관한 연구는 극히 드물고 더욱이 다품종 소량생산에 강점이 있는 3D 프린팅 활용 연구는 타 산업 분야와 비교했을 때 매우 미진한 실정이다(Kim et al., 2016).

장애인스포츠 영역에서도 기존의 공급자 중심 지원 체계가 가진 한계점에 대한 지적과 함께 스포츠과학 맞춤 장비 개발 등 현장 지원 실효성 확보를 위한 수요자 맞춤형 지원 체제 확립의 필요성이 더욱 강조되고 있다(Lee, 2019). 특히 장애인스포츠 장비는 개인이 가진 장애를 보완하고 경기력을 극대화하기 위한 주요 요소이며(Hong & Han, 2014) 선수들에게 종목 특성과 개인의 장애 정도 및 신체 기능 등 다양한 요인을 고려한 맞춤 장비는 신체 일부와도 같다(Kim, 2019). 그럼에도 불구하고 장애인 선수들은 일정한 크기로 규격화된 장비에 억지로 적응하거나(Jung et al., 2009) 각자의 신체 특성과 기능에 맞게 개인이 직접 장비를 다듬어야만 하는 상황에 놓이기도 했다. 이러한 상황은 국내 장애인스포츠 선수들의 경기력 향상에 걸림돌이 되는 주요 요인 중 하나로 작용했다. 이러한 맥락에서 본 연구를 통해 제시된 내용과 결과물은 개인맞춤형 장비 제작 및 적용이 갖는 의의와 필요성에 대한 실증적인 사례로서 충분한 가치가 있다고 판단된다.

결론 및 제언

그간 휠체어 육상에 관한 스포츠 과학 기반의 연구가 다방면으로 진행될 필요성은 지속적으로 제기되어왔다. 또한 장애인스포츠 분야에서 휠체어 육상 종목이 차지하는 높은 위상에도 불구하고 관련 연구는 극히 미비하게 진행되었으며 그 영역 또한 매우 한정적이었다(Han, 2007; Hong & Kim, 2019). 그중에서도 특히 휠체어 육상 종목에서 모든 선수가 사용하는 필수적인 장비이자 경기력 발휘에 핵심적인 역할을 하는 글러브에 관한 국내 연구는 전무한 실정이었다.

이에 따라 본 연구에서는 국내 휠체어 육상 선수 3인을 대상으로 4차 산업혁명 핵심 기술 중 하나인 3D 프린팅 기술을 활용해 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브를 제작하였다. 또한 이러한 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브의 적용 효과를 3D 프린팅 글러브 적용 전후 근 활성도 및 최고 속도 측정값 비교 분석을 통해 검증하여 국내 휠체어 육상 선수들의 경기력 향상에 기여하고자 하였다. 이에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브의 사용 전후 선수들의 주요 근육별 근 활성도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 특히, 세 선수에게 공통적으로 스트로크 구간에서는 측정한 모든 근육, 즉, 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근의 근 활성 증가가 나타났으며 리커버리 구간에서는 상완삼두근의 근 활성 증가가 확인되었다.

둘째, 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브 사용 전후 선수들의 주행 최고 속도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 총 3회차에 걸쳐 진행된 측정에서 3D 프린팅 글러브를 사용했을 때 선수들의 주행 최고 속도 기록은 A 선수의 경우 4.57, 3.63, 1.06km/h씩 증가하였으며 B 선수는 5.9, 6.04, 7.86km/h씩 증가한 것으로 나타났다. C 선수의 경우에도 6.73, 2.27, 0.83km/h씩 증가한 것으로 나타나 세 선수 모두 3D 프린팅 글러브를 통해 최고 속도 기록이 향상된 것으로 확인되었다.

