

IT-based physical activity and exercise programs for individuals with spinal cord injury

Hyunhee Choi*

*Professor, Dept. of exercise prescription, Dongseo university, Busan, Korea

[Abstract]

This study is to encourage physical activity and exercise in people with spinal cord disabilities so that they can have a positive effect on health outcomes. Current evidence shows that IT-based muscle strength and muscle endurance, cardiopulmonary exercise, electrical stimulation exercise, and robot exercise can all improve physical components, reduce the risk of secondary health complications, and have a positive impact on the overall health of people with chronic physical disabilities. To improve muscle strength and muscle endurance, exercise frequency should be conducted twice and three sets a week, <5 Reps to improve muscle strength, general strength should be repeated 6 to 15 times, and 15 to 30 times to improve muscle endurance. In order to improve cardiopulmonary ability, it should be conducted 3-5 times a week, 20-60 minutes, and 50-80% of the maximum heart rate. Therefore, higher resource investment is needed to realize various IT-based exercise benefits and access professional equipment, facilities and trainers.

▶ **Key words:** IT-based, Physical activity, Exercise program, Spinal cord disorder, Exercise intervention method

[요 약]

척수장애인들에게 있어 신체활동 및 운동을 장려함으로써 건강 결과에 긍정적인 영향을 미칠 수 있도록 하는 것이 중요하다. 현재 증거에 따르면 IT기반으로 하는 근력 및 근지구력, 심폐 운동, 전기 자극 운동과 로봇 운동 등 모두 체력 구성 요소를 개선하고 2차 건강 합병증의 위험을 줄이며 만성 신체 장애가 있는 사람들의 전반적인 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 근력 및 근지구력을 증진하기 위해서는 운동 빈도는 주 2회, 3세트 실시하도록 하며 근력의 증진을 위해서는 < 5 Reps으로, 일반적인 강도는 6~15회 반복하도록 하며, 근지구력을 향상시키기 위해서는 15~30회 반복하도록 한다. 심폐 능력의 향상을 위해서는 주 3-5회, 20~60분, 최고심박수의 50~80%로 실시하도록 하였다. 따라서 IT 기반의 다양한 운동 이점을 실현하고 전문 장비, 시설 및 트레이너에 대한 접근을 위한 더 높은 자원 투자가 필요하다.

▶ **주제어:** IT기반, 신체활동, 운동프로그램, 척수장애인, 운동 증재 방법

-
- First Author: Hyunhee Choi, Corresponding Author: Hyunhee Choi
 - Hyunhee Choi (able21c@gmail.com), Dept. of exercise prescription, Dongseo university
 - Received: 2021. 12. 06, Revised: 2022. 02. 07, Accepted: 2022. 02. 07.

I. Introduction

척수장애인(Spinal cord injury)은 영구적인 장애와 기대수명의 감소로 인하여 부정적인 건강상태에 있다 [1]. 수의적인 운동 조절능력(volitional motor control)과 감각(sensation)의 저하가 발생하게 되고, 이로 인하여 일상과 업무 수행능력의 저하뿐만 아니라 전반적인 활동수준이 저하 되게 된다 [2].

척수장애인들은 신체활동과 운동에 대한 심혈관계의 감소를 초래하는데 이는 체내 및 자율시스템 제어의 저하를 야기시킨다 [3]. 또한, 신체활동 수준의 감소는 근골격계 변화를 초래하는데 근위축증, 골다공증, 그리고 관절의 이동성을 제한시키게 된다 [4-6]. 이와 같은 문제들은 척수 장애인들의 일상생활에서의 활동을 더욱 감소시키게 되고, 규칙적인 활동 프로그램의 참여 부족으로 인하여 기능적 작업능력의 감소와 독립성을 저하시키며, 근골격계 및 심혈관계 건강의 저하를 가져와 결국 근골격계 및 심혈관계 질환의 위험을 증가시키는 악순환이 반복된다 [7].

근력, 근지구력, 기능적 능력의 감소는 척수장애인들에게 중요한 건강 문제로 삶의 질의 저하를 가져온다 [8]. 활동수준이 저하 되어 있는 척수장애인들은 극도로 비활동적이 되어 당뇨 (diabetes mellitus), 고혈압 (hypertension), 죽종형성 지질 특성 (atherogenic lipid profiles)등 이차적인 합병증의 발병을 증가시킨다고 보고되었으며 [2], 척수장애인은 척수장애에 기인한 이차적인 문제뿐만 아니라 이차적인 합병증의 이환, 조기발병의 증가, 그리고 조기 사망률이 증가하는 것과의 관계가 잘 알려져 있다 [9].

척수장애인들에게 있어서 정기적인 신체활동은 체력 향상과 심리적 안정감, 정상적인 사회생활을 위한 수단으로 알려져 왔다. 특히, 스포츠 활동 참여는 척수장애인의 심폐능력과 근력 등 건강 관련 체력을 향상시킬 수 있으며 [10], 감각 및 운동기능을 향상함으로써 일상생활에서 필요한 기술에 도움을 주고 이로 인해 발생하는 2차 질병을 예방하는 효과가 있다는 연구결과들이 보고되었다 [11].

