

척수손상인의 일반적 특성에 따른 체력적 특징과 운동 전략

이근호¹, 홍상민², 신윤아³

¹대한장애인체육회 이천훈련원, ²동국대학교 체육교육과, ³단국대학교 운동처방재활학과,

Physical Fitness and Exercise Strategy According to General Characteristics of Spinal Cord Injured Person

Kun-Ho Lee¹, Sang-Min Hong², Yun-A Shin³

¹Department of Icheon Training Center, Korea Paralympic Committee, Incheon; ²Department of Physical Education, Dongguk University, Cheonan; ³Department of Exercise Prescriptions and Rehabilitation, Dankook University, Seoul, Korea

PURPOSE: Spinal cord injuries cause a decrease in overall body function after spinal cord injury. The physical fitness of the spinal cord injured person varies greatly depending on the level of injury, physical activity, and the use of a wheelchair. Therefore, exercise prescription programs that take into account the type of disability of the spinal cord injuries will help improve physical fitness. The purpose of this study was to identify the physical characteristics of spinal cord injured people by examining previous studies and to suggest strategies for applying effective exercise programs.

METHODS: This study was conducted to investigate previous studies and to present the physical characteristics of spinal cord injuries according to spinal cord injury level, physical activity level and wheelchair use, and to determine the appropriate exercise test method and effective exercise prescription strategy.

RESULTS: This study suggested the exercise test method considering the physical characteristics of the spinal cord injured people and the NMES exercise program for the cardiorespiratory capacity enhancement exercise program and the NMES exercise program for the prevention of the lower extremity muscle activity.

CONCLUSIONS: The application of a customized exercise prescription program for spinal cord injuries would have a positive effect on the prevention of secondary complications due to spinal cord injury and improvement of the quality of life of people with spinal cord injury. Based on the results of this study, we expect that the scientific exercise prescription program will be applied to people with spinal cord injuries.

Key words: Spinal cord injury, Physical fitness, Exercise prescription, Exercise test

서론

척수손상장애인(척수손상인)은 대표적 중추신경계인 척수의 손상으로 몸통 및 사지에 완전 또는 부분적으로 마비되어 감각기능과 운동기능의 제한을 보이는 장애인으로 정의된다[1]. 척수손상은 외상 또는 종양 등에 의해 척수의 기계적 압박이 발생되고, 척수에 국소적 허혈, 부종, 출혈 등이 유발되어 손상을 가중시켜 척수 내 세포 괴사, 축

삭의 퇴행이 발생하게 된다. 이후 수초 내 빈공간(cavity) 형성, 끊어진 축삭표시인자인 수축전구(retraction bulb)가 발생되며 축삭 연결 절단과 탈 수초화(demyelination)를 일으켜 신경 전달에 제한을 초래하는 병리학적 특징을 보인다[2]. 척수손상의 회복을 위해 줄기세포를 이용한 치료법 개발이 시도되고 있으나 현재까지 임상적으로 검증된 치료법은 없는 실정이다. 따라서 척수손상인은 손상된 척수의 재생이 불가능하여 신경전달기능 제한에 따라 영구적이고 회복 불가능한 장애를 가

Corresponding author: Yun-A shin Tel +82-41-550-3831 Fax +82-41-550-3831 E-mail shinagel@empas.com

Keywords 척수손상, 체력, 운동처방, 운동검사

Received 6 May 2019 Revised 22 May 2019 Accepted 23 May 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.

Table 1. Incomplete spinal cord injured area syndrome [5,6]

Classification	Damage location	Restriction function	Remaining function
Anterior cord syndrome	Front of spinal cord	Pain, temperature sensation, exercise control ability	Unique sense, tactile sense ability
Central cord syndrome	Center of spinal cord	Pain, temperature sensation, Upper extremity exercise function	Lower limb movement function and overall function remaining according to degree of injury
Brown-sequard syndrome	Left or right of the spinal cord (Unilateral cut)	Damage side- damage control function under spinal cord segment, conscious proprioception, tactile discrimination ability Damage opposite- pain, temperature sensation	Other intact features remain
Cauda-equina syndrome	Below lumbar nerve 2	Lower limb sensory impairment and muscle relaxation, bladder and bowel function	Other intact features remain

지고 살아가게 된다[3].

