Sports Science 2023, 제41권, 제2호
Vol.41, No.2, (31)August 2023: 11-20 | http:////doi.org/10.46394/ISS.41.2.1 | ISSN(Online) 2093-3363

3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립이 장애인 조정 선수의 경기력에 미치는 영향

The Effect of 3D-Printed Customized Oar Assistive Grip on the Performance of Rowers with Disabilities

노형규(한국체육대학교 교수) · **배건환***(한국체육대학교 박사과정)
Hyoung-Kuy Roh *Korea National Sport University* · Gun-Hwan Bae* *Korea National Sport University*

요약

본 연구는 국내 장애인 조정 선수들을 대상으로 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립을 제작하는 과정을 통해 장애인스포츠에서의 3D 프린팅 개인맞춤형 장비 개발 절차를 탐색하고 개발 장비가 경기력에 어떠한 영향을 미치는지 확인하는데 목적이 있다. 본 연구의 대상자는 2022년 국제조정연맹의 장애인 조정 국제등급분류 명단에 PR3-PI 등급으로 등록되어 있으면서 최근 3년 이내 장애인 조정 국가대표 선발 경력이 있고 자발적 연구 참여 의사를 밝힌 선수 3명으로 선정하였다. 선정된 연구대상자들은 프로토타입 제품 제작 이후 총 3회에 걸쳐 장비 디자인 개선 과정에 참여하였으며 이와 동시에 매 회차별 3D 프린팅 제작 장비 적용 전후 효과 검증을 위한 근 활성도 측정을 실시하였다. 이에 따른 본 연구의 결과는 다음과 같았다. 첫째, 장애인체육 분야에서의 3D 프린팅 개인맞춤형 장비 개발 절차는 장비 개발 연구팀 결성 및 자체 연구 회의 진행을 통한 장애인체육 장비 개발 전략 수립, 장비 사용 당사자의 적극적인 참여를 통한 수요자 중심 장비 개발 과정 진행, 3D 프린팅을 활용한 반복적인 장비 디자인 개선 및 테스트 시행, 개인맞춤형 장비의 최종 제작 및 적용, 개발 장비 효과 검증의 순서로 진행된다고 확인되었다. 둘째, 본 연구에서 제작한 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립은 적용 전후 근 활성도 비교 측정 결과 장애인 조정 선수 각각의 신체 기능 및 특성에 따른 개인별 제약을 보완하고 경기력 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 향후 장애인체육 맞춤형 기자재의 제작 및 보급 사례에 대한 기초자료로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 전문체육 분야 경기력 향상 방안에 있어 새로운 시각을 제공한다는 측면에서 그 의의가 있다.

Abstract

This study aims to explore the process of developing 3D-printed customized equipment in sports for the disabled through the process of manufacturing 3D-printed customized oar assitive grips for rowers with disabilities in Korea and to determine the impact of the developed equipment on their performance. The subjects of this study were three rowers who were registered as PR3-PI in the International Rowing Federation's World Rowing master classification list in 2022, had been selected as national team for para-rowing within the last 3 years, and voluntarily expressed their willingness to participate in the study. The selected research subjects participated in the equipment design improvement process over a total of 3 sessions after the prototype product was produced. At the same time, muscle activity measurements were conducted before and after the application of 3D-printed equipment for each session to verify its effectiveness. The results of this study were as follows. First, the process of developing 3D-printed customized equipment for sports for the disabled was found to involve establishing a strategy for developing sports for the disabled equipment through the formation of an equipment development research team and conducting internal research meetings, conducting a user-centered equipment development process through active participation of the equipment users, repeatedly improving and testing the equipment design using 3D printing, producing and applying the final cutomized equipment, and verifying the effectiveness of the developed equipment. Secondly, the results of comparing muscle activity before and after the application of the 3D-printed customized oar assistive grip made in this study showed that it had a positive effect on improving athletic performance by compensating for individual constraints according to the physical functions and characteristics of each athlete. This research has significance in that it can be used as a basis for the production and dissemination of customized equipment in sports for the disabled in the future, as well as providing a new perspective on ways to improve performance in elite sports.

Key words : 3D printing, Para-rowing, Rowers with disabilities, Customized equipment

* milan04@knsu.ac.kr
이 논문은 2021년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2021S1A5A2A01062542)

www.kci.go.kr

Ⅰ. 서론

1988년 서울 패럴림픽 이후 지속적으로 감소 추세를 보였던 국내 장애인 전문체육 선수들의 국제 경쟁력은 현재 선수층, 장비, 성적 등 다양한 분야에서 어느 때보다 열악한 상황에 놓여있다. 이러한 상황을 반등시키기 위해 다양한 스포츠과학 접근이 시도되어왔으나 장애 유형별 다양한 신체 기능 및 구조를 고려한 맞춤형 체육 기자재의 개발과 보급은 여전히 미미한 수준에 그치고 있다(장경배, 이경완, 구도훈 및 은선덕, 2012).

이러한 배경에는 장애인들에게 필요한 스포츠 장비 및 기구를 맞춤형으로 제공하는 것에 제약이 존재했던 기존 산업 구조가 있다. 국내기업들은 소수의 대상만을 위한 제품 생산이 비효율적이라 여겼으며 이로 인해 장애인스포츠 장비와 용품은 턱없이 부족한 실정이다. 이마저도 대다수가 수입 제품이었기에 제품을 얻기 위한 장시간 고비용 투자는 불가피한 상황이다(구교만 및 오아라, 2012).

특히, 고가의 장비가 많은 전문체육 영역에서는 장비와 관련한 경제적 부담을 선수들이 떠안게 되는 상황도 발생하였으며(이지석, 유성진 및 최영래, 2016) 선수들은 일정한 규격으로 생산되어 본인의 몸에 맞지 않는 장비에 적응하거나(정진완, 조창옥, 한회창 및 오광진, 2009) 스스로 장비를 다듬어야만 하기도 했다. 이렇듯 장애인 엘리트 체육 선수들의 개인별 신체 기능과 특징이 반영된 스포츠과학 기반의 개인맞춤형 장비들이 선수들에게 적절히 제공되지 못하고 있는 상황은 시시각각 변화하는 국제 장애인스포츠 무대에서 경기력 정체 및 저하의 주요 원인으로 작용하고 있다.

한편, 4차 산업혁명을 이끄는 대표적인 기술 중 하나인 3D 프린팅은 제조업 발전에 핵심적인 역할을 할 것이라 평가받으며 기존 산업 체제에 획기적인 변화를 가져올 기술로 주목 받고 있다(양대승, 2018). 이러한 3D 프린팅 기술은 장애인 체육을 포함한 스포츠 영역 전반에서의 기자재 개발, 특히 개인맞춤형 장비의 개발과 매우 밀접한 관련성을 갖는다. 기존 산업 구조에서의 제조 방식에 비해 단순화된 생산 절차로 제품 제작 기간이나 생산 비용 등에 있어 높은 효율성을 확보했으며(김현란, 변영웅, 이병서, 조우석 및 이동현, 2015) 설계 형태나 디자인의 제약이 없고 반복적인 수정과 테스트를 진행하기 용이해 다품종 소량생산에 강점이 있기 때문이다(김천환, 2017).

