

대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2024. 03. Vol.31, No.1, pp.16-32

척수 손상 장애인 대상 장애인용 풀링 케이블 운동기구의 사용성 평가: 개선점 도출을 중심으로

김성신¹ · 최묘정¹ · 권효순¹ · 안광옥² · 배영현²

¹국립재활원 임상재활연구과 · ²국립재활원 건강보건연구과

Usability test of pulling cable exercise machine in the spinal cord injury disabled: Focusing on deriving improvement

Sung Shin Kim¹, Ph.D., · Myo Jung Choi¹, M.Sc., · Hyosun Kweon¹, Ph.D. · Kwang Ok An², Ph.D., ·
Young-Hyeon Bae², Ph.D.

¹*Dept. of Clinical Rehabilitation, Rehabilitation Research Institute, Korea National Rehabilitation Center*

²*Dept. of Healthcare and Public Health, Rehabilitation Research Institute, Korea National Rehabilitation Center*

Abstract

Background: Exercise equipments and assistive devices for the disabled are being developed, but improvements for usability are still needed. The purpose of this study was to improve and utilize the developed exercise equipment and assistance devices by conducting usability test for people with spinal cord injury.

Design: Cross-sectional Study.

Methods: Scenarios and usability indicators were derived by conducting a preliminary usability test, 5 non-disabled men and women aged 19 or older. In the scenario, a total of 9 tasks were sequentially performed, including 2 tasks of entry and exit, 5 tasks of assistance devices and weight stack adjustment, and 2 tasks of pre exercise and exercise. The usability indicators were task success (success or fail), execution time (sec), safety, and convenience. For safety, 7 questions (Likert scale, 1~5 point) related to safety, stability and hazard were derived, and for convenience, the system usability scale (SUS score) was used (range: 0~100, 50 percentile rank is 68 point).

Results: As a result of the usability test of people

with spinal cord injury, there was a large variation among subjects in the task of adjusting the position of the pulley and support in the execution time (11.64~25.44 seconds), and one person failed to adjust the pulley. The safety level showed a lower score (score = 3 points) than other items in the item of entrapment or skin pressure, and in the case of SUS, the average score was 64.5 points, which was close to the acceptable level.

Conclusion: Through the usability test, it was confirmed that exercise equipment for the disabled needs improvement in operability, pinching, and pressure, and that it is necessary to develop an assistive device that provides unrestrained posture information (biofeedback) to maintain correct posture during exercise.

Key words: Usability test, Assistance device, Spinal cord injury, Exercise equipment

교신저자

배영현

서울특별시 강북구 삼각산로 58, 국립재활원 재활연구소 404호
T: 02-901-1950, E: researcher2018@korea.kr

I. 서론

척수손상의 발생빈도는 전 세계적으로 인구 100만 명당 약 12~54명으로, 매년 미국의 경우 17,810명, 국내는 약 2,000~2,500명이 발생하는 것으로 추정되며, 매년 그 수가 증가하고 있다(Chen 등, 1997; Fitzharris 등, 2014; Shingu 등, 1992; White 등, 2020; Shin, 2020). 척수손상 장애인들은 ADL 향상 및 2차 합병증 예방, 정신건강, 사회 활동 참여, 삶의 질 향상을 위해 근력/근지구력 운동이 필수적이며, 심폐 건강을 위해 최소 일주일에 세 번 30분 동안 중등도에서 격렬한 유산소 운동이 필요하다고 제안한다(Hicks 등, 2011; Haisma, 2006; Hicks 등, 2003; Ginis 등, 2012; Pebdani 등, 2022; Anneken 등, 2010; Ditor 등, 2003; Noreau & Shephard, 1995; Martin 등, 2018). 휠체어 사용자의 근력과 지구력은 일상 활동 참여와 연관 있다고 하였으며, 이러한 의미 있는 활동 참여는 사람들과의 연결을 촉진하고 역량과 기술을 구축하며 전반적인 건강과 웰빙을 향상시키기 때문에 척수손상 장애인에게 필수적이라 하였다(Hammill 등, 2017).

이러한 운동의 이점에도 불구하고 척수손상 장애인은 일반적으로 신체활동이 훨씬 적고 체력이 낮은 경향이 있으며, 사회활동 참여율이 낮고, 비장애인보다 더 큰 수준의 고통과 삶의 질을 경험한다(Jørgensen 등, 2017; Robertson 등, 2011; Ginis 등, 2010; Labbé 등, 2019; Stumbo 등, 2011; Barclay 등, 2015; Szeliga 등, 2022; Post & van Leeuwen, 2012). 접근하기 어려운 시설과 운동기구, 제한된 전문인력 지원은 척수손상 장애인의 운동 참여에 가장 큰 장벽으로 알려져 있다(Martin 등, 2018; Dolbow & Figoni, 2015; Kehn & Kroll, 2009; Learmonth 등, 2015; Scelza 등, 2005).

척수손상 장애인이 운동 시 고려해야 할 중요한 요소는 어깨 통증을 더 이상 악화시키지 않는 것이다(Ballinger 등, 2000; Wilbanks 등, 2016). 척수손상 장애인은 일상생활 동작에서 휠체어 페달링과 자리 이동(transfer)을 위한 가슴 및 전방 어깨 근육에 크게 의존하므로, 앞-뒤 근력의 불균형으로 인한 안쪽 회전(internal rotation)이 발생하게 되며 이는 어깨 통증의 직접적인 원인으로 여겨진다(Yang 등, 2009; 정경만, 2022; 고은경, 2023). 때문에, 상지 운동은 어깨 후방 근육(예, scapular retraction, shoulder external rotation, shoulder adduction muscle)에 초점을 맞춘 운동이 효과적인 것으로 알려져 있다(Liampas 등, 2021, Troy 등, 2015; Curtis 등, 1999; 정진규, 2022; 인태성, 2023).