체력은 규칙적인 운동으로 향상이 이루어지며 비만 및 만성질환이나 제2차 장애를 예방하고 치료하는데 효과가 있다고 보고되고 있고 특히, 척수장애인에게서 많이 발생하는 심혈관질환 관련 질병 개선 효과와 장애에 따른 건강상태의 유지 및 향상, 치료, 재활의 수단으로 사용되고 있다 [12-14].

척수장애인은 동일한 장애유형일지라도 등급과 장애정도에 따라 신체적 능력과 기능에 차이가 있기 때문에 개별적인 능력에 적합한 신체활동 및 운동 프로그램이 개발되

어야 한다 [15]. 하지만 척수장애인들에 맞는 적절한 신체활동 및 운동프로그램에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이와 같이 척수장애인들의 건강 증진을 위해서는 운동 형태, 신체활동 그리고 적절한 운동프로그램의 제공이 필요하며, 이뿐만 아니라 IT(Information Technology) 기반에 따른 척수장애인들의 신체활동 및 운동프로그램을 제공하기 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구를 통하여 척수장애인에게 보다 효과적인 건강관리를 위한 적절한 신체활동 및 운동프로그램에 연구를 검토하여 척수장애인들에게 맞는 신체활동 및 운동 프로그램을 제공하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. Preliminaries

1. Related works

지난 10년 동안은 운동 참여, 신체 활동 및 체력 간의 관계와 척수 손상 장애 이후의 건강 관련 결과에 미치는 영향을 이해하는 데 많은 관심을 기울였다 [16-17]. 체력은 과도한 피로 없이 충분한 에너지로 일상 업무를 수행하는 능력을 향상시키는 개인이 가질 수 있거나 달성할 수 있는 특정 속성 세트로 구성된다 [18]. 신체 건강 중재는 컨디션 저하 과정을 중단하고 기능적 능력을 증가시키며 만성 척수 손상 장애와 관련된 2차 건강 합병증을 감소시키는 것을 목표로 하는 척수장애인들에게 매우 중요하다. 운동을 촉진하고 건강 요소를 개선하는 전략이 척수 손상 환자의 전반적인 건강에 긍정적인 영향을 미치고 만성 장애와 관련된 2차 건강 합병증의 위험을 줄일 수 있다는 연구가 몇몇 보고되었다 [16, 19].

체력에는 5가지 건강 관련 구성 요소가 있으며 이 중 4가지(신체 구성, 심혈관 지구력, 근력 및 근지구력)에 중점을 두고 있으며, 전체 가동 범위를 통해 관절을 움직일 수 있는 유연성과 능력은 전반적인 가동성에 중요하지만, 척수장애인에게는 제한된다.

신체 구성을 개선하기 위한 중재 전략으로 가장 효과적인 방법은 식이 요법, 유산소 운동, 저항 운동 및 신체활동을 복합으로 처치하는 것이다 [20]. 신체 구성의 변화는 복잡한 생리적, 대사적, 생화학적 메커니즘에 의해 발생되지만 가장 기본적인 방법으로 식이 및 운동을 통하여 일일 에너지 소비를 늘리고 일일 칼로리 섭취를 줄이며 대사 활성 조직으로서의 제지방 근육을 늘리는 것이다. 척수 손상 후 식이 습관은 종종 변경되고 큰 근육군을 사용하여 복합 운동을 수행할 수 없기 때문에 과도한 지방 축적을 피하기

위해 이상적인 칼로리 균형을 달성하는 것은 더 어려운 실정이다. 이와 같은 척수장애를 가진 사람들은 체성분 관리를 위해 신체활동 및 운동의 참여가 필수적으로 필요하다 [17, 21].

선행연구를 살펴보면, 전기 자극 저항 훈련은 척수 손상 후 근육량을 증가시켜 신체 구성을 변경하는 것으로 보고되었다 [22-24]. 그러나 순수 근육량에서 관찰된 긍정적인 변화에도 불구하고 전기 자극 저항 훈련 (Electrical muscle stimulation; EMS) 자체가 척수장애인의 비만에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는지 여부에 대한 결과는 서로 상충되고 있다 [25-26]. 전기 자극 외에도 자발적인 신체 활동 및 운동에 참여하면 EMS 단독에 비해 신체 구성이 개선되어 잠재적으로 국소 지방량에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 주당 최소 150분의 신체 활동에 참여하는 척수장애인은 신체 활동을 하지 않는 자에 비해 총 및 부분 지방량이 현저히 낮았다 [17]. 척수장애인의 경우 8 주간의 상지 저항 훈련으로 상지 제지방량이 증가하고 체지방이 감소하였다 [27]. 척수장애인에게 있어 체성분 개선을 위한 여러 가지 운동의 장점에도 불구하고, 임상적으로 의미 있는 개선을 달성하는 데 필요한 운동의 유형, 빈도, 기간 및 강도에 대한 명확한 합의는 아직 결정되지 않았으며, 운동, 식이조절, 행동요법과 같은 복합 중재 전략의 역할에 대한 이해가 부족한 실정이다 [28]. 척수 손상 후 여러 중재 전략에 대한 복잡한 상호 작용을 이해하려면 추가 연구가 필요하며, 최근 IT를 기반으로 한 신체활동 및 운동 프로그램의 역할과 이해는 더욱더 부족한 실정이며, 후속 연구들이 필요하다.