개인맞춤형 장비 제작이 요구되는 장애인스포츠 종목은 다양하겠지만 그중에서도 우리나라의 장애인 조정은 아시아권을 넘어 세계적인 수준으로의 도약을 위해 경기력 향상을 위한 다양한 접근이 절실히 요구되는 종목이다(조창옥 및 김호묵, 2019). 조정 종목에서는 선수의 힘을 노(oar)에 효율적으로 전달하여 보트를 신속히 이동시키는 것이 가장 중요하다(강동균, 2013). 조정의 동작은 크게 물 속에서 노로 추진을 가하는 드라이브(drive) 구간과 물 밖에 노가 나온 상태에서 움직임이 진행되는 리커버리(recovery) 구간으로 구분된다(황우석 및 김현태, 2019). 특히 다리의 미는 힘과 팔의 당기는 힘을 적절히 조합해 노를 젓는 드라이브 구간과 노의 손잡이 조작 시 일체감이 중요한 리커버리 구간(윤종성 및 한민규, 2019) 모두 효율적인 동작 구현을 위해서는 노 손잡이(grip)의 정확한 파지를 통한 힘 전달이 핵심적이라고 할 수 있다(Bompa, Hebbelinck, & Van Gheluwe, 1985). 이에 따라 장애인 조정에서 선수 개인별 특성에 따른 노 손잡이의 개인맞춤형 개발은 경기력 향상에 주요한 영향을 미칠 것이라 사료된다.

하지만 현재 국내 장애인 조정 종목 선수들의 경우 개인별 손상 정도나 부위의 차이, 이에 따른 기능적 편차가 다양하지만 이를 보완하기 위한 장비 개발 및 지원은 적절히 제공되지 못하고 있다. 또한 국내에서는 이와 관련한 연구 역시 전무한 실정이다. 이러한 상황은 선수들이 노를 정확히 파지하여 보트에 힘을 전달하는 데에 제약사항으로 작용하고 있으며 이는 곧 장애인 조정 종목의 경기력 향상을 저해하는 주요 제한점 중 하나일 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 장애인 조정 선수들을 대상으로 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립을 개발하는 과정을 통해 장애인체육에서의 3D 프린팅 개인맞춤형 장비 개발 절차를 심도 있게 탐색하여 제시하고자 하였다. 이에 더해 스포츠 분야의 기술적 동작을 분석하고 경기력 관련 요인을 측정하는 대표적인 방법 중 하나로 널리 활용되고 있는 근전도 분석(이순호, 2009)을 통해 최종적으로 제작된 개인맞춤형 보조 그립이 조정 선수들의 경기력에 어떠한 영향을 미치는지 확인하고자 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 혼합연구의 유형 중 하나로 양적 자료 또는 질적 자료 중 한 유형이 다른 한쪽에 포섭되어 뒷받침(오은주, 2008)하는 역할을 하는 동시적 내재 설계(Creswell, Plano Clark, Gutmann, & Hanson, 2003)를 통해 다음과 같이 연구문제 및 가설을 설정하였다.

연구문제 1) 장애인체육에서의 3D 프린팅 개인맞춤형 장비 개발 절차는 어떠한가?

연구가설 1) 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립 제작 전후 경기력 관련 양적 변인에는 차이가 있을 것이다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구대상

본 연구에서는 2022년 국제조정연맹의 장애인 조정 국제등급분류 명단(World Rowing Master Classification List)에 지체장애인 등급인 PR3-PI (Para Rowing 3 - Physical Impairment) 등급으로 등록되어 있으면서 최근 3년 이내 장애인 조정 국가대표 선발 경력이 있는 선수 중 개인맞춤형 보조 그립을 필요로 하여 자발적 연구 참여 의사를 밝힌 남자 선수 2명, 여자 선수 1명을 포함 총 3명을 대상자로 최종 선정하였다. 본 연구를 수행하기 위해 연구자는 K대학의 생명윤리 위원회에서 심의 승인(20210916-131)을 받았으며, 모든 대상자들에게 본 연구에 참여하기 전 전반적인 연구 진행 과정에 대해 충분한 안내를 하고 자발적 연구 참여 동의를 받은 후 연구를 진행하였다.

www.kci.go.kr

2. 자료 수집

본 연구에서는 소수의 연구대상자로부터 개인별 심층적 자료를 수집하는 데에 효과적이며 다양한 사례연구에서 활용되어온 혼합 연구 유형인(Lieberman, 2005) 동시적 내재 설계 방식을 활용하였다. 동시적 내재 설계에서는 양적 및 질적 자료의 수집이 동시 진행되며 연구문제의 종합적인 해석을 도출하기 위해 차후 결과 해석 단계에서 정보가 통합된다(최준혁, 2014). 이에 따라 장비 수요자는 제품 개발 초기 단계에서부터 직접 제작에 참여하여 장비 구조, 디자인 등에 관한 세부 피드백을 적극 제공하였다.

또한 프로토타입(prototype) 제품 제작 이후 총 3회에 걸쳐 본격적인 장비 디자인 개선 과정을 진행하며 매 회차별 제작 장비에 대해서는 장비 적용 전후 근전도 비교 측정을 실시하였다. 근전도 측정 분석은 기술 동작의 세부적이고 정확한 분석을 통한 경기력 증대 측면에서 많은 도움을 주고 있는 스포츠 과학적 접근법이다(김기진, 2013). 이에 따라 조정 동작 수행 시 주요 활용 근육을 광배근, 상완이두근, 복직근, 척추기립근 4개로 선별하였으며 환측에 표면 전극을 부착하여 각 근육별 근 활성도 데이터를 취득하였다.

3. 3D 프린팅 관련 활용 기술

3D 모델링 소프트웨어를 활용한 모델링 작업은 아이디어를 실제적인 데이터로 디지털화하여 구현하는 첫 단계이다(이경준, 2018). 본 연구에서는 Rhinoceros 7 (Robert Mcneel & Associates, USA) 프로그램을 활용하여 장비 설계를 진행하였다. 그 이후 슬라이서 소프트웨어인 Simplify 3D (Simplify 3D, USA)를 통해 출력 시뮬레이션 진행 및 출력에 관한 세부사항 설정이 이루어졌다. 또한 개발 장비의 재료로는 내마모성, 내구성, 탄성 및 유연성에 강점이 있는 TPU (Thermo Poly Urethane) 필라멘트를 활용하였으며 최종적으로 FDM (Fused Deposition Modeling) 방식의 3D 프린터인 M220 (Moment, Korea)을 통해 출력을 진행하였다.