척수손상 장애인의 운동을 위해 상지 에르고미터(arm crank ergometer, ACE), 로잉(rowing) 머신, 케이블(cable) 운동기구 등 목적에 따라 다양한 형태의 운동기구들이 개발되어왔다. 상지 에르고미터는 상지를 주로 사용하는 척수손상 장애인에게 효과적인 근력 및 지구력 향상을 제공하지만, 휠체어 추진력에 필요한 상지의 앞쪽 근육에 초점 되어 있으며, 수동 휠체어를 사용하는 척수손상 장애인의 어깨 통증과 안쪽회전, 전방 머리 자세 및 후만을 악화시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Pelletier, 2014; Faupin 등, 2010; Litzemberger 등, 2016; Quittmann 등, 2018). 로잉 머신의 경우 체육 시설에서 흔히 볼 수 있으며, 효과적으로 어깨 후면의 바깥 회전근을 강화할 수 있으나, 척수손상 장애인이 좌석으로 자리 이동(transfer)이 어렵고, 좌석에 앉은 자세에서 몸통의 바른 자세를 유지하기 힘들다는 단점이 있다(Nawoczinski 등, 2006; Lamont, 2011). 하지만, 케이블 운동기구는 휠체어를 탑승한 채 진입하여 운동 할 수 있어 자리 이동 동작이 필요치 않으며, 폴리의 높이 조절을 통해 다양한 어깨 후면 근육의 근력을 집중 강화시키는데 효과적이다.

휠체어 사용자의 장애 유형에 따른 다양한 수준의 신체 기능을 고려할 때, 일반적인 비장애인용 운동기구 사용은 제한되며, 장애인과 비장애인이 함께 사용할 수 있는 유니버설 디자인의 적용 및 자세를 보조할 수 있는 보조장치가 필요하다고 하였다(Rimmer 등, 2017; van den Akker, 2020). 특히, 척수손상 장애인에게 보조장치는 골반과

몸통의 바른 자세와 조절에 도움을 주며, 목과 허리의 통증을 줄이고, 양손의 활용을 높이며, 호흡의 개선에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다(Caneiro 등, 2010; Schüldt 등, 1986; Triolo 등, 2009; Sinderby 등, 1992).

최근 운동기구를 활용한 운동 시 골반과 몸통의 바른 자세를 돕는 보조장치 개발이 활발히 이루어지고 있다. 국외를 예를 들면, 척수손상 환자들의 Rowing 운동 시 골반과 몸통 지지를 위한 보조장치가 접목된 aROW (adaptive rowing machine), 스키 추진 동작과 유사한 움직임을 통해 앉은 자세에서 효과적으로 후방 근육 운동이 가능한 aSKI (adaptive ski machine)가 개발되었으며(Sawatzky 등, 2022; Wong 등, 2022; SPINAL CORD INJURY BC 2021), 국내에서는 케이블 운동기구에 장애인들의 골반과 몸통을 안정적으로 지지하기 위해 전방에 가슴과 골반의 지지대가 포함된 운동기구인 RX-Anterior가 개발되었다(임정수, 2019).

사용성은 특정 의도된 맥락 내에서 제품의 효율성, 유효성 및 만족도에 대한 사용자의 인식 조합으로 정의되며, 새로운 기술의 활용을 촉진하는데 중요하다고 하였다(Sauro & Lewis, 2016; Wong, 2022). 현재까지 국내·외 개발된 운동기구와 보조장치는 기구의 형태와 조작부, 구동부 방식 등이 다양하게 디자인되어 각기 다른 사용성을 가지고 있으며, 각각의 기구에 맞는 시나리오 설정과 효율성, 유효성 및 만족도 등의 지표를 활용한 사용성 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 장애인용 폴링 케이블 운동기구의 사용성 평가를 통해 운동기구와 보조장치의 개선점을 도출하고자 하며, 향후 보조장치 개발에 참고자료로 활용되어 척수손상 장애인들이 운동기구 활용에 도움을 주고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구대상자 수는 대부분의 사용성 평가에 관련된 문제는 5~8명 사이에서 80%~90% 찾을 수 있다고 보고한 결과를 통해 사용성 평가를 위한 척수손상 장애인 5명을 대상으로 하였다(Esteve 등, 2021; Virzi, 1992). 선정기준은 신경학적 손상부위 흉추 1번 이하 및 ASIA Impairment Scale (AIS) 등급 A 또는 B이며(ISNCSCI, 2019; Reft & Hasan, 2002), 어깨 및 팔꿈치, 손목, 손가락 굵힘근 근력이 Fair 이상으로 케이블 운동기구 및 보조장치를 스스로 조작하는데 문제가 없는자, 사용성 평가의 목적 및 특성에 대한 설명과 설문지 및 인터뷰의 질문을 이해하고 자발적으로 참여에 동의한 자이다. 운동 시 하지에 운동을 방해할 정도의 심한 경직(spasticity)이 있는자, 임신부, 지적 장애가 있거나 의사소통이 어려운 자, 근골격계 손상 등으로 인해 연구수행이 어려운 자, 연구에 동의하지 않는 자는 제외하였다.

2. 폴링 케이블 운동기구 및 보조장치

폴링 케이블 운동기구는 시판중인 RX-101 (JW Global, Korea) 운동기구이며, 보조장치는 이와 결합된 골반 및 몸통의 지지대이다. 본 운동기구는 척수손상 장애인이 휠체어를 탄 상태에서 진입할 수 있도록 고안되었다[그림 1]. 특징으로는 휠체어를 타고 활동하는 장애인을 고려하여 높이가 낮으며, 근육운동 시 보다 세밀한 부하를

조절할 수 있도록 무게판(weight stack)의 경우 500g씩 조절이 가능하도록 설계되었다. 풀리 손잡이의 경우 좌-우 양쪽 기둥(column) 높이에 5cm 간격으로 파여진 홀과 고정핀을 통해 높이를 조절할 수 있으며, 기구 전방에 골반 및 가슴을 지지할 수 있는 2개의 지지대로 구성되어 있다.

보조장치는 전방에 연결된 철제 프레임에 연결되어 사용자의 상지 운동 시 허벅지 및 골반과 가슴을 안정되게 고정하는 역할을 한다. 골반 지지대의 경우 롤러 형태의 쿠션으로 허벅지 및 골반을 위에서 고정 후에도 쉽게

뒤로 빠져나갈 수 있는 구조로 되어 있으며, 가슴 지지대의 경우 탄력이 있는 밴드로 되어있어 운동 시 사용자의 몸통을 효과적으로 지지하도록 설계되었다[Figure 1].