최근 장애인을 위한 IT 지원 기술들은 주로 시각, 청각, 촉각 인터페이스 기술로 요약될 수 있으며, 이는 장애인들의 부족한 감각기능을 보완하고 장애 감각을 다른 감각으로 변환하여 원활한 정보습득과 의사소통이 가능하도록 하는 것이 중요하기 때문이다. 특히 일반인들 대상으로 스마트 헬스케어를 통하여 개인건강정보를 웨어러블 디바이스나 헬스케어 앱 등을 통해 수집하여 개인의 혈당 수치, 혈압, 심전도, 식단 정보 등 개인 일상생활 활동에 관한 모든 데이터로, 이를 활용한 다양한 응용 서비스를 제공되고 있다. 하지만 장애인 중에서도 척수 장애인들을 위한 유전체 정보와 개인 건강정보가 건강 개선, 질환 치료 및 예방 등의 구체적인 임상적 가치와 연결되기 위해서는 선행연구를 바탕으로 데이터가 분석되어야 한다. 이에 따라 척수장애인들의 건강증진을 위해 IT를 활용한 신체활동과 운동 프로그램 활용성이 더욱 제고될 것으로 보인다.

III. Arbitration Strategies

1. Exercise Intervention Strategies

1.1. Strength and endurance training

근력과 근지구력은 체력의 중요한 건강 관련 구성 요소이며 골밀도, 제지방량, 안정시 대사율, 근력 생성 및 파워, 포도당 대사를 개선하거나 유지하는 데 중요한 역할을 한다 [18]. 근력과 지구력은 근력의 두 가지 구성 요소로써 근력은 근육이나 근육군이 최대의 힘을 발생시키는 능력을 말하며, 근지구력은 근육이나 근육군이 여러 번 반복하여 힘을 내는 능력을 말한다. 두 구성 요소 모두 SCI의 결과로 크게 손상될 수 있기 때문에 척수장애인들에게 근력과 근지구력을 증진시키는 것은 중요한 목표이다.

근력과 지구력을 증진시키기 위해 프리 웨이트, 탄성 밴드, 플레이트 장착 기계, EMS, 서킷 트레이닝, 체중 부하 운동, 로봇 기술의 사용이 포함된다. 이러한 양식 중 많은 부분이 근력과 지구력에 어느 정도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그러나 연구 전반에 걸쳐 사용된 훈련 모드, 기간, 강도 및 빈도의 이질성을 감안할 때 이러한 결과를 명확하게 해석하는 것은 어렵다. 하지만 운동 프로그램을 실시한 선행연구에서 근력 향상을 위해 매주 2회 저항 훈련(8-10회 반복 3세트)에 참여하는 것은 효과가 있다고 보고하였다. 프리 웨이트, 탄성 밴드, 플레이트 로드 머신 및 EMS를 사용한 근력 강화 운동은 척수 손상 환자의 근력과 목표 근육의 지구력 향상에는 운동 빈도와 복합 운동 훈련 프로그램이 효과적이라고 보고하였다[29-35].

근력 훈련의 기본 원리는 근육 그룹에 과부하를 주어 근력, 지구력 또는 크기에 원하는 변화를 일으키기 위해 반복, 세트, 템포, 운동 및 힘의 조사를 포함한다. 반복수, 세트, 운동, 저항 및 힘의 특정 조합은 운동을 수행하는 개인의 목적에 따라 다르며, 크기와 강도를 얻으려면 더 적은 횟수로 여러 세트(4+)를 더 많은 힘을 사용하여 수행해야 한다 [36] 운동 빈도는 주 2회 주요 기능 근육군별 근력 운동을 실시하며, 3세트 실시하도록 한다. 각각의 주요 기능 근육 그룹을 위한 중간 강도의 운동으로 시작하며, 반복횟수는 근력의 증진을 위해서는 < 5 Reps으로, 일반적인 강도는 6~15회 반복하도록 하며, 근지구력을 향상시키기 위해서는 15~30회 반복하도록 한다.