4. 실험 도구

본 연구에서는 조정 선수 훈련 및 기술 능력 분석에 유용하게 활용되는 Biorower Pro (Biorower, Austria) 장비를 활용하였으며(강동균 및 이미숙, 2013; 이상현 및 박상균, 2013), 장비 적용 전후 근전도 비교 측정을 위한 근전도 측정기는 Ultium ESP (Noraxon, USA)를 활용하였다.



그림 1. Biorower Pro를 활용한 실험 장면

5. 자료처리

본 연구에서 활용한 근전도 측정기의 샘플링(sampling) 주파수는 2,000 Hz로 설정하였으며 20~400 Hz로 대역통과 필터링(band-pass filtering) 후 정류(rectification)를 실시하였다. 근 활성도 측정 데이터는 장애인 조정 선수들이 최대힘으로 주행하는 10초의 시간 내에서 처음과 마지막의 드라이브 및 리커버리 구간을 제외하고 최대 퍼포먼스를 나타내는 중간 3회의 드라이브 및 리커버리 구간 데이터를 추출 분석하였으며 측정된 근 활성도 값은 연구대상자 각각의 측정 자료 표준화를 위해 드라이브 및 리커버리 구간에서 개인별 최대 수의적 등척성 근수축(Maximum Voluntary Isometric Contraction)을 기준으로 분석구간의 상대적 근활성 수준(%)을 산출하였다. 또한 본 연구에서의 모든 측정 데이터는 Excel (Microsoft, USA) 프로그램을 활용하여 정리하였다. 본 연구에서 진행된 근 활성도 측정 실험의 프로토콜은 다음에 제시된 <표 1>의 내용과 같다.

표 1. 실험 프로토콜

대상 \ 시기	1차 측정	2차 측정	3차 측정
장애인 조정 선수 3인	· 기존 주행 방식 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식	· 기존 주행 방식 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식	· 기존 주행 방식 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식
	완전 회복 시간 부여(최소 2분 이상)		
	· 3D 프린팅 1차 제작 장비 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식	· 3D 프린팅 2차 제작 장비 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식	· 3D 프린팅 3차 제작 장비 3회 측정 · 회당 10초 Max 주행 · 주행 간 1분 휴식

III. 연구결과 및 논의

1. 장애인 조정용 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립의 개발 절차

1) 3D 프린팅 장비 개발 연구회 결성 및 정기회의 진행

본 연구에서는 장애인 조정 종목의 장비 개발을 위해 특수체육 전공 교수, 특수체육 전공 박사과정 원생 및 장애인체육 장비 개발에 관심 있는 특수체육 전공 석사과정 원생과 학부생 등으로 구성된 장애인체육 장비 개발 연구팀을 구성하였다. 또한 연구팀 자체적으로 장비 개발 연구회를 결성하여 정기회의를 진행하며 현장 관계자 피드백 수렴, 인터뷰 내용의 공동 분석 실시 등 장애인 조정 종목의 장비 개발 전략을 체계화하는 과정을 거쳤다.

2) 수요자 중심 장비 개발 과정 진행

3D 프린팅의 가장 큰 장점은 제품 제작 과정에서의 반복적인 디자인 수정과 테스트가 용이하다는 점이다. 전통적인 대량 생산

www.kci.go.kr

체계에서는 이러한 과정을 진행하는 것이 불가능에 가까웠다. 본 연구에서는 이러한 3D 프린팅을 활용하여 수요자 의견을 적극 반영하는 수요자 중심의 장비 개발 과정이 진행되었다. 본격적인 노 손잡이 보조 그립 개발 과정에서 장애인 조정 종목의 훈련 현장과 경기장 등을 정기적으로 방문하였다. 이 과정에서 종목적 특성과 선수별 개인 신체 기능 등을 고려한 장비 세부 디자인 아이디어를 얻고 장비의 실사용자가 될 선수들이 제작 과정에 적극적으로 참여할 수 있도록 유도하였다. 또한 프로토타입 제품 제작 이후 본격적인 장비 개발 테스트를 총 3차에 걸쳐 진행하였는데 각 회차별 장비 테스트 과정에서는 훈련 상황에서의 선수 개인별 장비 활용 모습을 관찰하고 주요 동작 수행과 관련한 다양한 피드백을 수렴하여 장비의 취약점을 보완 및 개선하였다.

특히, 본 연구에 참여한 장애인 조정 선수들의 경우 한 사람이 배 양쪽으로 각각 하나씩, 총 두 개의 노를 모두 젓는 스컬(scull) 종목에 참여하는 선수가 한 명, 한쪽으로 하나의 노만 젓는 스위프(sweep) 종목에 참여하는 선수가 한 명, 두 종목 모두 참여하는 선수가 한 명인 상황이었기 때문에 선수의 참여 종목에 따른 동작 특성도 장비 설계에서 주요하게 고려되어야 했다.



그림 2. 사용자 참여 장비 개발 과정 진행

3) 3D 프린팅을 활용한 개인맞춤형 장비 제작 과정

본 연구에서는 개인맞춤형 장비의 제작을 위해 3D 프린팅 기술을 활용하였다. 먼저 수요자의 요구사항에 따라 작성한 기초 디자인 스케치를 토대로 3D 모델링 소프트웨어를 활용하여 선수별 신체 특성 및 기능을 고려한 노 손잡이 보조 그립의 3D 디자인 데이터를 설계하였다.

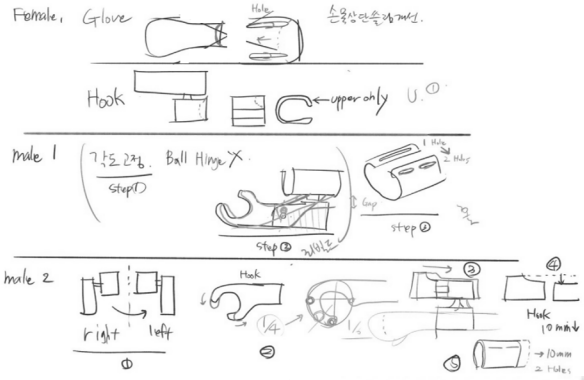
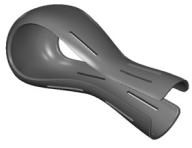


그림 3. 개인맞춤형 장비 제작을 위한 기초 디자인 스케치

그 후 슬라이서 소프트웨어를 통해 출력 시뮬레이션을 진행하고 제품의 경도(hardness), 내부 채움 수치(Infill), 외벽층(shell) 등과 같은 세부 설정을 조정한 후 3D 프린터의 동작 명령어인 g-code 데이터를 추출하였다. 장비의 소재로는 장비 수요자를 대상으로 소재별 적합도 조사를 진행한 후 TPU 필라멘트를 최종 선정하였으며 제작 장비의 크기 및 사용 재료 등을 고려하여 M220 3D 프린터를 활용한 장비 제작이 이루어졌다. 또한 본 연구에서는 대상자 개인별 요구사항과 사용 피드백을 더욱 세밀하게 반영하기 위해 장비 제작 테스트 과정에서 이러한 과정을 반복적으로 실시하였다. 이를 통해 위 제시된 <표 2>와 같이 총 4개 디자인의 최종 결과물을 도출하였다.