척수손상인은 척수 손상위치와 그 정도에 따라 신체기능의 소실 수준은 차이가 나타나게 되는데, 척수손상은 크게 두 가지 기준에 의해 분류된다. 첫째, 척추 척수분절의 감각 및 운동기능이 완전히 소실된 ‘완전손상(complete injury)’과 부분적으로 감각 혹은 운동기능이 잔존하는 ‘불완전손상(incomplete injury)’, 둘째, 좌우의 감각과 운동기능이 정상적으로 남아있는 가장 아래 척수분절을 확인하는 ‘신경학적 수준(neurological level)’으로 분류된다[4]. 더불어 불완전손상(incomplete injury)은 척수의 손상된 위치에 따라 앞쪽 척수증후군(anterior cord syndrome), 중심 척수증후군(central cord syndrome), 브라운-세쿼드 증후군(Brown-Séquard syndrome), 말총증후군(cauda equina syndrome) 등으로 구분되고 있으며 이는 척수손상 후 개인별로 다양한 형태로 신체기능의 차이가 보이는 것을 표준화하는 데 활용된다(Table 1) [5]. 미국척수손상협회(American Spinal Injury Association, ASIA)는 이 기준을 근거하여 척수손상인의 신경학적 수준을 평가하기 위한 도구인 ‘ASIA 분류법’을 개발 및 보급하였으며, 전 세계적으로 척수손상인을 대상으로 한 임상 현장에서 널리 활용되고 있다[6]. 척수손상은 비교적 가동범위가 넓은 경수 5-7번, 흉수 12-요수 1번 척수분절에서 많이 발생되며, 경수부 55%, 흉·요수부 30%, 천수부 15% 순으로 팔다리의 기능 소실을 보이는 경수부 손상의 사지마비(Tetraplegia) 척수손상인이 다리 기능에 국한적 소실을 보이는 흉수부 이하 손상의 하지마비(Paraplegia) 척수손상인보다 높은 손상빈도를 보이고 있다[7].

척수손상인은 손상 후 신체조절기능 퇴화[8,9], 교감신경계(자율신경계) 기능이상[6,10], 근육 내 지방세포 증가[9], 비정상적인 탄수화물·지방·단백질대사[11-13], 골밀도[14] 및 근육량 감소[15] 등 내분비 기능의 변화가 발생한다. 이러한 변화는 심폐기능 및 근력감소, 심혈관계질환, 대사성질환, 비만, 근골격계질환, 제2형당뇨, 골다공증, 혈압이상, 심부정맥, 혈전증 등의 2차적 합병증을 유발하게 된다[6,16-22]. 척수손상인은 척수손상 수준에 따라 교감신경계와 신체기능의 차이를 나타내는

데, 중증인 하지마비가 사지마비보다, 불완전손상이 완전손상보다 높은 심폐기능과 근력 수준을 보인다[6,23]. 척수손상인은 신체활동참여 또는 활동적 스포츠참여 여부에 따라 체력의 차이를 나타내는데, 신체활동량이 많은 척수손상인이 적은 척수손상인보다, 활동적인 스포츠에 참여하는 척수손상인이 정적인 스포츠에 참여하는 척수손상인보다 높은 심폐기능과 근력 수준을 보인다[6,9,24]. 휠체어이용 여부에 따라서도 척수손상인의 상지 손상과 근기능에 차이를 보이는데, 휠체어를 이용하는 척수손상인은 불완전하게 보행이 가능한 척수손상인보다 상지 손상빈도와 근기능수준이 높게 나타난다[25,26].