Table 1. Strength and endurance training Prescription

Item	Method
Frequency	2 Days per Week
Intensity	< 5 Reps 6~15 Reps 15~30 Reps
Time of Exercise	30 - 60 minutes
Type of Exercise	Weight training Body weight training EMS Robot assisted Training

장애인들에게는 근력과 지구력의 향상은 2차 부상 위험 감소, 기능적 능력 향상 또는 건강 개선이 실현될 수 있는 의미 있는 이익이 도출될 수 있는 경우에만 의미가 있다. 한 가지 기능적 예는 보행 능력의 향상이며, 다양한 보행 훈련 장치의 개발과 함께 척수 손상 환자의 보행 능력에 영향을 미치기 위해 저항 훈련과 보행 훈련의 조합 사용에 대한 관심이 증가했다. 몇 가지 연구에서 저항 훈련이 보행 속도에 미치는 영향을 조사했으며 임상적으로 의미 있는 변화를 보여주었다. 그러나 작은 표본 크기를 감안할 때 이러한 개선이 고립된 하지 근력의 개선 또는 기타 신경 생리학적 또는 행동적 요인의 결과인지는 불분명하다 [37]. 기능적 근력을 향상시키기 위한 로봇 보조 운동 훈련 기술의 사용은 단독 저항 훈련 프로그램보다 더 큰 효과 전달을 가질 수 있다. 근력 및 기타 신체적 조건 매개변수에 대한 로봇 외골격의 영향을 조사하는 연구가 나타나기 시작했지만 이 기술에 어떤 이점이 있을 수 있는지 확인하기 위해서는 추가 연구가 필요하다[38-39].

1.2. Cardiopulmonary training

척수장애인의 심폐 건강에 긍정적인 영향을 미치기 위해 수많은 중재 전략을 시행하였다. 이러한 개입에는 IT 기반 전기 자극(EMS) 강화 훈련, 유산소 및 순환 훈련, 로봇 보조 활동 훈련이 포함된다. 이러한 각 중재의 목표는 심혈관, 폐 및 대사 시스템에 충분한 물리적 스트레스를 가하여 충분한 과부하 및 훈련 효과를 유도하는 것이다. 이러한 목표를 달성하는 능력은 활동 유형, 활동의 빈도, 지속 시간 및 강도, 현재 신경 및 생리학적 손상 정도에 따라 크게 좌우된다.

안전하고 효과적인 운동방법은 대상자의 건강상태, 기초체력, 목표, 운동선호도 등을 세심하게 고려해야 한다. 척수 손상이 있는 개인의 운동 처방을 고려할 때 손상의 신경학적 수준과 그것이 가능한 운동 유형과 체간 안정성과 균형, 척추의 사용을 포함하여 참여를 지원하는 데 필요한 수준에 미칠 수 있는 영향도 고려해야 한다. FITT 원

칙(Frequency, Intensity, Time and Type)은 효과적인 운동 프로그램을 보장하기 위해 심혈관 훈련을 개발, 안내 및 모니터링하는 데 사용되어야 하며 심혈관 훈련에 참여하기 시작하는 사람들은 운동량을 적게 시작하여 점차적으로 지속 시간, 빈도, 강도를 높여 나가는 것을 추천한다 [40-42].

Table 2. Cardiopulmonary training Prescription

Item	Method
Frequency	3 - 5 Days per Week
Intensity	50 - 80% Peak Herat Rate Borg Scale to monitor
Time of Exercise	20 - 60 minutes
Type of Exercise	Continuous Training Varied Pace Training Interval Training

빈도를 살펴보면, 척수장애인의 심폐 건강을 위해서는 주 2회 유산소 운동을 실시하며, 심장 대사 건강을 위해서는 일주일에 3번의 유산소 운동을 권장한다. 비 운동자의 경우 권장 수준 이하의 운동이 심폐 건강에 작은 변화를 가져올 수도 있고 그렇지 않을 수도 있음을 인식하고 지침을 충족하기 위해 더 낮은 빈도로 시작하여 점진적으로 빈도를 높이는 것이 중요하다 [43]. 강도는 척수장애인에게 있어 모니터링하기 가장 어려운 요소이다. 일반인의 경우 심박수는 심폐 운동의 강도를 측정하는 데 가장 일반적으로 사용되는 방법이지만, 척수장애인 중 교감 신경 조절을 상실하였을 경우에는 심박수의 측정을 신뢰하기 어려울 수 있다 [44]. 이와 같은 경우는 모니터링하기 위해 운동자 각도(RPE 6-20)의 사용을 제안한다. 운동 시간은 심폐 건강을 위해서는 최소 20분 이상을, 심장 대사 건강을 위한 유산소 운동 최소 30분 이상을 추천하며, 개인의 체력 수준에 따라 점진적으로 시간을 늘려 가도록 한다 [43]. 운동 유형은 처음에는 제한적으로 보일 수 있지만 휠체어 추진(일상 휠체어 또는 경주용 휠체어), 핸드사이클/핸드사이클 에르고미터, 노르딕 스키, 조정, 수영, 좌식 에어로빅, 휠체어 농구, 휠체어 럭비, 휠체어 테니스를 포함한 휠체어 스포츠를 실시하는 것이 효과적일 수 있다. 심혈관 훈련 프로그램에 대한 개인의 동기 부여와 순응도가 중요하며 훈련 프로그램의 다양성은 순응도를 높이는 데 유용할 수 있다. 심혈관 훈련 프로그램은 최대 효과와 안전성을 위해 빈도, 강도 및 기간의 균형을 유지해야 한다.