표 2. 3D 모델링을 활용한 대상자별 개인맞춤형 장비 디자인

대 상	3D 프린팅 개인맞춤형 장비 형태
A 선수 (남. 스컬)	
B 선수 (여. 스컬)	
B 선수 (여. 스위프)	
C 선수 (남. 스위프)	

4) 개인맞춤형 3D 프린팅 노 손잡이 보조 그립 개발 및 적용

장애인 조정에서는 수면 위에서 노를 잡고 배를 추진하는 것이 가장 기본적이고 중요한 부분이다. 따라서 본 연구에서는 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립의 개발을 통해 선수들이 손의 기능적 제한으로 노 손잡이 파지에 개인별 제약이 있는 상황을 개선하고자 하였다.

이에 따라 보조 그립의 기본 디자인은 선수별 신체 특성과 기능을 고려하여 손 전체를 감싸는 형태의 글러브(glove)형 디자인과 손목과 노 손잡이의 안정적 연결을 돕는 후크(hook)형 디자인 두 가지로 고안하였다. 기본 디자인 확정 이후에는 선수 개인별 의견을 반영하여 손잡이 연결부 설계 및 크기, 형태와 같은 세부 디자인 등을 조절하여 최종 결과물을 제작하였다.

www.kci.go.kr

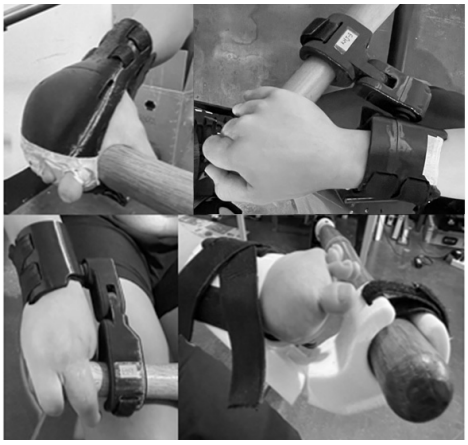


그림 4. 3D 프린팅 개인맞춤형 보조 그립의 적용

5) 개발 장비 효과 검증을 위한 주요 근육 근활성도 측정

본 연구에서는 장애인 조정용 개인맞춤형 3D 프린팅 노 손잡이 보조 그립의 효과 검증을 위해 운동역학 전공 교수 1인 및 운동역학 전공 박사과정 3인의 자문을 받아 근전도(EMG) 측정 분석 계획을 수립하였다. 이를 통해 노의 입수(catch) 후 출수(finish) 직전까지의 드라이브 구간과 노의 출수부터 재입수 직전까지의 리커버리 구간(윤종성 및 한민규, 2019) 동작 수행 시 광배근, 상완이두근, 복직근, 척추기립근의 근육별 활성도에 대한 3D 프린팅 제작 장비 적용 전후 비교 측정 분석을 실시하여 개발 장비에 대한 효과를 검증하고자 하였다.



그림 5. 3D 프린팅 개발 장비 효과 검증을 위한 근전도 측정

본 연구에서는 위와 같이 장애인체육 장비 개발 계획 단계부터 최종 개발 이후 장비 적용의 효과 검증까지 일련의 절차들을 세분화하여 제시하였다. 대상자들의 신체 기능에 있어 개인별 편차가 크고 개별적 특성도 다양하게 존재하는 장애인체육 분야에서는 장비의 개인맞춤형 제작이 필수적이라 할 수 있다. 이에 따라 장비 개발 절차에서 수요자의 적극적인 의견 게재 및 이를 반영한 디자인 설계는 필수적으로 요구되는 과정이다. 이를 위해서는 수요자 중심 장비 개발 절차의 도입이 더욱 중요하다. 또한 다품종 소량 생산에 큰 강점이 있으며(조은정 및 이훈혜, 2014) 개개인의 세밀한 피드백을 반영한 제품 제작에 효율적인(김정현 및 정의철, 2015) 3D 프린팅 기술은 이러한 수요자 중심 장비 개발에 있어 주요한 역할을 할 수 있을 것이라 기대된다.

공급자 중심의 현행 장애인스포츠 지원 체계는 국내 엘리트 선수 경기력 향상의 제약으로 작용하고 있으며 현장 지원의 실효성을 증대시키기 위해 맞춤형 수요자 지원 체계로의 전환과 실질적 제도 확립이 필요한 시점이다(이재원, 2019). 이러한 상황에서 본 연구를 통해 제시된 3D 프린팅 장애인스포츠 개인맞춤형 장비 개발 사례의 공유는 이러한 수요자 중심 지원 체제로의 전환 및 구체적 방안 마련에 긍정적인 역할을 할 수 있을 것이라 사료된다.

2. 3D 프린팅 제작 장비 적용 전후 효과 검증을 위한 근 활성도 비교 분석

1) 기존 방식 주행 및 3D 프린팅 장비 적용 주행 시 MVIC 기준 근 활성 수준 파악

본 연구에서는 프로토타입 제품 제작 이후 총 3차에 걸쳐 진행된 본격적인 3D 프린팅 장비 디자인 개선 과정에서 매 회차별 3D 프린팅 제작 장비를 활용한 주행 방식과 기존 주행 방식 간의 근활성 수준을 비교하고자 하였다. 이에 따라 각 측정 시기별로 기존 방식 주행과 3D 프린팅 장비 주행 모두 10초간 최대 속도 주행을 3회씩 반복 실시하였다. 더불어 조정 종목에서의 주행 동작을 크게 드라이브 구간과 리커버리 구간으로 나누어 광배근, 상완이두근, 복직근, 척추기립근 4개 근육의 근 활성 수준을 각각 정규화한 %MVIC 값으로 산출하였다. 이에 따른 측정 회차별 근 활성도 측정 결과는 앞서 제시된 <표 3>과 같이 산출되었다.

<표 3>에서는 선수들이 기존 방식대로 주행했을 때와 비교하여 3D 프린팅 개인맞춤형 장비를 사용한 주행에서 근 활성도가 증가한 경우 색으로 표시하여 구분하였다.