이와 같이 척수손상인은 손상 후 신체 전반적 기능이 감소하지만 손상수준, 참여운동의 형태, 휠체어이용 여부 등의 일반적인 특성에 따라 체력적 변화의 차이가 나타나며, 이는 심혈관계 질환, 대사성질환, 근감소증, 근골격계질환, 비만 등 2차적 합병증 발병에도 차이를 나타내게 된다. 따라서 척수손상인의 운동은 손상수준과 일반적인 특성에 따라 운동을 적용해야 하지만 아직까지 장애인 운동은 비장애인과 유사한 전형적인 운동프로그램이 적용되고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 척수손상인의 손상과 신체활동수준에 따른 체력적 특성을 파악하고, 척수손상인의 일반적 특성을 고려한 운동프로그램을 제시하고자 한다.

본 론

1. 척수손상인의 손상과 신체활동 특징에 따른 체력적 특성

1) 척수손상 수준에 따른 체력적 특성

교감신경계 자극 뉴런은 흉수 3번과 요수 3번 사이에서 형성되며, 흉수 6번을 기준으로 손상수준에 따라 교감신경계 자극 뉴런에 차이를 보인다. 손상수준이 높은 척수손상인(경수-흉수 6번 이하)은 교감신경 자극 뉴런의 감소로 운동 중 심혈관계 반응에 제한을 보여 장시간·고강도 운동을 수행하는 데 제한이 따르고, 심혈관계 질환[22]과

당뇨[11,13,20] 유병률이 높게 나타난다. 교감신경계 자극 뉴런의 감소는 부신수질의 카테콜라민 분비에 장애를 유발하여 운동 시 혈중 카테콜라민 수준과 함께 심박수, 심박출량, 환기량 등을 감소시켜 결과적으로 심폐기능을 제한하게 된다. 또한 손상된 척수의 수준이 높을수록 운동신경 및 감각신경의 신경차단 정도가 높아지는데, 특히 근육으로 전달되는 운동뉴런(말초신경계) 형성수준이 낮아지면서 근 수축 기능이 감소하게 되어 근 위축과 함께 근력감소를 나타낸다[27]. 흉수 4번 이하(경수-흉수 4번)의 척수손상인은 운동 시에도 심박수 증가가 최대 130 bpm을 넘지 않고, 심장기능과 근수축 기능 감소에 따라 작업 능력(work capacity)의 심각한 제한을 나타낸다고 보고하였다[6,28].

흉수 6번을 기준으로 체력과 운동 시 반응의 차이에 대해, Steinber et al. [29]은 손상수준이 높은 척수손상인(흉수 1-6번)보다 낮은 척수손상인(흉수 7-12번)이 안정 시와 최대운동검사 후 혈중 노르에피네프린(norepinephrine) 수준, 최고산소섭취량, 최고심박수, 최대운동량이 높은 것으로 보고하였고, Bernard et al. [30]은 손상수준에 따른 어깨 회전 최대근력을 저속(60/sec), 중속(180/sec), 고속(300/sec)에서 비교한 결과, 손상수준이 높은 척수손상인의 주측과 비주측의 외회전 최대근력이 손상수준이 낮은 척수손상인보다 낮은 결과를 보였으나 주동근·길항근 근력비율은 손상수준 간의 차이가 나타나지 않은 것으로 보고하였다. Jacobs et al. [6]은 척수손상 수준이 높을수록 수축 단백질 감소, myosin 이형성 증가 및 저항에 대한 피로도 증가로 인해 최대수축력이 감소한다고 보고하였다. Lee & Shin [24]의 손상수준에 따른 근력과 심폐능력 비교에서도 심폐능력에서는 흉수 6번 이상 손상된 척수손상인이 흉수 6번 이하의 척수손상인에 비해 최고산소섭취량, 최고심박수, 최고환기량이 낮고, 최고산소섭취량 대비 환기역치 비율이 높은 것으로 보고하였다. 근력에서는 흉수 6번 이하 척수손상인이 흉수 6번 이상의 척수손상인에 비해 주관절 굴곡과 신전의 최대근력이 낮았으나, 주동근·길항근 근력비율과 좌우측 간 근력비율은 차이가 나타나지 않는 것으로 보고하였다. 장애유형에 따라서도 근력수준은 차이를 나타냈는데, 척수 회백질 전각의 부분적 손상으로 하지 운동 신경기능 감소를 보이는 소아마비 장애인(소아마비인)이 외상성 손상의 척수손상인보다 어깨 굴곡력·신전력, 팔꿈치 굴곡력, 손목 굴곡력