Figure 1. Weight pulley exercise machine with assistance device

3. 연구절차

연구절차는 예비사용성 평가 준비, 예비 사용성 평가(비장애인 대상) 및 시나리오/지표 검증/수정, 사용성 평가(척수손상 장애인 대상), 평가 결과 분석 순으로 진행하였다[Figure 2]. 본 연구를 시작하기 전에 모든 연구자들은 Helsinki 선언에 입각하여 연구절차를 이행하였으며, 기관생명윤리위원회 심의 (NRC-2021-06-048, NRC-2022-04-032)을 받고 진행하였다.

본 사용성 평가에 앞서 시나리오 및 평가 지표 검증을 위해 20세부터 59세까지 비장애인 성인 남녀 5명을 대상으로 예비 사용성 평가(Preliminary usability test)를 수행하였다[Table 1]. 예비 사용성 평가를 통해 사용성 평가(summative usability test) 시나리오 및 평가 지표를 검증하였다[Figure 2].

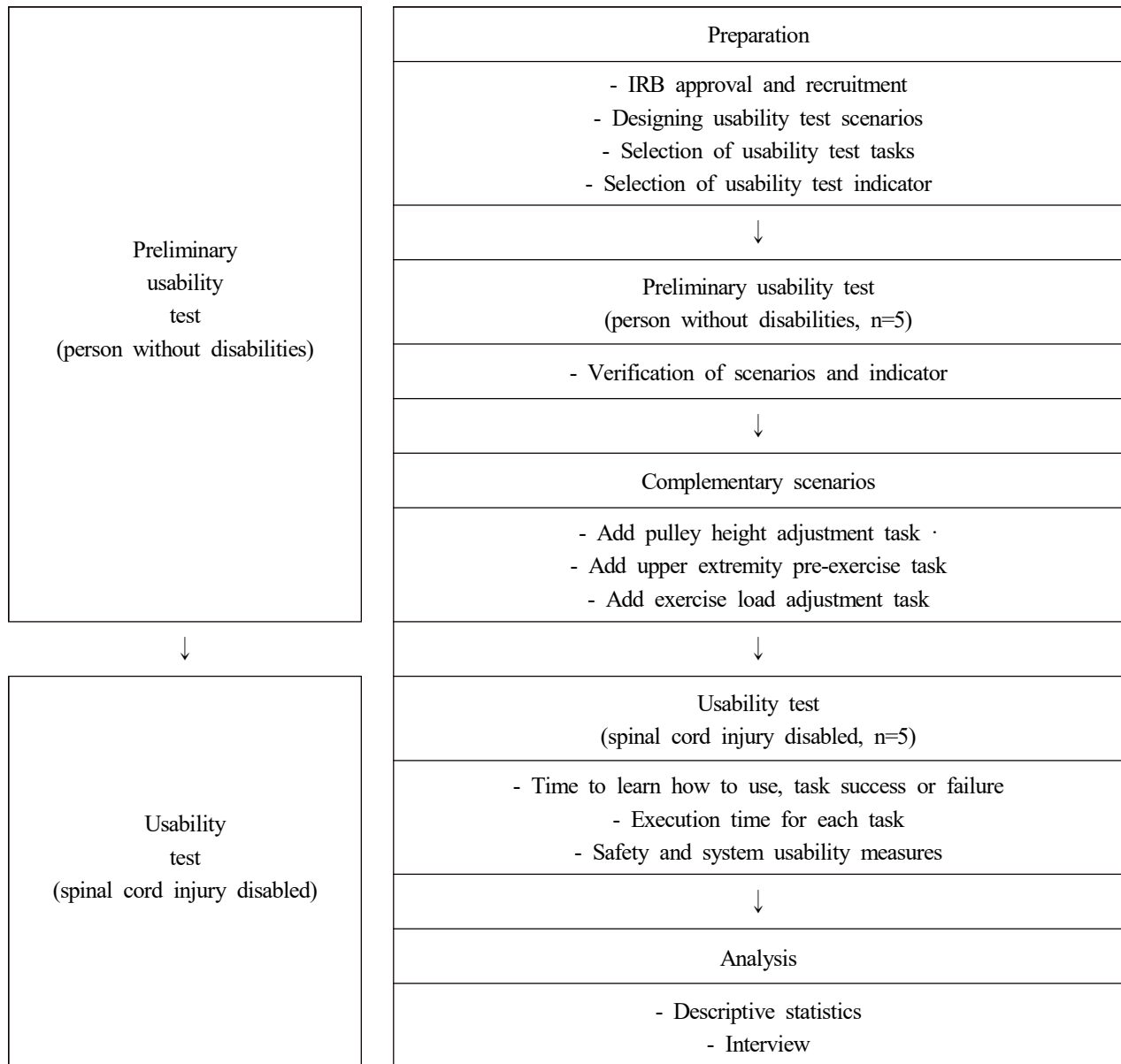


Figure 2. Study procedure

Table 1. Achievement of task performance and time

Step	Description
Orientation (10 min)	<ul style="list-style-type: none"> ·Usability evaluation purpose and contents explained, agreement obtained ·Record gender, date of birth, height and weight ·Explanation on how to board and operate the wheelchair
↓	
Information (5 min)	<ul style="list-style-type: none"> ·Provide a brief description of exercise equipment for the disabled along with a manual
↓	
Browse (10 min)	<ul style="list-style-type: none"> ·Allows the user to freely observe the product by looking at the product user manual before testing ·Maximum muscle strength measurement (1RM*, using weight pulley exercise equipment)
↓	
Task (25 min)	<ol style="list-style-type: none"> ① Enter the exercise equipment with wheelchair ② Pulley handle adjustment ③ Pelvic support adjustment ④ Chest support adjustment ⑤ Preliminary exercise ⑥ Weight change ⑦ Fix the trunk with elastic band ⑧ Perform main exercises* ⑨ Release the elastic band and exit <p>* Preliminary/Main exercise (40% of 1rm, 20 reps, upper extremity pulling motion)</p>
↓	
Interview (10 min)	<ul style="list-style-type: none"> ·Safety and system usability evaluation

1RM: One-repetition maximum

예비 사용성 평가 시나리오는 사용성 평가 목적 및 동의서 획득을 위한 오리엔테이션과 제품 설명, 과제 수행, 인터뷰의 순서로 진행된다. 과제 수행의 경우 총 9가지 세부 과제(입장과 퇴장, 손잡이 및 지지부, 무게추 조작, 예비운동 및 본 운동)로 구성되었으며, 이후 인터뷰를 통해 안전성 및 시스템 사용성 평가 설문을 수행하도록 구성하였다[Table 1].