본 연구는 국내 휠체어 육상 종목의 T54 등급에 해당하는 성인 남성 선수 3명을 대상으로 진행된 연구로 본 연구를 통해 3D 프린팅으로 제작된 개인맞춤형 글러브의 적용 전후 근 활성도 측정 결과 및 최고 속도 측정 기록을 다른 대상자들에게 일반화하기에는 다소 무리가 있다. 이에 따라 후속 연구에서는 동일 종목 내 다양한 등급의 더욱 많은 대상자를 모집하여 비교 측정을 진행하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 시뮬레이션 상황에서의 근 활성도 및 최고 속도 기록 측정 외에도 실제 경기 출전 상황에서의 주행 기록 및 추가적인 변인 측정 등을 함께 진행한다면 더욱 심층적인 장비 효과 검증이 이루어질 수 있을 것으로 사료된다.

향후 장애인스포츠 영역 내에서 사격, 탁구, 사이클, 조정 등과 같이 그립(grip)이나 핸들(handle) 또는 좌판(seat) 등의 선수별 개인맞춤형 장비 제작이 요구되는 종목에 이러한 3D 프린팅 기술을 활용한 장비 제작 및 적용이 적극적으로 이루어진다면 더욱 체계적이고 효율적인 스포츠과학 지원이 가능할 것이라 기대된다,

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: Roh, H. K., Data Curation: Roh, H. K., Formal Analysis: Bae, G. H., Methodology: Bae, G. H., Project Administration: Roh, H. K., Visualization: Bae, G. H., Writing-Original Draft: Bae, G. H., Writing Review & Editing: Roh, H. K.

www.kci.go.kr

참고문헌

Ahn, N. Y., & Kim, K. J. (2022). Sports science support system for the next generation of elite athletes. *Journal of Coaching Development, 24*(1), 183-189.

Chang, L.-S., Ke, X.-W., Limroongreungrat, W., & Wang, Y. T. (2022). Relationship between shoulder pain and joint reaction forces and muscle moments during 2 speeds of wheelchair propulsion. *Journal of Applied Biomechanics, 38*(6), 404-411.

Choi, S.-G. (2015). Effects of wheelchair mass loading on the physiological responses during wheelchair treadmill exercise. *Korean Journal of Adapted Physical Activity, 23*(4), 153-166.

Colvill, D., King, R., Townsend, J., Brickley, G., & Drouet, J.-M. (2020). Development of customised wheelchair racing gloves using digital fabrication techniques. *Proceedings of the 13th Conference of the International Sports Engineering Association, 49*(1), 44.

Guo, W., Liu, Q., Huang, P., Wang, D., Shi, L., & Han, D. (2023). The effects of trunk kinematics and EMG activity of wheelchair racing T54 athletes on wheelchair propulsion speeds. *PeerJ, 11,* e15792.

Han, H.-C. (2007). *The kinematic and kinetic analysis of the upper extremity during racing wheelchair propulsion in different level*. Doctoral dissertation, Korea National Sport University.

Hong, S.-M., & Han, M.-K. (2014). A biomechanical analysis of stroke movement according as wheelchair racer handrims size. *Sport Science, 32*(1), 85-94.

Hong, S.-M., & Han, M.-K. (2016). Development of physical fitness training program for wheelchair athletes. *Korean Journal of Adapted Physical Activity, 24*(3), 13-27.

Hong, S.-M., & Kim, M.-C. (2019). Effects of single-case wheelchair athletics' resistance training on balance of upper extremity strength and performance. *The Korean Journal of Sport, 17*(4), 1717-1727.

Hwang, S. (2022). Upper extremity biomechanics of manual wheelchair propulsion at different speeds. *Journal of Biomedical Engineering Research, 43*(4), 241-250.

IPC (International Paralympic Committee). (2018). *IPC classification code*. Bonn, Germany: Author.

Jones, D., Baldini, F., Cooper, R., Robertson, R., & Widman, L. (1992). Economical aspects of wheelchair propulsion. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 24*(5), S32.

Jung, J.-O., Cho, C.-O., Han, H.-C., & Oh, K.-J. (2009). Anthropometric and sports wheelchair position measurement of athletes with physical disabilities for developing Korean sports wheelchair. *Journal of Adapted Physical Activity, 17*(2), 205-221.