에서 높은 수준을 나타냈다고 보고하였는데[31], 이는 소아마비 장애인의 감각신경 기능이 보존되고 있기 때문에 근력에 영향을 준 것으로 제시하였다.

이처럼 척수손상으로 인해 손상된 감각 및 운동신경의 잔존 여부는 체력과 밀접한 관련이 있으며[31,32], 특히 흉수 6번을 기준으로 뚜렷한 체력수준의 차이를 보이게 된다[24,29]. 손상수준과 밀접한 관련이 있는 체력평가 변인으로는 심폐체력의 최고산소섭취량($R^2 = .42-.45$)과 최고운동량($R^2 = .46-.76$), 근력의 상지 등척성근력($R^2 = .39-.41$)과 30초 최대 무산소성파워($R^2 = .46$) 등이 제시되며[33], 흉수 6번의 손상을 기준으로 손상수준에 따른 체력변인별 표준값을 심폐체력, 사지마비 및 하지마비의 체력수준으로 구분한 것은 Tables 2, 3에 제시된 바와 같다[26,29,33,34].

2) 신체활동 수준에 따른 체력적 특성

비장애인을 대상으로 한 선행연구들에서 신체활동의 부재는 10년 마다 5-10%의 최대산소섭취량을 감소시키며[35-37], 반대로 규칙적인 신체활동은 노화과정 등에 따른 최대산소섭취량과 최대환기량의 감소를 방지하는 효과가 있는 것으로 보고하고 있다[38]. 낮은 심폐기능은 과체중과 비만에도 영향을 주어 심혈관계질환, 제2형 당뇨, 고혈압, 심장병, 암, 수면장애, 불임 등을 야기한다[39-41].

척수손상인도 신체활동 및 운동의 참여수준에 따라 체력수준의 차이를 나타내게 되는데, Janssen et al. [33]은 신체활동을 주당 1시간 미만 참여하는 비활동성 척수손상인이 주당 6시간 이상 장애인스포츠에 참여하는 척수손상인보다 최고산소섭취량, 최고심박수, 최고환기량, 호흡교환율(비활동 척수손상인 높은 수준), 무산소성 파워, 등척성 상지근

Table 2. Cardiopulmonary Function difference based on thoracic nerve 6 damage [26,29,33,34]

Variable	Above T6 (cervical-T6)	Below T7
VO ₂ peak (mL/kg/min)	13-23	22-35
HR peak (bpm)	129-141	171-188
PO max (W)	25-61	66-98
%VT/VO ₂ peak (%)	66-87	66-70

Table 3. Classification by physical fitness level of paraplegia and Tetraplegia [33]

Variable	Poor	Fair	Average	Good	Excellent		
Cardiopulmonary function	VO ₂ peak (mL/kg/min)	Tetra plegia	< 7.60	7.61-10.00	10.01-13.39	13.40-16.94	> 16.94
		Para plegia	< 16.50	16.51-22.70	22.71-29.20	29.21-34.35	> 34.35
	PO max (W)	Tetra plegia	< 11.60	11.6-20.0	20.1-26.8	26.8-37.5	> 37.50
		Para plegia	< 52.70	52.8-70.4	70.5-82.1	82.2-97.8	> 97.80
Anaerobic capacity	Peak power _{30s} (W/kg)	Tetra plegia	< 0.25	0.25-0.33	0.34-0.54	0.55-0.93	> 0.93
		Para plegia	< 1.05	1.05-1.22	1.23-1.58	1.59-1.85	> 1.85
	Peak power _{30s} (W)	Tetra plegia	< 18.70	18.8-25.4	25.5-39.1	39.2-68.4	> 68.40
		Para plegia	< 75.00	75.0-92.9	93.0-114.1	114.2-133.4	> 133.40