먼저 A 선수의 결과를 살펴보면 측정 회차 및 구간별 근전도 변화에 있어 증가와 감소 경향이 비교적 비슷한 비율로 혼합되어

표 3. 측정 회차별 기존 주행 및 3D 프린팅 장비 주행 시 MVIC 기준 평균 근활성 수준(%)　　(: 기존 대비 3D 주행 시 증가)

대 상	구간	근육	1차 측정		2차 측정		3차 측정	
			기존 주행	3D 장비 주행	기존 주행	3D 장비 주행	기존 주행	3D 장비 주행
A 선수 (남./스컬/ 후크형)	드라이브	광배근	67.63 ± 6.37	59.01 ± 2.52	84.88 ± 4.16	98.77 ± 3.26	66.59 ± 5.61	58.28 ± 2.69
		상완이두근	28.71 ± 4.01	12.06 ± 1.69	92.85 ± 0.97	79.94 ± 6.42	57.19 ± 5.99	47.90 ± 2.17
		복직근	24.30 ± 2.60	26.29 ± 1.34	28.96 ± 2.10	28.55 ± 3.84	44.72 ± 2.83	48.47 ± 4.44
		척추기립근	15.15 ± 2.09	12.72 ± 1.60	38.71 ± 1.74	43.16 ± 2.34	49.23 ± 1.92	58.00 ± 4.45
	리커버리	광배근	25.61 ± 2.53	30.17 ± 4.92	19.02 ± 2.13	16.96 ± 1.50	27.19 ± 4.65	16.68 ± 1.54
		상완이두근	2.77 ± 0.19	2.06 ± 0.17	13.56 ± 3.64	19.18 ± 4.30	3.84 ± 0.21	7.25 ± 4.58
		복직근	24.95 ± 1.82	22.20 ± 2.89	29.16 ± 3.46	28.17 ± 4.72	27.77 ± 2.11	23.69 ± 1.35
		척추기립근	4.29 ± 0.40	4.40 ± 0.22	9.10 ± 1.64	8.15 ± 0.44	7.58 ± 0.20	9.48 ± 1.46

www.kci.go.kr

B 선수 (여/스컬/후크형)	드라이브	광배근	23.14 ± 0.36	26.02 ± 0.82	86.37 ± 6.67	87.65 ± 3.12	28.18 ± 1.27	32.62 ± 0.96
		상완이두근	46.49 ± 0.25	55.54 ± 1.86	55.12 ± 23.96	68.98 ± 8.96	36.01 ± 4.71	39.90 ± 0.97
		복직근	15.75 ± 1.97	15.36 ± 1.56	69.42 ± 36.65	44.16 ± 19.88	15.50 ± 1.78	17.64 ± 0.29
		척추기립근	39.81 ± 2.08	38.82 ± 0.97	54.83 ± 7.63	50.36 ± 1.89	35.90 ± 0.83	33.35 ± 2.94
	리커버리	광배근	8.87 ± 0.21	9.95 ± 1.57	5.27 ± 1.12	7.47 ± 5.56	7.74 ± 2.05	8.43 ± 0.85
		상완이두근	2.30 ± 0.83	4.25 ± 0.22	5.31 ± 2.24	16.34 ± 6.51	4.47 ± 1.96	13.67 ± 0.97
		복직근	15.27 ± 2.94	20.30 ± 2.74	37.97 ± 25.30	29.00 ± 0.77	14.94 ± 0.74	19.74 ± 1.27
		척추기립근	7.19 ± 0.85	8.29 ± 0.25	11.31 ± 5.24	12.65 ± 1.45	9.17 ± 2.20	10.33 ± 0.89
B 선수 (여/스위프/글러브형)	드라이브	광배근	26.87 ± 2.12	31.66 ± 1.84	78.43 ± 2.94	64.93 ± 2.16	30.91 ± 1.63	35.92 ± 4.05
		상완이두근	38.51 ± 2.45	39.04 ± 3.93	49.37 ± 6.84	52.30 ± 6.07	26.48 ± 2.37	30.04 ± 2.33
		복직근	13.32 ± 0.64	18.83 ± 2.47	72.47 ± 16.97	152.21 ± 37.63	14.32 ± 1.71	25.08 ± 8.54
		척추기립근	23.65 ± 2.58	30.11 ± 2.19	55.73 ± 3.01	66.98 ± 6.31	30.02 ± 0.26	36.32 ± 3.70
	리커버리	광배근	7.03 ± 0.58	8.07 ± 0.75	4.22 ± 0.96	6.76 ± 2.60	6.12 ± 2.24	11.35 ± 6.94
		상완이두근	3.28 ± 0.24	5.14 ± 0.34	9.94 ± 2.49	19.00 ± 4.90	8.81 ± 0.66	15.30 ± 0.74
		복직근	16.67 ± 4.87	32.42 ± 1.83	31.08 ± 9.11	56.47 ± 25.38	12.76 ± 0.39	17.71 ± 2.67
		척추기립근	6.91 ± 0.54	6.71 ± 0.53	11.99 ± 1.30	15.94 ± 1.87	10.85 ± 1.70	10.59 ± 1.11
C 선수 (남/스위프/후크형)	드라이브	광배근	45.19 ± 7.08	44.16 ± 2.15	57.33 ± 3.11	44.66 ± 2.64	74.77 ± 6.87	74.60 ± 5.51
		상완이두근	19.71 ± 3.87	9.36 ± 1.67	15.17 ± 0.84	7.98 ± 0.77	7.72 ± 1.74	8.79 ± 1.46
		복직근	7.91 ± 0.95	7.52 ± 0.98	17.17 ± 0.85	14.55 ± 1.39	10.82 ± 0.97	12.72 ± 0.62
		척추기립근	34.46 ± 1.91	27.85 ± 4.87	20.45 ± 0.80	20.07 ± 2.38	18.04 ± 2.26	18.16 ± 2.44
	리커버리	광배근	22.31 ± 2.69	27.39 ± 4.91	12.36 ± 0.97	13.15 ± 1.54	28.94 ± 1.18	29.78 ± 2.31
		상완이두근	4.28 ± 0.21	5.12 ± 1.21	4.73 ± 0.37	5.68 ± 1.12	3.74 ± 0.25	2.97 ± 0.52
		복직근	6.53 ± 1.28	6.68 ± 1.65	9.96 ± 0.78	9.02 ± 0.25	7.57 ± 1.44	7.75 ± 0.48
		척추기립근	8.26 ± 0.52	8.79 ± 2.33	4.10 ± 0.27	3.69 ± 0.04	4.90 ± 0.76	7.10 ± 0.73

나타나고 있었으며 드라이브와 리커버리 구간 모두 근 활성도 감소 경향이 근소하게 우세한 것으로 나타났다. 반면 B 선수의 경우 스컬 종목과 스위프 종목 모두에서 3D 프린팅 장비를 사용했을 때의 근전도 증가 경향이 우세하게 나타나는 것을 뚜렷하게 확인할 수 있었으며 특히 스컬 종목의 리커버리 구간과 스위프 종목의 드라이브 및 리커버리 구간에서의 측정 근육별 근 활성도 증가 경향이 매우 두드러지게 나타나는 것으로 확인되었다. C 선수의 경우에는 4개 근육 중 3개 근육에서 근 활성도 증가 경향이 나타난 3차 측정 결과를 제외하고는 드라이브 구간에서 근 활성도의 감소 경향이 우세하게 나타났다. 또한 리커버리 구간에서는 증가와 감소 경향이 각각 2개 근육씩 나타난 2차 측정 결과를 제외하면 근 활성도의 증가 경향이 더욱 명확하게 나타나는 것으로 파악되었다.