Karinharju, K. S., Gomersall, S. R., Clanchy, K. M., Trost, S. G., Yeo, L. T., & Tweedy, S. M. (2021). Validity of two wheelchair-mounted devices for estimating wheelchair speed and distance traveled. *Adapted Physical Activity Quarterly, 38*(3), 435-451.

Kawabata, K., Nishimura, Y., Ibusuki, T., Mitsui, T., Kamijo, Y., Umemoto, Y., & Tajima, F. (2022). Relationship between speed changes in the 100-m sprint and maximum speed in the 300-m maximum speed test among Japanese elite wheelchair racers. *International Journal of Sport and Health Science, 20*, 224-232.

Kim, B. H., Kim, J. H., & Hwang, J. M. (2000). The effectiveness of cognitive-behavioral preperformance routines rior to shooting event : A single-subject experimental design. *The Korean Journal of Physical Education, 39*(1), 265-274.

Kim, B.-H., Choo, J.-H., & Ju, S.-B. (2016). An exploratory study on the golf grip development through the 3D printing technology. *The Korean Journal of Sport, 14*(4), 541-549.

Kim, C. S. (2019). The hidden weapon of disability sport - World of equipment. *Sport Science, 149*, 56-62.

Kim, J. H., & Kim, J. B. (2017). A study on usability assessment and development of road racing hand cycle for people with physical disabilities. *Korea Science & Art Forum, 27*, 89-99.

Kim, J.-M., Park, J.-Y., & Shin, J.-T. (2013). The effect of the psychological skill training program on psychological factor and performance of KLPGA tour golfer. *Journal of Korea Society for Wellness, 8*(1), 105-117.

Kim, K. (2019). Role and perspective of sport science in health promotion and elite sport. *The Asian Journal of Kinesiology, 21*(2), 31-39.

Kim, M.. J., & Lee, H. K. (2022). Development and validation of a career group-counseling program based on happenstance learning theory. *Korean Journal of Youth Studies, 29*(4), 101-135.

Kim, S. B., Ko, C. Y., Kang, S. J., Choi, H. J., Rue, J. C., & Mun, M. S. (2013). Electromyographic features of upper body during wheelchair cycle ramps ascent for disabled with spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology, 7*(1), 13-19.

Kong, J.-Y., Jeong, D.-H., & Kwon, H.C. (2002). The effects of wheelchair propulsion speed changes on the shoulder impingement. *Korean Journal of Occupational Therapy, 10*(2), 69-83.

Kraaijenbrink, C., Vegter, R. J., Hensen, A. H. R., Wagner, H., & van der Woude, L. H. V. (2020). Biomechanical and physiological differences between synchronous and asynchronous low intensity handcycling during practice-based learning in able-bodied men. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 17*, 29.

Kumnerddee, W., Senakham, T., Theplertboon, A., & Limroongreungrat, W. (2018). Association between core muscles activation and the 400-meter overground sprinting velocity in wheelchair racers. *Journal of Southeast Asian Medical Research, 2*(2), 76-84.

Lee, D.-S. (2006). Exploring the usefulness of reporting effect sizes in group-design studies with small sample sizes. *The Journal of Special Children Education, 8*(1), 183-198.

Lee, J.-W. (2019). Application of demand-oriented support model for the performance enhancement of the sports for disabled. *Korean*

www.kci.go.kr

Journal of Adapted Physical Activity, 27(4), 57-75.

Lemay, V., Routhier, F., Noreau, L., Phang, S. H., & Ginis, K. A. M. (2012). Relationships between wheelchair skills, wheelchair mobility and level of injury in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord, 50*, 37-41.

Park, N.-Y., Baek, H.-J., & Koh, I.-L. (2015). A study on user participation design process for public buildings for users and local communities. *Proceedings of 2015 Spring Annual Spring Conference of AIK, 35*(1), 129-132.

Rice, I., Dysterheft, J., Bleakney, A. W., & Cooper, R. A. (2016). The influence of glove type on simulated wheelchair racing propulsion: A pilot study. *International Journal of Sports Medicine, 37*(1), 30-35.