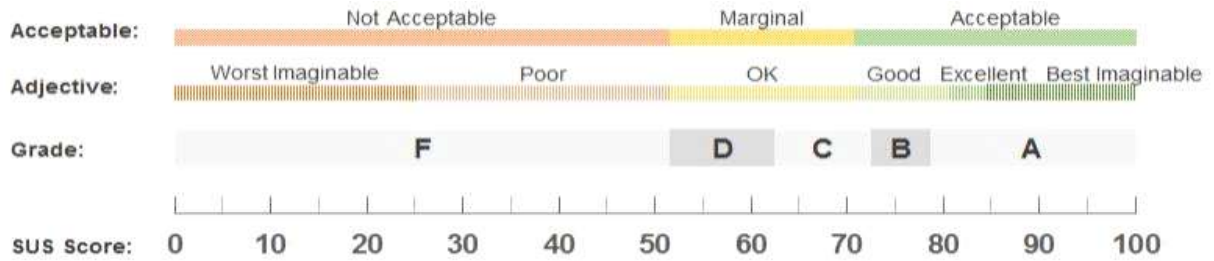


Figure 3. Usability test scenarios

3.1.1. 사용법 숙지 시간

사용설명서를 읽고 제품의 착용 및 조작에 대한 전반적인 이해를 하는데 소요되는 시간을 초시계로 측정하였다.

3.1.2. 과제 성공 또는 실패 여부

장애인용 폴딩 케이블 운동기구 및 보조장치 사용성 평가 관련 세부 과제마다의 성공 또는 실패 여부에 대한 점수를 표기하였다(Lee 등, 2017)[Table 2].

Table 2. Achievement of task performance (success or failure)

Success	Mark	Score	Assessment
Complete	S	100	Succeed easily without difficulty or hesitation in performing the task
Partial	P1	75	If the task is successfully completed after the facilitator informs the relevant menu or crucial hints about the task
	P2	50	In the case of performing a task, but encountering a major error factor in the course of performing the task
Failure	F	0	Failing to complete a task or abandoning a task due to a fatal error
Except	E	-	If the task is performed regardless of the intention of the task

3.1.3. 과제별 수행시간

기존 장애인용 운동기구 사용성 평가 관련 9개 과제를 수행하는데 소요되는 시간을 초시계로 측정하였다.

3.1.4. 안전성

안전성 관련 평가는 '고령친화제품 사용성 평가 지표 개발 연구'의 안전성 지표를 참고하였다(전성철 등, 2019). Q1부터 Q7까지 총 7개의 문항으로 되어있으며, 5점 리퀴트 척도를 사용 하였다[Table 3].

Table 3. Safety evaluation

Category	Details	N ~ P
Safety	(Q1) Is it well fixed without departing from the initial fixed position during exercise?	① ~ ⑤
	(Q2) Is it strong enough to maintain a correct posture during exercise?	① ~ ⑤
	(Q3) Are the user's hands, arms, fingers, etc. safe from being caught or pressed by the assistive device when wearing the assistive device?	① ~ ⑤
	(Q4) Does it help maintain correct posture during upper extremity exercise?	① ~ ⑤
	(Q5) Does it help to stably support the torso during exercise?	① ~ ⑤
	(Q6) Is it safe without risk of damage to the skin upon contact and long-term use?(Scratches, tears, friction, etc. due to product finishing, Velcro, etc.)	① ~ ⑤
	(Q7) In the case of a belt, is it safe without body pressure or pinching in the belt area?	① ~ ⑤

3.1.5. 시스템 사용성 척도(System Usability Scale, SUS)

SUS는 다양한 제품 또는 서비스의 사용성을 평가하는 빠르고 효과적인 방법을 제공하며, 허용 가능한 수준의 타당도와 민감도를 가지고 있으며, 내적 일치도는 0.9이상이다(Brooke, 2013). 문항은 총10개이며, 5점 척도로 구성되어 있다(1점 = 전혀 동의할 수 없음, 5점 = 매우 동의함). 홀수 문항은 긍정적인 질문이고 짝수 문항은 부정적인 질문으로 홀수 문항은 점수가 높을수록, 짝수 문항은 점수가 낮을수록 사용성이 좋은 시스템을 의미한다 (Brooke, 2013)[표 3]. 결과값은 각 항목마다 2.5 곱하여 최종 0점(매우 나쁜 사용성)에서 100점(훌륭한 사용성)사이의 백분위 점수로 환산하였으며 등급(grade)과 허용수준(acceptable), 권장사항(adjective)에 따라 분류하였다 (Sauro, 2011; Kim 등, 2022)[Figure 4][Table 4].