1.3. Robot assisted training

척수 손상 후 신체 조절 및 심폐 건강을 개선하기 위한 방법으로 로봇 외골격 장치는 그 유용성에 대해 철저히 조사되지 않은 새로운 기술이다. 2013년 Hoekstra et al. [45]은 심폐 건강에 대한 로봇 보조 보행 훈련의 효과를 조사하고 유산소 훈련에 대한 현재 권장되는 운동 지침과 유산소 반응을 비교하였다. 중간 강도 운동(3 METS)과 일치하는 용량으로 운동한 피험자 10명 중 2명만이 24회 훈련 세션 후에 VO2peak의 개선이 관찰되지 않았다. 불안전 척수 손상 환자를 대상으로 로봇 보조 트레드밀 훈련과 암 에르고미터 운동 간의 상대적 심혈관 반응을 비교한 두 연구에서 로봇 보조 트레드밀 훈련은 잠재적으로 긍정적인 훈련 효과를 가져왔지만 완전 손자인 대상자들에게는 긍정적인 효과가 부족하였다 [46-47]. 하지만 미래 기술인 EMS와 로봇 외골격 장치의 결합을 통하여 활동 중 보행 속도, 심폐 반응 및 의지적 움직임을 통하여 지속적으로 운동에 참여함으로써 장기간의 심폐 기능의 증진이 여전히 어려운 완전 사지 마비가 있는 척수장애인에게도 근력 및 심폐 기능의 개선을 가져오기 위한 효과적인 운동 방법으로 판단된다.

IV. Conclusions

척수장애인들에게 있어 신체활동 및 운동을 장려함으로써 건강 결과에 긍정적인 영향을 미칠 수 있도록 하는 것이 중요하다. 다행스럽게도 척수장애인들의 쇠약해진 부상에 따른 2차 건강 합병증을 최소화하기 위한 전략을 개발하고 지원하기 위해 공중 보건 관점에서 관심과 필요성이 커지고 있다. 현재 증거에 따르면 IT기반으로 하는 근력 및 근지구력, 심폐 운동, 전기 자극 운동과 로봇 운동 등 모두 체력 구성 요소를 개선하고 2차 건강 합병증의 위험을 줄이며 만성 신체 장애가 있는 사람들의 전반적인 건강에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 그러나 사용 가능한 건강 증진 프로그램에 대한 긍정적인 효과에 관한 많은 도전과 질문이 남아 있다.

확실히 어떤 운동은 하지 않는 것보다 낫지만 부상의 정도와 심각도와 관련하여 척수 손상의 복잡성을 고려할 때 장기적 건강상의 이점을 보장하는 데 필요한 최적의 빈도, 기간, 강도 및 운동 방식에 대한 명확한 합의는 다음과 같다. 근력 및 근지구력을 증진하기 위해서는 운동 빈도는 주 2회, 3세트 실시하도록 하며 근력의 증진을 위해서는 < 5 Reps으로, 일반적인 강도는 6~15회 반복하도록 하며,

근지구력을 향상시키기 위해서는 15~30회 반복하도록 한다. 심폐 능력의 향상을 위해서는 주 3~5회, 20~60분, 최고심박수의 50~80%로 실시하도록 하였다. 운동 참여에 대한 고유한 물리적, 환경적, 심리사회적 장벽이 많이 존재하며 척수 손상 환자를 위한 운동 프로그램을 개발할 때 이를 고려해야 한다. 따라서 IT 기반의 다양한 운동 이점을 실현하고 전문 장비, 시설 및 트레이너에 대한 접근을 위한 더 높은 자원 투자를 정당화하기 위해 척수 손상 환자에게 운동 처방에 대한 훨씬 더 개별화된 접근이 보증될 수 있다. 마지막으로, 부상을 입지 않은 집단의 경우와 마찬가지로 척수 손상 환자의 체성분과 심혈관 건강을 개선하기 위한 최적의 전략을 논의할 때 단순히 운동만 하는 것이 아니라 식이요법과 운동 중재를 모두 고려해야 하며 대상자의 장애별 특성 및 인체에 영향을 줄 수 있는 요인에 대한 종합적인 전문적 고려가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Dongseo University, "Dongseo Cluster Project" Research Fund of 2021 (DSU-20210002)