Shin, W. S., & Oh, A. R. (2022). Policy recommendations for improving elite sports performance for athletes with disabilities. *Journal of Korean Society of Sport Policy, 20*(1), 157-175.

Usma, C., Volk, N., Elderfield, D., & Collins, P. K. (2018). Study of bio-mimicry surfaces for optimization of coupling performance in wheelchair racing gloves. *Proceedings of the 12th Conference of the International Sports Engineering Association, 2*(6), 261.

Vanlandewijck, Y., Theisen, D., & Daly, D. (2001). Wheelchair propulsion biomechanics: Implications for wheelchair sports. *Sports Medicine, 31*(5), 339-367.

Yi, J., Kong, S., Kwon, K., Kim, J., & Hwangbo, S.-W. (2015). Kinematic pattern during cranking on the different loads in disabled hand-cycle. *The Asian Journal of Kinesiology, 17*(4), 1-8.

www.kci.go.kr

3D 프린팅 개인맞춤형 육상 글러브가 휠체어 육상 선수의 경기력에 미치는 영향

노형규[1], 배건환[2]

[1]한국체육대학교 특수체육교육과 교수
[2]한국체육대학교 학술연구교수

[목적] 본 연구는 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상용 글러브를 제작하고 그 적용 효과를 검증하여 국내 휠체어 육상 선수들의 경기력 향상에 기여하는 데에 그 목적이 있다.
[방법] 본 연구에서는 T54 등급에 해당하며 최근 3년 이내 전국장애인체육대회 금메달 경력이 있는 남성 휠체어 육상 선수 3명을 대상자로 선정하였다. 각 연구 대상자는 휠체어 육상의 스트로크 및 리커버리 구간 동작 수행 시 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근에 대한 3D 프린팅 글러브의 적용 전후 근 활성도 및 최고 속도 기록 측정을 3회에 걸쳐 진행하였다. 근 활성도 측정 데이터 표준화를 위해 대상자별 최대 수의적 등척성 근수축(MVIC)을 기준으로 구간별 상대적 근 활성 수준(%)을 산출하였으며 회차별 주행의 모든 최고 속도를 측정하고 평균 기록을 산출하여 비교 분석하였다.또한 모든 측정값에 대해 SPSS 24.0를 활용해 비모수 검정 방법인 윌콕슨 부호 순위 검정을 실시하여 3D 프린팅 글러브 적용 유효성을 검증하였다.
[결과] 본 연구에서 얻은 결과는 다음과 같다. 첫째, 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브의 사용 전후 선수들의 주요 근육별 근 활성도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 세 선수에게 공통적으로 스트로크 구간에서는 대흉근, 상완삼두근, 척추기립근의 근 활성 증가가, 리커버리 구간에서는 상완삼두근의 근 활성 증가가 확인되었다. 둘째, 3D 프린팅 개인맞춤형 휠체어 육상 글러브 사용 전후 선수들의 주행 최고 속도는 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 3D 프린팅 글러브를 사용했을 때 주행 최고 속도 기록은 A 선수의 경우 4.57, 3.63, 1.06km/h씩 증가하였으며 B 선수는 5.9, 6.04, 7.86km/h씩 증가한 것으로 나타났다. C 선수의 경우에도 6.73, 2.27, 0.83km/h씩 증가한 것으로 나타나 세 선수 모두 3D 프린팅 글러브를 통해 최고 속도 기록이 향상된 것으로 확인되었다.
[결론] 본 연구의 결과는 3D 프린팅 개인맞춤형 글러브의 적용이 휠체어 육상 선수들의 경기력 향상에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 것을 시사하며, 향후 3D 프린팅 개인맞춤형 장비의 적용이 더욱 다양한 종목의 선수들에게 이루어진다면 국내 장애인스포츠 경기력 향상에 충분히 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

주요어
3D 프린팅, 휠체어 육상 글러브, 개인맞춤형 장비, 장애인스포츠

www.kci.go.kr