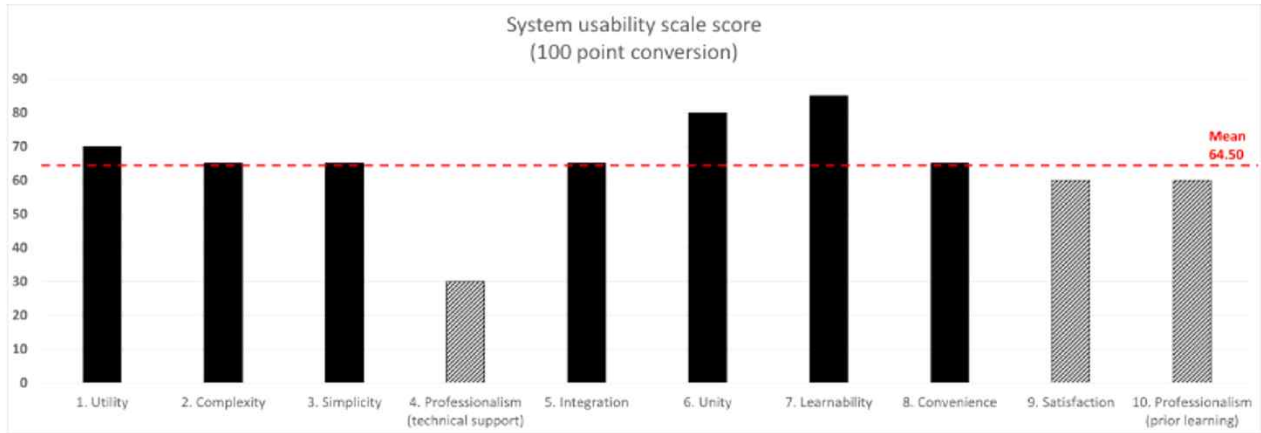


Figure 4. System usability scale scores and standards

Table 4 System usability scale score classification

Grade Scale	Range	Adjective Rating	Acceptance Level	Recommendation
A+	84.1-100	Best imaginable		Recommendable
A	80.8-84.0			
A-	78.9-80.7	Excellent	Acceptable	Neutral
B+	77.2-78.8			
B	74.1-77.1			
B-	72.6-74.0			
C+	71.1-72.5	Good	Nearly acceptable	Unrecommendable
C	65.0-71.0			
C-	62.7-64.9			
D	51.7-62.6	Fair		

2.2. 사용성 평가

하반신 마비 장애인 5명을 대상으로 예비 사용성 평가를 바탕으로 보완된 시나리오를 이용한 사용성 평가를 시행하였다. 평가 시나리오에 따라 실험에 대한 설명 및 동의서 획득 이후 제품 설명, 제품 둘러보기 및 과제 수행 동안 사용법 숙지 시간 및 과제의 성공 실패 및 수행시간을 측정하였다[Figure 2]. 이후 안전성 및 SUS 평가를 수행하고, 보조장치에 대한 전반적으로 느낀 점에 대한 인터뷰를 진행하였다.

2.3. 자료분석

모든 자료는 SPSS 21.0 소프트웨어를 사용하여 분석하였다. 피험자의 일반적 특성 및 수행시간, 안전성 평가, SUS는 평균과 표준편차를 구하였고, 성공/실패 여부는 빈도를 산출하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 연구대상자의 일반적 특성

척수손상 장애인은 남성이 3명(60%), 여성이 2명(40%)이었고, 평균 연령은 41.4 ± 8.53 세 였으며, 평균 신장(키)이 167 ± 10.58 cm 이었다. 손상 부위는 흉추 5번~6번이 1명, 흉추 8번~9번이 2명, 흉추 10번 1명, 요추 1번이 1명 이었다.

2. 과제 수행시간 및 성공/실패 여부 결과

과제 수행시간의 경우 풀리 높이 조절, 가슴/골반 지지대 조절, 무게조절에서 편차가 가장 컸으며($11.64 \sim 25.44$ 초), 풀리 높이조절, 골반지지대 조절에서 1명의 실패가 있었다[Table 5].

Table 5. Achievement of task performance and time

	S/F (N)	SCI (n=5) Time (s) Mean \pm SD
Understand (how to use)	5/0	33.20 \pm 16.80
Enter the exercise equipment with wheelchair	5/0	8.00 \pm 3.54
Pulley handle adjustment	4/1	40.00 \pm 12.62
Pelvic support adjustment	4/1	38.50 \pm 25.44
Chest support adjustment	5/0	31.60 \pm 15.95
Weight change	5/0	38.00 \pm 17.15
Fix the trunk with elastic band	5/0	19.60 \pm 5.86
Perform main exercises	5/0	38.00 \pm 11.64
Release the elastic band and exit	5/0	14.80 \pm 4.15

S: success, F: failure, SD: standard deviation, SCI: spinal cord injury, N: number

3. 안전성 평가 결과

안전성 평가 결과 Q1의 ‘운동 시 초기 위치에서 떨어지지 않고 잘 고정되어 있는가?’와 Q2의 ‘자세를 유지하기에 충분히 견고한가?’, Q4의 ‘상지 운동을 하는 동안 바른자세 유지를 도와주는가?’, Q5의 ‘운동 중 몸통을 안정적으로 지지하는가?’ 항목의 경우 모두 동일하게 평균 4.40 ± 0.55 점을 나타냈으며, Q7의 ‘벨트의 경우 찢힘이나 압박에 안전한가?’ 항목은 평균 3.80 ± 1.10 점을 나타냈다. 총 7개 항목 중에서 Q3의 ‘기구를 착용할 때 사용자의

손이나 팔, 손가락 등이 끼이거나 압박되지 않는가?’ 항목은 평균 3.00 ± 1.00점 이었으며, Q6의 ‘장시간 사용 시 피부 접촉부에 손상이 있지 않는가?(제품 마감이나 벨크로 등에 의한 긁힘, 찢어짐, 마찰 등)’ 항목은 평균 3.00 ± 0.71점으로 나머지 5개 항목의 점수(평균 3.80점 ~ 4.40점) 보다 낮은 점수를 나타냈다[Table 6].

Table 6. Safety evaluation and SUS results

Usability scale	Questionnaire	SCI (n=5) Time (s) Mean ± SD	
Safety	Safety of use	Q1	4.40 ± 0.55
		Q2	4.40 ± 0.55
		Q3	3.00 ± 1.00*
	Stability	Q4	4.40 ± 0.55
		Q5	4.40 ± 0.55
	Hazard	Q6	3.00 ± 0.71*
		Q7	3.80 ± 1.10
SUS (conversion score, 0 ~ 100)		64.50 ± 21.61	

4. 시스템 사용성 척도 평가 결과

시스템 사용성 평가 결과는 그림 4와 같다. 전체 항목에 대한 점수는 평균 64.5점으로 허용 수준에서 '거의 허용 가능'에 해당되었다[Table 7].

Table 7 System usability scale score classification

Grade Scale	Range	Adjective Rating	Acceptance Level	Recommendation	
A+	84.1-100	Best imaginable	Acceptable	Recommendable	
A	80.8-84.0				
A-	78.9-80.7				
B+	77.2-78.8	Excellent		Neutral	
B	74.1-77.1				
B-	72.6-74.0	Good			
C+	71.1-72.5				
C	65.0-71.0				
C-	62.7-64.9	Fair	Nearly acceptable		Unrecommendable
D	51.7-62.6				

IV. 논 의

본 연구에서는 장애인용 폴딩 케이블 운동기구의 예비 사용성 평가를 통해 장애인용 운동기구의 개선점을 도출하고자 하였다. 과제 수행 시간의 경우 대상자간 편차가 가장 심한 과제는 1)골반 지지대 조절(25.44초), 2) 무게 변경(17.15초), 그리고 3)가슴 지지대 조절(15.95초) 순이었다.