REFERENCES

- [1] Hartkopp, A., Brønnum-Hansen, H., Seidenschnur, A. M., Biering-Sørensen, F. "Survival and cause of death after traumatic spinal cord injury. A long-term epidemiological survey from Denmark." *Spinal Cord*. Vol. 35, pp. 76-85. 1997. DOI: 10.1038/sj.sc.3100351
- [2] Jacobs, P. L., and Mark, S. N. "Exercise recommendations for individuals with spinal cord injury." *Sports Medicine* Vol. 34, No. 11, pp. 727-751. November 2004, DOI: 10.2165/00007256-200434110-00003
- [3] Sisto S, Evans N. "Activity and fitness in spinal cord injury: review and update." *Curr Phys Med Rehabil Rep*. Vol. 2014, No. 2, pp. 147-157. July 2014, DOI:10.1007/s40141-014-0057-y
- [4] Gorgey, A, Gater, D. "Prevalence of obesity after spinal cord injury." *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. Vol. 12, No. 4. pp. 1-7. April 2007. DOI: 10.1310/sci1204-1
- [5] Bauman, W. A., Spungen, A. M. "Metabolic changes in persons after spinal cord injury." *Phys Med Rehabil Clin N Am*. Vol. 11, No. 1, pp. 109-140. February 2000 DOI: 10.1016/S1047-9651(18)30150-5

- [6] Bauman, W. A., Spungen, A. M. "Carbohydrate and lipid metabolism in chronic spinal cord injury." *J Spinal Cord Med.* Vol. 24 No. 4 pp. 266-277. July 2001, DOI: 10.1080/10790268.2001.11753584
- [7] Hoffman, M. D. "Cardiorespiratory Fitness and Training in Quadriplegics and Paraplegics." *Sports Medicine*, Vol. 3, No. 5, pp. 312-330, September 1986, DOI: 10.2165/00007256-198603050-00002
- [8] Finley, M. A., Rodgers, M. M., Keyser, R. "Impact of physical exercise on controlling secondary conditions associated with spinal cord injury." *Neurol Rep.* 2002;26(1):21-31. doi:10.1097/01253086-200226010-00007
- [9] Fernhall, B., Kevin, He., Sae, Y. J., and H, B. "Health implications of physical activity in individuals with spinal cord injury: a literature review." *Journal of Health and Human Services Administration* Vol. 30, No. 4, pp. 468-502. April 2008.
- [10] Durán, F. S., Luz Lugo, L. R. and Edgar, E. L. "Effects of an Exercise Program on the Rehabilitation of Patients with Spinal Cord Injury." *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Vol. 82, No. 10 : pp. 1349-354. October 2001, DOI: 10.1053/apmr.2001.26066
- [11] Carlson, J. E., Glenn, V. O., Sandra, A. B., Kyriakos, S. M., Laura, R., and James, S. G. "Disability in Older Adults 2: Physical Activity as Prevention." *Behavioral Medicine*, Vol. 24, No. 4, pp. 157-168, October 1999, DOI: 10.1080/08964289.1999.11879272
- [12] Justin, Y. "Obesity, Type 2 DM and Exercise in People with SCI: Implication of sympathetic nervous system impairment in people with SCI. Yonsei University Physical Education Research Institute, Vol. 11, No. 1, pp. 117-144. March 2004.
- [13] Suparna, R., Maruerite J., Catherine, W., & Barry, G. "Clinical assessment and Management of obesity in Individuals with spinal cord injury : A Review." *The Journal of spinal cord medicine.* Vol. 31, No. 4, pp. 1132-1141. 2008, DOI: 10.1080/10790268.2008.11760738
- [14] William, S., Wendy, D., Andrea F., Najib, T., & Kristin, J. (2008). Effect of exercise Training and Inspiratory Muscle Training in SCI: A Systematic Review. *The Journal of spinal cord medicine.* Vol. 31, No. 5, pp. 500-508. DOI: 10.1080/10790268.2008.11760738