2) 측정 시기별 기존 장비 사용 시 대비 3D 프린팅 장비 사용 시 근 활성도 변화 경향성 파악

본 연구에 참여한 장애인 조정 선수들의 경우 선수별 참가하는 주종목에 차이가 있었으며 개인별 신체 기능과 운동 특성에 따라 개인맞춤형 장비의 최종 디자인이 매우 상이하게 설계되었다. 이러한 이유로 총 3차에 걸친 기존 주행 및 3D 장비 주행의 근 활성도 측정 데이터를 종합했을 때 모든 선수가 동일하게 근 활성도 증가 또는 감소 경향을 보인 근육을 한 번에 파악하기에는 어려움이 있었다. 따라서 본 연구에서는 기존 장비 사용 대비 3D 프린팅 개인맞춤형 개발 장비 사용 시의 근 활성도 변화 경향성을 시각적으로 더욱 단순화시켜 살펴보되 먼저 개인별 1, 2, 3차 측정 데이터에서 드라이브 및 리커버리 구간별 공통적으로 나타나는 근 활성도의 증가와 감소 경향성에 대해 독립적으로 파악해 분석하였다. 그 후 A 선수, B 선수(스컬, 스위프), C 선수가 사용한 4개 장비에 대한 기존 주행 대비 비교 분석 결과에서 공통적으로 나타나는 경향성을 확인하는 방식으로 데이터를 분석하였다. 이에 따른 분석 결과는 앞서 제시된 <표 4>와 같다.

<표 4>의 내용을 자세히 살펴보면 먼저 A 선수의 경우 양측에 배치된 노를 모두 조정하는 스컬 종목의 선수로 1, 2, 3차 측정 모두 드라이브 구간에서 공통적으로 상완이두근의 근 활성도 감소 경향을 확인할 수 있었으며 리커버리 구간에서는 복직근의 근 활성도 감소 경향이 공통적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

한편 B 선수의 경우 스컬과 스위프 종목에 모두 참여하는 선수였기 때문에 종목 특성에 따라 다른 디자인의 장비를 사용하여 각각 측정을 실시하였다. 먼저 스컬 종목용 장비를 사용한 경우 드라이브 구간과 리커버리 구간 모두에서 공통적으로 광배근과 상완이두근의 근 활성도 증가 경향성을 확인할 수 있었다. 또한 척추기립근 근 활성도의 경우 드라이브 구간에서는 모두 감소 경향을 보인 반면 리커버리 구간에서는 모두 증가하고 있음을 확인할 수 있었다.

B 선수가 스위프 종목용 장비를 사용해 주행했을 때를 살펴보면 드라이브 구간에서 상완이두근과 복직근, 척추기립근의 근 활성도가 모두 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 더불어 리커버리 구간에서는 척추기립근을 제외한 광배근, 상완이두근, 복직근의 3개 근육에서 공통적으로 근 활성도가 증가하고 있는 것으로 나타났다.

C 선수의 경우 양손으로 한쪽의 노를 잡고 추진하는 스위프 종

www.kci.go.kr

표 4. 3D 프린팅 장비 적용 전후 근전도 변화 경향성 파악(* : 측정 대상 4개 중 3개 이상 공통 경향 나타난 경우) (+: 증가, -: 감소)

구 분			A 선수(남/스컬/후크형)	B 선수(여/스컬/후크형)	B 선수(여/스위프/글러브형)	C 선수(남/스위프/후크형)
1차 측정	드라이브	광배근	-	+	+	-
		상완이두근	-	+	+	-
		복직근	+	-	+	-
		척추기립근	-	-	+	-
	리커버리	광배근*	+	+	+	+
		상완이두근	-	+	+	+
		복직근	-	+	+	+
		척추기립근	+	+	-	+
2차 측정	드라이브	광배근	+	+	-	-
		상완이두근	-	+	+	-
		복직근	-	-	+	-
		척추기립근	+	-	+	-
	리커버리	광배근*	-	+	+	+
		상완이두근	+	+	+	+
		복직근	-	-	+	-
		척추기립근	-	+	+	-
3차 측정	드라이브	광배근	-	+	+	-
		상완이두근	-	+	+	+
		복직근	+	+	+	+
		척추기립근	+	-	+	+
	리커버리	광배근*	-	+	+	+
		상완이두근	+	+	+	-
		복직근	-	+	+	+
		척추기립근	+	+	-	+

목이 주종목인 선수였으며 근 활성도 측정 결과 1, 2, 3차 측정 모두 드라이브 구간에서 광배근의 근 활성도가 공통적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 리커버리 구간에서는 광배근의 근 활성도가 공통적으로 증가하는 양상을 보였다.

위와 같은 선수 개인별 근 활성도 측정 결과를 종합적으로 살펴보면 A 선수를 제외한 B 선수(스컬, 스위프), C 선수 모두 1, 2, 3차 측정에서 공통적으로 리커버리 구간의 광배근 근 활성도가 증가하고 있음을 확인할 수 있었다. 조정 종목에서는 노를 젓는 동작을 효율적으로 구현하기 위해 광배근이 매우 중요한 역할을 하며 활동성이 많은 부위라고 할 수 있다(허보섭 및 지진구, 2015). 특히 드라이브 구간 직후 리커버리 구간으로 넘어가는 시작점인 피니쉬(finish) 동작 연결 과정에서는 광배근의 개입이 주요하게 발생하는 특징이 있다(황우석 및 김현태, 2019). Vinther et al. (2013)의 연구에서는 노 손잡이를 최대의 힘으로 잡은 타이밍과 광배근 등의 근육 최대 활성이 일어나는 타이밍이 일치하는 경향이 있음을 언급한 바 있는데 특히 노의 손잡이 조작 시 섬세한 일체감이 더욱 강조되는 리커버리 구간(윤종성 및 한민규, 2019)에서 이러한 광배근의 근 활성도 증가가 주요하게 발생한 것은 개인맞춤형으로 제작된 보조 그립이 선수들의 노 손잡이 파지 및 조작에 긍정적인 영향을 미쳐 나타난 결과라 사료된다.