폴리나 지지대의 위치 조절의 경우 힘이 약한 여성 그리고 상대적으로 상위 레벨의 손상(T9)의 피험자에게서 두드러지게 나타났으며, 지지대가 무겁고 조작부가 뻣뻣하여 많은 시간이 소요되었다(폴리 손잡이 조절:40초, 가슴 지지대 조절: 38.5초). 이는 수행 과제의 성공·실패 여부에도 같은 원인으로 확인되었다. 폴리 높이 조절의 경우 하지와 몸통의 마비가 있는 척수손상 장애인의 경우 양팔을 동시에 사용해서 조작하는 것은 불가능하며, 반드시 한쪽 팔은 운동기구 등을 지지한 상태에서 조작한다는 점을 볼 때, 양손이 아닌 한 손으로 위치를 조절하는 설계가 필요하다. 또한 지지대 자체 하중에 의해 조작 시 갑작스럽게 떨어져 페드가 아닌 금속 부분이 신체에 충격을 주어 외상 위험이 존재하였다. 가벼운 지지대와 조작 레버의 장력 및 마찰력 감소, 편리한 스트랩 고정방법이 필요하며, 기타 손이 닿지 않는 손잡이의 경우 조작을 통해 줄을 당겨주어 손잡이가 몸 가깝게 위치할 수 있는 구조적인 설계 개선이 필요하다.

안전성 평가에서 낮은 점수를 받은 Q3 번과 Q6 번은 모두 신체 끼임 및 압박과 관련된 요소로[표 2] 지지대와 몸통 고정 스트랩이 운동 시 몸통의 안정성은 높였으나, 압박과 끼임에 대한 위해 요소를 함께 증가시킨 것으로 보인다. 향후 운동 보조장치는 직접적으로 신체를 지지하거나 압박하는 형태가 아닌 자세 정보를 제공하거나 바이오피드백(biofeedback) 등으로 보조하는 것으로의 보조장치의 관점 전환이 필요할 것으로 보인다.

시스템 사용성 평가 척도 결과는 64.5점으로 거의 허용가능(nearly acceptable) 수준이나, 등급은 C 등급으로 사용성이 낮은 것으로 나타났다. 이는 Usability.gov에서의 사용성 평가 점수의 평균 점수인 68점을 기준으로 3.5점 낮은 백분위수(percentile) 40에 해당된다(<https://measuringu.com/interpret-sus-score/>). 기존 Wong 등(2022)의 연구에서 로잉 머신의 보조장치 시스템 사용성 결과인 83.21점과 비교 시 낮은 결과를 나타냈다. 이는 선행 연구 피험자의 손상 수준(8명의 흉추레벨, 2명의 요추레벨, 2명의 경추레벨 척수손상, 1명의 다발성경화증, 1명의 이분척수증)과 본 연구의 피험자의 손상 수준(척수손상 흉추 1번 이하 운동 완전 손상)과 남녀 성비의 차이(선행 연구 14명 중 3명이 여성, 본 연구 5명 중 2명이 여성)로 보인다. 여성은 상대적으로 남성 보다 보조장치를 조작하는데 많은 시간이 소요되고, 2명 중 1명이 핸들 높이 조절과 골반 지지부 조작에서 실패하였으며, 이러한 결과는 사용성에서 낮은 점수와 관련이 있는것으로 보인다. 또한 선행 연구의 보조장치는 골반 지지대 1개의 조작부로 구성되어 있으나, 본 연구에서의 보조장치는 손잡이, 가슴지지대, 골반지지대, 가슴스트랩, 무게추 등 조작부가 5개로 선행연구와 비교 시 5배 많은 조작 과제들로 되어있어 보다 복잡하고 많은 도움을 필요로했기 때문에 낮은 점수가 나온 것으로 보인다. 이는 전문가의 도움이 필요하다는 Q4번 항목의 낮은 점수와 관련있는 것으로 보인다.

시스템 사용성 척도 평가 결과 장애인용 폴딩 케이블 운동기구는 기술자(전문가)의 도움이 필요하며(Q4번 항목, 3점), 만족스럽지 못하고 어렵다는 결과를 바탕으로 여전히 사용 편의성 및 자립의 측면에서 개선되어야 할 부분이 있음을 시사한다.

본 연구의 제한점은 보다 많은 수의 다양한 손상레벨에서의 피험자를 대상으로 하지 못하였으며, 향후 본 연구 결과를 바탕으로 개선된 보조장치 개발이 필요하며, 개선된 보조장치의 사용성 비교와 척수손상 장애인이 보조장치를 사용하여 운동 시 안정된 자세유지와 이를 통한 운동 효율 향상에 대한 유효성 검증 연구가 더 필요할 것이다.

V. 결론

본 사용성 평가를 통해 장애인용 폴딩 케이블 운동기구 및 보조장치는 조작 및 편의성의 개선이 필요하며, 보조장치는 장애인의 바른자세 운동에 도움을 주는 신체 비 속박 형태의 자세정보제공 (바이오피드백)의 적용이 필요할 것이다.

【감사의 글】

본 연구는 보건복지부 지능형 재활운동체육 중개연구사업(#TRSRE-IN11)의 지원으로 쓰인 것임.