- [15] Valent, Linda J., Dallmeijer, Annet J., Houdijk, Han, Slootman, Hans J., Post, Marcel W., and Van Der Woude, Lucas H., "Influence of Hand Cycling on Physical Capacity in the Rehabilitation of Persons With a Spinal Cord Injury: A Longitudinal Cohort Study." *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* Vol. 89, No. 6. pp. 1016-1022. June 2008, DOI: 10.1016/j.apmr.2007.10.034
- [16] Nash M. "Exercise as a health-promoting activity following spinal cord injury." *J Neurol Phys Therapy.* Vol. 29, No. 2, pp. 87-106. June 2005, DOI: 10.1097/01.npt.0000282514.94093.c6
- [17] D'Oliveira, G., Figueiredo, F., Passos, M., Chain, A., Bezerra, F., Koury, J., "Physical exercise is associated with better fat mass distribution and lower insulin resistance in spinal cord injured individuals." *J Spinal Cord Med.* Vol. 37. No. 1, pp. 79-84. January 2014, DOI: 10.1179/2045772313Y.0000000147.
- [18] Casperson, C., Powell, K., Christenson, G. "Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research." *Public Health Rep.* Vol. 100. No. 2, pp. 126-131. March 1985.
- [19] Devillard X, Rimaud D, Roche F, Calmels P. "Effects of training programs for spinal cord injury." *Annales de Readaptation et de Medicine Physique.* Vol. 50, No. 6, pp. 490-498. July 2007, DOI: 10.1016/j.annrmp.2007.04.013
- [20] McQueen M. "Exercise aspects of obesity treatment." *Ochsner J.* Vol. 9, No. 3, pp. 140-143, 2009.
- [21] Tanhoffer, R. A., Tanhoffer, A. I. P., Raymond, J., Hills, A. P., Davis, G. M. "Exercise, energy expenditure and body composition in people with spinal cord injury." *J Phys Act Health.* Vol. 11, No. 7, September 2013, DOI: 10.1123/jpah.2012-0149
- [22] Gorgey, A, Dolbow, D, Cifu, D, Gater, D. "Neuromuscular electrical stimulation attenuates thigh skeletal muscles atrophy but not trunk muscles after spinal cord injury." *J Electromyogr Kinesiol.* Vol. 23, No. 4, pp. 977-984, August 2013, DOI: 10.1016/j.jelekin.2013.04.007
- [23] Carty, A., McCormack, K., Coughlan, G., Crowe, L., Caulfield, B. "Alterations in body composition and spasticity following sub-tetanic neuromuscular electrical stimulation training in spinal cord injury." *J Rehabil Res Dev.* Vol. 50, No. 2, pp. 193-202, 2013, DOI: 10.1682/jrrd.2011.11.0220
- [24] Mahoney E, Bickel C, Elder C, Black C, Slade J, Apple D, et al. "Changes in skeletal muscle size and glucose tolerance with electrically stimulated resistance training in subjects with chronic spinal cord injury." *Arch Phys Med Rehabil.* Vol. 86, No. 7, pp. 1502-4, July 2005, DOI: 10.1016/j.apmr.2004.12.021
- [25] Ryan T, Brizendine J, Backus D, McCully K. "Electrically induced resistance training in individuals with motor complete spinal cord injury." *Arch Phys Med Rehabil.* Vol. 94, No. 11, pp. 2166-73, November 2013, DOI: 10.1016/j.apmr.2013.06.016
- [26] Giangregorio L, Craven C, Richards K, Kapadia N, Hitzig S, Masani K, et al. "A randomized trial of electrical stimulation for walking in spinal cord injury: effects on body composition." *J Spinal Cord Med.* Vo. 35, No. 5, pp. 351-60, September 2012, doi: 10.1179/2045772312Y.0000000041
- [27] Serra-Ano P, Pellicer-Chenoll M, Garcia-Masso X, Morales J, Giner-Pascual M, Gonzalez L-M. "Effects of resistance training on strength, pain and shoulder functionality in paraplegics." *Spinal Cord.* Vol. 50, No. 11, pp. 827-31, November 2012, DOI: 10.1038/sc.2012.32