앞서 밝힌 바와 같이 B 선수(스컬, 스위프), C 선수는 1~3차 측정의 리커버리 구간에서 광배근 근 활성도 증가 경향성을 뚜렷하게 확인할 수 있었으나 이와 달리 A 선수의 경우에는 1차 측정의 리커버리 구간을 제외한 2, 3차 측정 리커버리 구간에서 광배근의 근 활성도 감소 경향이 나타났다. 이와 관련하여 A 선수의 측정 데이터를 자세히 살펴보면 1~3차 측정의 드라이브 구간에서 상완이두근의 근 활성 감소 경향이 공통적으로 나타났으며 리커버리 구간에서는 복직근의 근 활성 감소 경향성이 공통적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

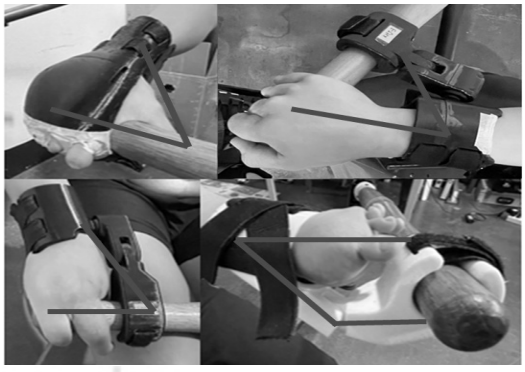


그림 6. 개인맞춤형 설계에 따른 동력 전달 구조의 차이

www.kci.go.kr

위 제시된 <그림 6>를 통해 확인할 수 있듯 A 선수는 다른 선수들과 달리 손가락을 사용한 노 손잡이 파지가 전혀 불가능한 상황이었기 때문에 A 선수의 개인맞춤형 3D 프린팅 보조 그립은 주된 동력 전달이 손목과 동일선상에서 이루어지는 나머지 장비들과 달리 팔의 힘이 손잡이로 전달되는 것을 보조하는 구조물이 손목보다 아래에 위치하는 형태로 설계되었다.

따라서 A 선수의 근 활성도 측정 결과가 상이하게 도출된 것은 이러한 3D 프린팅 제작 장비 디자인의 구조적 차이로 인해 발생한 것이라 사료된다. 실제로 A 선수는 1, 2, 3차 측정 모두 드라이브 구간에서 동일하게 상완이두근의 근 활성도 감소 경향을 나타냈는데 특히 상완이두근은 손목 관절의 각도에 민감하게 반응하는 주요한 근육들 중 하나로(김태완, 2011) 손목보다 아래에 위치한 개인맞춤형 보조 그립 구조물이 추진 동작 시 손목 관절의 근력을 보조하는 역할을 충실히 수행하여 상완이두근의 개입을 감소시킨 영향으로 나타난 결과라 판단된다.

B 선수의 경우 스컬 종목과 스위프 종목용 개인맞춤형 장비 모두 다른 선수들에 비해 비교적 빠르게 최종 디자인이 결정되었으며 이에 따라 프로토타입 제품 제작 이후 본 제품 제작 과정에서는 큰 폭의 디자인 변화 없이 적은 수의 세부 요소적 변화만 적용되었다. B 선수의 데이터를 살펴보면 스컬 종목과 스위프 종목 모두 1~3차 측정 전반에 걸쳐 일관되게 근 활성도의 증가 경향이 매우 우세하게 나타나고 있음을 확인할 수 있는데 이는 B 선수의 요구사항을 프로토타입 제품 제작 단계에서부터 높은 완성도로 구현하여 해당 장비에 적응할 수 있는 여지가 더욱 많았기 때문이라 사료된다. B 선수에게서 나타난 이러한 전반적 근 활성도의 증가 경향은 조정 선수들이 최대 퍼포먼스를 발휘하는데에 긍정적인 영향을 주는 것(허보섭 및 지진구, 2015)으로 해석할 수 있으며 이에 따라 B 선수에게 적용된 3D 프린팅 개인맞춤형 보조 그립이 선수의 운동 수행능력 향상에 기여하고 있는 것으로 판단된다.

한편 C 선수의 경우 1, 2차 측정의 드라이브 구간에서 모든 근육의 근 활성도 감소, 3차 측정에서는 광배근을 제외한 모든 근육의 근 활성도 증가가 확인되었다. 리커버리 구간을 살펴보면 1차 측정 데이터에서는 모든 근육의 근 활성도 증가, 2차 측정은 광배근과 상완이두근의 증가, 복직근과 척추기립근의 감소를 확인할 수 있었으며 마지막 3차 측정에서 상완이두근을 제외한 모든 근육의 근 활성도 증가 경향을 확인할 수 있었다. C 선수의 경우 본 제품 제작 과정에서 장비의 크기, 길이, 경도를 포함하여 가장 많은 요소의 세부 디자인 변화가 적용되었는데 이러한 장비 제작 과정에서의 잦은 변화로 인해 1, 2, 3차 측정 데이터 간 불균등한 경향성이 나타났을 것으로 사료된다. C 선수는 1, 2차 제작 장비를 사용하며 많은 불편감을 느꼈으나 다양한 디자인 피드백의 반복적 수렴을 통해 제작된 3차 장비를 사용하면서는 장비의 완성도와 착용감 등에 대해 큰 만족감을 표현한 바 있다. 실제로 C 선수가 3차 측정에서 3D 프린팅 개인맞춤형 장비를 사용했을 때 드라이브 및 리커버리 구간에서 모두 근 활성도의 증가가 우세한 경향으로 파악되었는데 이는 3차 제작 장비를 활용할 때 더욱 효과적인 힘 전달이 가능함을 보여주는 결과라 해석된다.

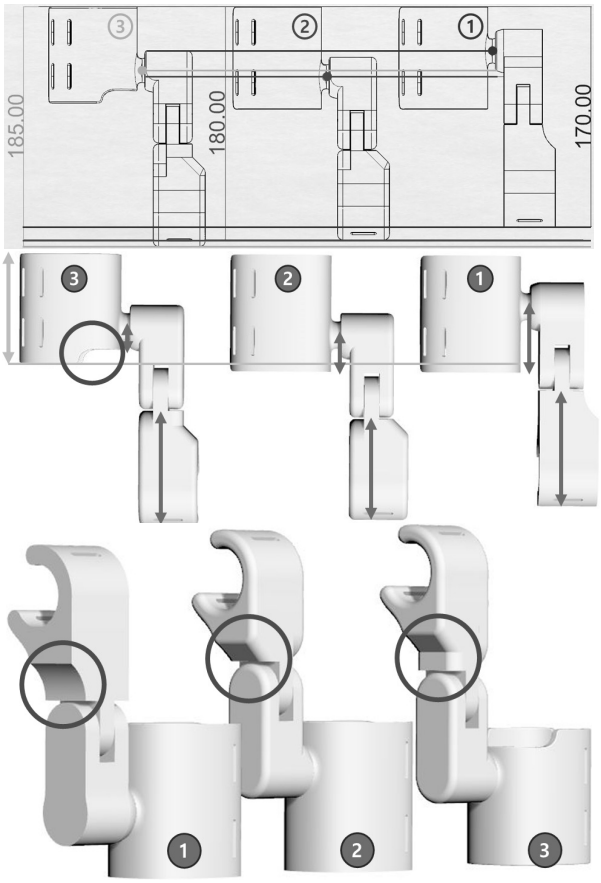


그림 7. C 선수의 1~3차 제작 장비 디자인 개선 과정 요약

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 수요자 중심 장비 제작 과정을 통해 장애인 조정 종목의 선수들을 장비 개발 과정에 적극 참여시켜 아이디어를 얻고 개인별 신체 기능 및 종목별 운동 특성을 충실히 고려한 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립을 개발하였다. 더불어 각각의 장비가 선수들의 경기력에 어떠한 영향을 미치는지 장비 착용 전후 근전도 측정 비교 분석을 통해 확인하고자 하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 장애인체육 분야에서의 3D 프린팅 개인맞춤형 장비 개발 절차는 장비 개발 연구팀 결성 및 자체 연구 회의 진행을 통한 장애인체육 장비 개발 전략 수립, 장비 사용자의 적극적인 참여를 통한 수요자 중심 장비 개발 과정 진행, 3D 프린팅을 활용한 반복적인 장비 디자인 개선 및 테스트 시행, 개인맞춤형 장비의 최종 완성 및 적용, 개발 장비의 적용 효과 검증 순으로 확인되었다.