참고문헌

- 고은경. 어깨뼈 아래쪽돌림 증후군이 있는 대상자에게서 등근어깨각, 어깨뼈 아래 돌림비율과 아래등세모근 근력과의 상관관계. 대한물리치료과학회지. 2023;30(3):14-22.
- 인태성. 테이핑을 병행한 어깨뼈 설정 운동이 뇌졸중 환자의 근활성 및 상지 기능에 미치는 효과. 대한물리치료과학회지. 2023;30(2):43-51.
- 임정수. 척수손상 장애인용 웨이트 트레이닝 기구. 대한민국특허 10-2022567, 2019
- 전성철, 황현석, 정진, 이정민. 고령친화제품 사용성평가 지표 개발연구. 한국보건산업진흥원. 2019
- 정경만, 정유진. 휠체어 몸통 훈련이 급성기 뇌졸중 환자의 낙상 효능감, 낙상 위험도, 일상생활활동에 미치는 영향: 무작위 대조군 예비 연구. 대한물리치료과학회지. 2022;29(3):1-11.
- 정진규, 박재철. 다양한 지지면에서 푸쉬업 플러스 운동이 20대 건강한 성인의 어깨 안정화 근육 두께에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2022;29(3):48-55.
- Anneken V, Hanssen-Doose A, Hirschfeld S, Scheuer T, Thietje R. Influence of physical exercise on quality of life in individuals with spinal cord injury. Spinal cord 2010;48(5):393-399.
- Ballinger DA, Rintala DH, Hart KA. The relation of shoulder pain and range-of-motion problems to functional limitations, disability, and perceived health of men with spinal cord injury: A multifaceted longitudinal study. Archives of physical medicine and rehabilitation 2000;81(12):1575-1581.
- Barclay L, McDonald R, Lentin P. Social and community participation following spinal cord injury: A critical review. International Journal of Rehabilitation Research 2015;38(1):1-19.
- Brooke J. Sus: A retrospective. Journal of usability studies 2013;8(2):29-40.
- Caneiro JP, O'Sullivan P, Burnett A, Barach A, O'Neil D, Tveit O, Olafsdottir K. The influence of different sitting postures on head/neck posture and muscle activity. Manual therapy 2010;15(1):54-60.
- Chen H-, Chiu W, Chen S-, Lee L-, Hung C-, Hung C-, Wang Y-, Hung C-, Lin L-, Shih Y-. A nationwide epidemiological study of spinal cord injuries in taiwan from july 1992 to june 1996. Neurological research
-

- 1997;19(6):617-622.
- Curtis KA, Tyner TM, Zachary L, Lentell G, Brink D, Didyk T, Pacillas B. Effect of a standard exercise protocol on shoulder pain in long-term wheelchair users. *Spinal cord* 1999;37(6):421-429.
- Ditor D, Latimer A, Martin Ginis K, Arbour K, McCartney N, Hicks A. Maintenance of exercise participation in individuals with spinal cord injury: Effects on quality of life, stress and pain. *Spinal cord* 2003;41(8): 446-450.
- Dolbow DR, Figoni SF. Accommodation of wheelchair-reliant individuals by community fitness facilities. *Spinal Cord* 2015;53(7):515-519.
- Exteve S, Forkey D, Clark S. Human Factors Testing Sample Size Requirements: Is it Time to Reevaluate? In *Proceedings of the International Symposium on Human Factors and Ergonomics in Health Care* 2021;10(1):243-246.
- Exercise options: A unique multi-institution research collaboration here in bc continues to expand peer options for new and better cardio equipment - in the home and the gym., in: *the spin, SPINAL CORD INJURY BC*, 2021:24-26.
- Faupin A, Gorce P, Watelain E, Meyer C, Thevenon A. A biomechanical analysis of handcycling: A case study. *Journal of applied biomechanics* 2010;26(2):240-245.
- Fitzharris M, Cripps RA, Lee B. Estimating the global incidence of traumatic spinal cord injury. *Spinal cord* 2014;52(2):117-122.
- Ginis KAM, Jörgensen S, Stapleton J. Exercise and sport for persons with spinal cord injury. *Pm&r* 2012;4(11): 894-900.
- Ginis KAM, Latimer AE, Arbour-Nicitopoulos KP, Buchholz AC, Bray SR, Craven BC, Hayes KC, Hicks AL, McColl MA, Potter PJ. Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part i: Demographic and injury-related correlates. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 2010;91(5):722-728.
- Haisma JA, Bussmann JB, Stam HJ, Sluis TA, Bergen MP, Dallmeijer AJ, de Groot S, van der Woude LH. Changes in physical capacity during and after inpatient rehabilitation in subjects with a spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 2006;87(6):741-748.
- Hammill H, Swanepoel M, Ellapen T, Strydom G. The health benefits and constraints of exercise therapy for wheelchair users: A clinical commentary. *African journal of disability* 2017;6(1):1-8.
- Hicks A, Martin Ginis K, Pelletier C, Ditor D, Foulon B, Wolfe D. The effects of exercise training on physical capacity, strength, body composition and functional performance among adults with spinal cord injury: A systematic review. *Spinal cord* 2011;49(11):1103-1127.
- Hicks A, Martin K, Ditor D, Latimer A, Craven C, Bugaresti J, McCartney N. Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: Effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal cord* 2003;41(1):34-43.
- Jörgensen S, Martin Ginis K, Lexell J. Leisure time physical activity among older adults with long-term spinal cord injury. *Spinal Cord* 2017;55(9):848-856.
- Kehn M, Kroll T. Staying physically active after spinal cord injury: A qualitative exploration of barriers and facilitators to exercise participation. *BMC Public Health* 2009;9(1):1-11.
- Kim JH, Bae YH, Kim SS, Lee M, Ho SH. Formative Usability Evaluation of a Three-Way Digital Healthcare System