- [28] Khalil R, Gorgey A, Janisko M, Dolbow D, Moore J, Gater D. "The role of nutrition in health status after spinal cord injury." *Aging Dis.* Vol. 4, No. 1, pp. 14-22, November 2013.
- [29] Sasso E, Backus D. "Home-based circuit resistance training to overcome barriers to exercise for people with spinal cord injury: a case study." *J Neurol Phys Therapy.* Vol. 37, No. 2, pp. 65-71, June 2013, DOI: 10.1097/NPT.0b013e31829247a9
- [30] Turbanski S, Schmidtbleicher D. "Effects of heavy resistance training on strength and power in upper extremities in wheelchair athletes." *J Strength Cond Res.* Vol. 24, No. 1, pp. 8-16, January 2010, DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181bdddda
- [31] Harvey L, Fornusek C, Bowden J, Pontifex N, Glinsky J, Middleton J, et al. "Electrical stimulation plus progressive resistance training for leg strength in spinal cord injury: a randomized controlled trial." *Spinal Cord.* Vol. 48, No. 7, pp. 570-5, July 2010, DOI: 10.1038/sc.2009.191
- [32] Sabatier M, Stoner L, Mahoney E, Black C, Elder C, Dudley G, et al. "Electrically stimulated resistance training in SCI individuals increases muscle fatigue resistance but not femoral artery size or blood flow." *Spinal Cord.* Vol. 44, No. 4, pp. 227-33, April 2006, DOI: 10.1038/sj.sc.3101834
- [33] Myslinski M. "Evidence-based exercise prescription for individuals with spinal cord injury." *J Neurol Phys Therapy.* Vol. 29, No. 2, pp. 104-6, June 2005, DOI: 10.1097/01.npt.0000282515.01717.8d
- [34] Jacobs P, Nash M. "Exercise recommendations for people with spinal cord injury." *Sports Med.* Vol. 34, No. 11, pp. 727-51. 2004, DOI: 10.2165/00007256-200434110-00003
- [35] Jacobs P, Nash M, Rusinowski J. "Circuit training provides cardiorespiratory and strength benefits in persons with paraplegia." *Med Sci Sports Exerc.* Vol. 33, No.5, pp. 11-7. DOI: 10.1097/00005768-200105000-00005
- [36] Kahn JH, Tappan R, Newman CP, Palma P, Romney W, Tseng Stultz E, Tefertiller C, Weisbach CL. "Outcome Measure Recommendations From the Spinal Cord Injury EDGE Task Force." *Physical Therapy.* Vol. 96, No. 11, pp. 1832-42, November 2016, DOI: 10.2522/ptj.20150453
- [37] Sasso E, Backus D. "Home-based circuit resistance training to overcome barriers to exercise for people with spinal cord injury: a case study." *J Neurol Phys Therapy.* Vol. 37, No. 2, pp. 65-71, June 2013, DOI: 10.1097/NPT.0b013e31829247a9
- [38] Gorgey A, Poarch H, Miller J, Castillo T, Gater D. "Locomotor and resistance training restore walking in elderly person with a chronic incomplete spinal cord injury." *Neuro Rehabil.* Vol. 26, No. 2, pp. 127-33, 2010, DOI: 10.3233/NRE-2010-0544
- [39] Gregory C, Bowden M, Jayaraman A, Shah P, Behrman A, Kautz S, et al. "Resistance training and locomotor recovery after spinal cord injury: a case series." *Spinal Cord.* Vol. 45, No. 7, pp. 522-30, July 2007, DOI: 10.1038/sj.sc.3102002
- [40] Warburton, D. E., Sproule, S., Krassioukov, A., & Eng, J. J. "Cardiovascular health and exercise following spinal cord injury." *Spinal cord injury rehabilitation evidence*, Vol. 13, No. 1, pp 98-122, 2007, DOI: 10.1310/sci1301-98
- [41] Millar PJ, Rakobowchuk M, Adams MM, Hicks AL, McCartney N, MacDonald MJ. "Effects of short-term training on heart rate dynamics in individuals with spinal cord injury." *Auton Neurosci.* Vol. 150, No. 1-2, pp. 116-21, October 2009, DOI: 10.1016/j.autneu.2009.03.012
- [42] Jeffries EC, Hoffman SM, de Leon R, et al. "Energy expenditure and heart rate responses to increased loading in individuals with motor complete spinal cord injury performing body weight-supported exercises." *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation.* Vol. 96, No. 8, pp. 1467-73, August 2015, DOI: 10.1016/j.apmr.2015.03.020
- [43] Ginis KA, van der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, Barrow A, Bourne C, Carruthers P, Bernardi M, Ditor DS, Gaudet S, de Groot S, Hayes KC. "Evidence-based Scientific Exercise Guidelines for Adults with Spinal Cord Injury: An Update and a New Guideline." *Spinal Cord.* Vol. 56, No. 4, pp. 308-321, April 2018, DOI: 10.1038/s41393-017-0017-3
- [44] Van der Scheer, J. W., Hutchinson, M. J., Paulson, T., Martin Ginis, K. A., & Goosey-Tolfrey, V. L. "Reliability and Validity of Subjective Measures of Aerobic Intensity in Adults With Spinal Cord Injury: A Systematic Review." *PM&R*, Vol. 10, No. 2, pp. 194-207. February 2018, DOI: 10.1016/j.pmrj.2017.08.440
- [45] Hoekstra F, van Nunen M, Gerrits K, Stolwijk-Swuste J, Crins M, Janssen T. "Effect of robotic gait training on cardiorespiratory system in incomplete spinal cord injury." *J Rehabil Res Dev.* Vol. 50, No. 10, pp. 1411-22, 2013, DOI: 10.1682/JRRD.2012.10.0186
- [46] Jack LP, Purcell M, Allan DB, Hunt KJ. "The metabolic cost of passive walking during robotics-assisted treadmill exercise." *Technol Health Care Off J Eur Soc Eng Med.* Vol. 19, No. 1, pp. 21-7, 2011, DOI: 10.3233/THC-2011-0608
- [47] Jack LP, Purcell M, Allan DB, Hunt KJ. "Comparison of peak cardiopulmonary performance parameters during robotics-assisted treadmill exercise and arm crank ergometry in incomplete spinal cord injury." *Technol Health Care Off J Eur Soc Eng Med.* Vol. 18, No. 4-5, pp. 285-96, 2010, DOI: 10.3233/THC-2010-0591

Authors



Hyunhee Choi received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in exercise prescription from Kyunghee University, Korea, in 1996, 1998 and 2002, respectively. Dr. Choi joined the faculty of the College of Physical Education

at Kyunghee University, Seoul, Korea, in 1992. She is currently a Professor in the Department of Sports Science, Dongseo University. She is interested in Exercise Prescription for clinical populations.