력이 낮은 수준을 나타내는 것으로 보고하였다. Shin et al. [32]도 지속적으로 장애인스포츠에 참여하는 척수손상인 선수는 비장애인에 비해 높은 제지방량당 최고산소섭취량과 최고심박수 및 낮은 호흡교환율을 나타내어 우수한 심폐능력을 나타내는 것으로 보고하였다. 이는 척수손상에 따른 근육의 무운동성은 하지 근육펌프, 혈관 및 내장근의 수축력 감소를 유발하여 정맥혈 회귀와 이완기말 좌심실 혈액량 감소를 초래하여 구조적으로 심폐능력을 감소시키는 요인으로 작용하지만[22], 척수손상인의 지속적인 신체활동 참여는 심폐능력과 근력에 영향을 주므로 지속적인 스포츠 활동에 참여한 척수장애인은 오히려 장애인보다 우수한 심폐체력을 가지는 것으로 제시되었다[32,33].

국가대표급 척수손상인을 대상으로 신체활동 수준이 높은 핸드사이클, 휠체어펜싱, 조정 등의 종목에 참여하는 선수와 비교적 신체활동수준이 낮은 사격, 양궁, 컬링 등의 종목에 참여하는 선수들을 비교한 연구결과에서도[24] 심폐능력이 신체활동수준이 높은 종목선수가 낮은 종목선수보다 운동지속시간과 무산소성 환기역치 수준이 높은 것으로 보고하여 이러한 결과들을 뒷받침하고 있다. 그러나 팔꿈치 굴곡과 신전의 근기능은 최대근력과 주동·길항근 근력비율, 좌우측 근력비율 모두에서 유의한 차이가 나타나지 않아, 척수손상인의 신체활동수준에 따른 운동종목의 차이는 심폐능력에는 영향을 미칠 수 있으나 근력에는 참여종목 간 특별한 차이가 없는 것으로 보고되었다.

신체활동 수준 및 참여종목과 체력변인 간 상관관계를 분석한 결과를 보아도 결정계수(coefficient of determination, R²)가 심폐체력의 최고산소섭취량은 .21-.34, 최대운동량은 .26-.36으로 신체활동 수준과 심폐능력의 상관수준은 21-36%로 나타내며 근력은 30초 최대 무산소성파워가 .09, 상지등척성 근력이 .07-.10으로 상관수준으로 거의 없는 것으로 보고되었다[33]. 즉, 척수손상인의 신체활동 수준 및 참여종목의 차이는 심폐능력과 밀접한 상관이 있으나 상지근력과는 관련성이

낮은 것으로 보여진다. 이는 일상작업, 이동, 휠체어이용 등 대부분의 일상생활을 상지 근력을 이용하여 활동하기 때문에 발달된 상지근력으로 인해 신체활동 수준 및 참여운동 차이에 따라 특별한 차이가 나타나지 않는 것으로 사료된다[24,33]. 신체활동 수준에 따른 체력적 특성차이는 Table 4와 같다[24,32].

3) 휠체어 이용에 따른 체력적 특성

대부분의 척수손상인은 하지마비로 인해 일상에서 휠체어를 이용하여 이동하고 생활하게 되는데, 이는 상지의 과사용에 따른 정형외과 질환[42], 심혈관계질환[43], 대사증후군[43,44] 유병률을 높이는 것으로 알려져 있다. 특히 휠체어 이용자의 30-73%에서 어깨손상[26,42], 49-63%에서 손목손상[45]이 있으며 수술적 치료 및 재활운동을 필요로 하는 것으로 보고되었다.