- for the People with Disabilities and Their Caregivers: A Cross-Sectional Study. *Healthcare* 2022;10(11):2325.
- Labbé D, Miller WC, Ng R. Participating more, participating better: Health benefits of adaptive leisure for people with disabilities. *Disability and health journal* 2019;12(2):287-295.
- Lamont LS. A simple ergometer modification can expand the exercise options for wheelchair clients. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 2011;6(2):176-178.
- Learmonth YC, Rice IM, Ostler T, Rice LA, Motl RW. Perspectives on physical activity among people with multiple sclerosis who are wheelchair users: Informing the design of future interventions. *International journal of MS care* 2015;17(3):109-119.
- Lee BJ, Kweon OS, Kim AJ, Kim SH. A Case Study on the Usability Evaluation of Shoulder CPM for Patients Who Need Upper Rehabilitation. *Journal of the Korean Society Design Culture* 2017;23(1):417-426.
- Liampas A, Neophytou P, Sokratous M, Varrassi G, Ioannou C, Hadjigeorgiou GM, Zis P. Musculoskeletal pain due to wheelchair use: A systematic review and meta-analysis. *Pain and therapy* 2021;10(2):973-984.
- Litzenberger S, Mally F, Sabo A. Biomechanics of elite recumbent handcycling: A case study: Influence of backrest position, crank length and crank height on muscular activity and upper body kinematics. *Sports Engineering* 2016;19:201-211.
- Martin Ginis KA, Van Der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, Barrow A, Bourne C, Carruthers P, Bernardi M, Ditor DS, Gaudet S, De Groot S. Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: An update and a new guideline. *Spinal cord* 2018;56(4):308-321.
- Nawoczenski DA, Ritter-Soronon JM, Wilson CM, Howe BA, Ludewig PM. Clinical trial of exercise for shoulder pain in chronic spinal injury. *Physical therapy* 2006;86(12):1604-1618.
- Noreau L, Shephard RJ. Spinal cord injury, exercise and quality of life. *Sports Medicine* 1995;20:226-250.
- Pebdani RN, Leon J, Won DS, deLeon RD, Dy CJ, Forsyth R, Keslacy S. "It helps me with everything": A qualitative study of the importance of exercise for individuals with spinal cord injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation* 2022;28(2):176-184.
- Pelletier C, Ditor D, Latimer-Cheung A, Warburton D, Hicks A. Exercise equipment preferences among adults with spinal cord injury. *Spinal Cord* 2014;52(12):874-879.
- Post M, van Leeuwen CM. Psychosocial issues in spinal cord injury: A review. *Spinal cord* 2012;50(5):382-389.
- Quittmann OJ, Meskemper J, Abel T, Albracht K, Foitschik T, Rojas-Vega S, Strüder HK. Kinematics and kinetics of handcycling propulsion at increasing workloads in able-bodied subjects. *Sports Engineering* 2018;21: 283-294.
- Reft J, Hasan Z. Trajectories of target reaching arm movements in individuals with spinal cord injury: Effect of external trunk support. *Spinal Cord* 2002;40(4):186-191.
- Rimmer JH, Padalabalanarayanan S, Malone LA, Mehta T. Fitness facilities still lack accessibility for people with disabilities. *Disability and health journal* 2017;10(2):214-221.
- Robertson T, Bucks RS, Skinner TC, Allison GT, Dunlop SA. Barriers to physical activity in individuals with spinal cord injury: A western australian study. *The Australian Journal of Rehabilitation Counselling*. 2011;17(2): 74-88.
- Sauro J, Lewis JR. Quantifying the user experience: Practical statistics for user research. Morgan Kaufmann. 2016
- Sauro J. A practical guide to the system usability scale: Background, benchmarks & best practices. *Measuring Usability LLC*. 2011
-

- Sawatzky B, Herrington B, Choi K, Ben Mortenson W, Borisoff J, Sparrey C, Laskin JJ. Acute physiological comparison of sub-maximal exercise on a novel adapted rowing machine and arm crank ergometry in people with a spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2022;60(8):694-700.
- Scelza WM, Kalpakjian CZ, Zemper ED, Tate DG. Perceived barriers to exercise in people with spinal cord injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2005;84(8):576-583.
- Schüldt K, EKHOLM J, Harms-Ringdahl K, NÉMETH G, ARBORELIUS UP. Effects of changes in sitting work posture on static neck and shoulder muscle activity. *Ergonomics*. 1986;29(12):1525-1537.
- Shin H. Etiology and epidemiology of spinal cord injury in Korea. *Journal of the Korean Medical Association/Taehan Uisa Hyophoe Chi* 2020;63(10)
- Shingu H, Ohama M, Ikata T, Katoh S, Akatsu T. A nationwide epidemiological survey of spinal cord injuries in Japan from January 1990 to December 1992. *Spinal Cord* 1995;33(4):183-188.
- Sinderby C, Ingvarsson P, Sullivan L, Wickström I, Lindström L. The role of the diaphragm in trunk extension in tetraplegia. *Spinal Cord*. 1992;30(6):389-395.
- Stumbo NJ, Wang Y, Pegg S. Issues of access: What matters to people with disabilities as they seek leisure experiences. *World Leisure Journal*. 2011;53(2):91-103.
- Szeliga E, Brzozowska-Magoń A, Borys R, Wolan-Nieroda A, Walicka-Cupryś K. The relationship between physical activity level and functional status of subjects with high spinal cord injury. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(3):1787.
- The 2019 revision of the international standards for neurological classification of spinal cord injury (ISNCSCI)—what's new?. *Spinal Cord*. 2019;57(10):815-817.
- Triolo RJ, Boggs L, Miller ME, Nemunaitis G, Nagy J, Bailey SN. Implanted electrical stimulation of the trunk for seated postural stability and function after cervical spinal cord injury: A single case study. *Archives of physical medicine and rehabilitation*.. 2009;90(2):340-347.
- Troy KL, Munce TA, Longworth JA. An exercise trial targeting posterior shoulder strength in manual wheelchair users: pilot results and lessons learned. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology* 2015;10(5):415-520.
- van den Akker LE, Holla JF, Dadema T, Visser B, Valent LJ, de Groot S, Dallinga JM, Deutekom M, Group W-. Determinants of physical activity in wheelchair users with spinal cord injury or lower limb amputation: Perspectives of rehabilitation professionals and wheelchair users. *Disability and Rehabilitation*. 2020;42(14):1934-1941.
- Virzi RA. Refining the test phase of usability evaluation: How many subjects is enough?. *Human factors*. 1992;34(4):457-468.
- White N, Black N, Center NSCIS. Facts and figures at a glance, Birmingham, AL: University of Alabama at Birmingham. 2020
- Wilbanks SR, Rogers R, Pool S, Bickel CS. Effects of functional electrical stimulation assisted rowing on aerobic fitness and shoulder pain in manual wheelchair users with spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*. 2016;39(6):645-654.
- Wong RN, Stewart AL, Sawatzky B, Laskin JJ, Borisoff J, Mattie J, Sparrey CJ, Mortenson WB. Exploring exercise participation and the usability of the adaptive rower and arm crank ergometer through wheelchair users'

perspectives. *Disability and Rehabilitation*. 2022;44(15):3915-3924.

Yang Y-, Koontz AM, Triolo RJ, Cooper RA, Boninger ML. Biomechanical analysis of functional electrical stimulation on trunk musculature during wheelchair propulsion. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2009;23(7): 717-725.