둘째, 본 연구를 통해 제작한 3D 프린팅 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립은 장애인 조정 선수 각각의 신체 기능 및 특성에 따른 개인별 제약을 보완하고 경기력 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

본 연구는 참여 주종목, 성별, 개인적 특성 등이 상이한 3명의 국내 지체장애인 조정 선수를 대상으로 진행된 연구로 본 연구를

www.kci.go.kr

통해 제작된 개인맞춤형 노 손잡이 보조 그립의 적용 전후 근 활성도 측정 결과를 다른 대상자들에게 일반화하기에는 다소 제약이 있다. 이에 따라 후속 연구에서는 첫째, 비교적 동일한 조건의 대상자를 모집하여 연구가 진행될 경우 결과 도출 및 분석에 더욱 효과적일 것으로 판단된다. 둘째, 근 활성도 측정 외에도 실제 경기 상황에서의 기록 차이 검증 등 기타 변인에 대한 추가적인 비교 분석을 실시하여 더욱 심층적인 장비 효과 검증 과정이 진행될 필요가 있다고 사료된다.

참고문헌

강동균(2013). **바이오로어 시스템을 활용한 조정 경기력 결정요인 분석.** 미간행 박사학위논문. 한국체육대학교 대학원. 서울.

강동균, 이미숙(2013). 조정선수의 경기력에 따른 바이오로어 구간별 스트록 변화패턴 분석. **한국체육과학회지, 22**(1), 1085-1095.

구교만, 오아라(2012). 지체장애인의 생활체육 참여 제약요인 분석. **한국체육학회지, 51**(4), 447-454.

김기진(2013). 경기력 향상을 위한 효과적인 트레이닝 구성전략. **코칭능력개발지, 15**(1), 72-83.

김정현, 정의철(2015). 3D 프린터 기반의 여성용 맞춤형 중창 디자인을 위한 모델링 프로세스 제안: 235-240mm의 20대 여성을 대상으로. **한국디자인포럼, 46,** 267-277.

김천환(2017). **실전, 3D 프린팅 활용가이드.** 경기: 비제이퍼블릭.

김태완(2011). 주관절 등척성 운동에 따른 손목관절 변인이 팔근육 활성도에 미치는 영향. **한국체육과학회지, 20**(3), 1723-1730.

김현란, 변영웅, 이병서, 조우석, 이동현(2015). 도깨비 방망이, 3D 프린터. **RDA Interrobang, 141,** 1-16.

양대승(2018). 4차 산업혁명 시대에 있어서 삼차원 프린팅의 도전과 저작권의 대응. **법학논총, 35**(1), 185-214.

오은주(2008). 알기 쉬운 연구방법론(23) - 혼합연구방법론(Mixed Methods): 정성적, 정량적 방법을 교차시키기. **국토, 315,** 132-141.

윤종성, 한민규(2019). 장애인조정지도자가 인식하는 훈련의 주요요인 탐색. **스포츠 사이언스, 36**(2), 171-184.

이경준(2018). **3D 모델링 소프트웨어 활용 교육 프로그램 개발 및 적용.** 미간행 석사학위논문. 서울교육대학교 교육전문대학원. 서울.

이상현, 박상균(2013). 실내 싱글스컬 머신을 이용한 구간별 조정선수의 운동수행 평가. **스포츠 사이언스, 30**(2), 143-150.

이순호(2009). 기술동작 분석과 측정장비. **스포츠과학, 108,** 50-56.

이재원(2019). 장애인스포츠 경기력향상을 위한 수요자 중심 지원모델 제안. **한국특수체육학회지, 27**(4), 57-75.

이지석, 유성진, 최영래(2016). 장애인 엘리트 사격선수들이 지각하는 제약요인 분석. **한국특수체육학회지, 24**(2), 23-35.

장경배, 이경완, 구도훈, 은선덕(2012). 장애인 아이스하키 선수를 위한 맞춤형 아이스슬레지 개발 연구. **2012 한국재활복지공학회 정기학술대회 논문집,** 306-308.

정진완, 조창옥, 한희창, 오광진(2009). 한국형 경기용 휠체어 개발을 위한 지체장애선수의 인체측정 및 경기용 휠체어 부위별 측정. **한국특수체육학회지, 17**(2), 205-223.

조은정, 이훈혜(2014). **제조업 공정 혁신의 기폭제 3D 프린팅 산업 (2014-344).** 세종: 산업연구원.

조창옥, 김호묵(2019). 1000m 장애인 조정 경기 시 장애인 엘리트 선수들의 페이스 패턴. **한국체육학회지, 58**(1), 309-317.

최준혁(2014). 혼합적 연구방법을 활용한 상황분석의 일례. **홍보학연구, 18**(4), 169-186

허보섭, 지진구(2015). 크레아틴 구강투여가 조정선수들의 근활성도와 혈중젖산농도에 미치는 영향. **수산해양교육연구, 27**(2), 537-545.

황우석, 김현태(2019). 조정선수의 부위별 웨이트 트레이닝이 로윙 에르고미터 2,000m 수행능력에 미치는 영향. **한국웰니스학회지, 14**(4), 371-379.

Bompa, T. O., Hebbelinck, M., & Van Gheluwe, B. (1985). Force analysis of the rowing stroke employing two differing oar grips. Canadian Journal of Applied Sport sciences. *Journal Canadien des Sciences Appliquees au Sport, 10*(2), 64-67.

Creswell, J. W., Plano Clark, V. L., Gutmann, M. L., & Hanson, W. E. (2003). Advanced mixed methods research designs. In A. Tashakkori & C. Teddlie (Eds.), *Handbook of mixed methods in social and behavioral research* (pp. 209 -240). Thousand Oaks, CA: Sage.

Lieberman, E. S. (2005). Nested analysis as a mixed-method strategy for comparative research. *American Political Science Review, 99*(3), 435-452.

Vinther, A., Alkjaer, T., Kanstrup, I. L., Zerahn, B., Ekdahl, C., Jensen, K.., Holsgaard-Larsen, A., & Aagaard, P. (2013). Slide-based ergometer rowing: Effects on force production and neuromuscular activity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 23*(5), 635-644.

www.kci.go.kr

논문투고일 : 23.06.27 논문심사일 : 23.07.14 심사완료일 : 23.07.24

www.kci.go.kr