휠체어이용 척수손상인에게 유발되는 대표적 어깨손상은 어깨충돌증후군(회전근개파열)으로, 어깨관절의 지속적 스트레스로 어깨 주변 근육의 과활성화와 근피로가 유발되어 어깨 가동범위를 제한하고 어깨충돌증후군을 유발하는 것으로 알려져 있다[25]. 이런 반복적인 어깨손상은 후하방관절낭 구축, 소흉근 단축, 어깨 주변근력의 불균형, 견갑골 전인 및 거상되는 구조적 위치변화를 유발하며 만성 어깨통증과 질환으로 진행되게 된다[46,47]. 휠체어 추진 시 손목은 넓은 가동범위의 굴곡과 신전이 반복적으로 일어나며, 효과적 휠체어 추진을 위해 손가락은 휠체어림(Wheelchair Rim)을 강력하게 쥘 상태에서 손목 굴곡을 통하여 휠체어를 추진하게 된다[45]. 휠체어림을 강력하게 쥐기 위해서는 근 역학적으로 손목 굴곡근의 능동적 불충분(active insufficiency) 현상을 방지하기 위해, 쥐기 동작 시 손가락 굴곡의 단축성 수축과 함께 손가락 및 손목신전근의 신장성 수축이 이루어져야 한다. 이런 반복적인 손목 및 손가락 신전 근육의 신장성 수축은 팔꿈

Table 4. Physical fitness according to physical activity level [24,32]

Variable		Non physical activity	Low levels of physical activity	High levels of physical activity
Cardiopulmonary function	VO ₂ peak (mL/kg/min)	18.70±3.72	22.9±6.8	27.7±6.9
	HR peak (bpm)	155.0±20.2	150.5±40.3	161.4±22.6
	VE peak (L/min)	37.9±19.2	59.5±21.4	68.1±17.9
	VT/VO ₂ peak (%)	-	55.5±15.2	68.1±14.2
	Peak time (min)	-	11.4±3.5	15.7±5.6
Elbow muscle strength and strength ratio	Rt. Flexion (BW %Nm)	-	82.3±28.1	73.7±23.5
	Rt. Extension (BW %Nm)	-	65.8±19.8	61.6±19.7
	Lt. Flexion (BW %Nm)	-	78.8±27.7	72.3±25.3
	Lt. Extension (BW %Nm)	-	63.8±18.9	63.1±21.3
	Rt. Flexion/Extension (%)	-	127.7±30.2	122.3±32.0
	Lt. Flexion/Extension (%)	-	123.7±19.9	115.7±19.7
	Flexion Rt./Lt. (%)	-	98.1±18.3	97.4±15.3
Extension Rt./Lt. (%)	-	100.3±21.3	104.1±29.9	

치 외측상과염 발병률을 증가시키고[48], 단요측수근신근(Extensor Carpi Radialis Longus, ECRL)과 총지신근(extensor digitorum communis, EDC)의 근단면적을 증가시키게 된다[26].

휠체어이용 여부에 따른 체력비교[26]에서도 완전손상으로 인해 휠체어이용을 하는 척수손상인은 손상수준이 낮고 불완전 손상으로 보행하는 척수손상인 대비 근육량이 54%, 체지방률이 151% 수준으로 유의한 차이를 보여 신체조성에 부정적인 영향을 주는 것으로 보고되었다. 이는 하지의 근 수축 부재로 하지 근 감소가 발생하고, 안정 시 대사량감소가 유발됨에 따라 체지방률이 증가되어 과체중, 비만 등에 의한 대사성질환, 심혈관계 질환의 발병 위험성이 높아지기 때문이다. 따라서 휠체어이용 척수손상인의 건강과 체력을 증진시키기 위한 방안으로 수동적(passive) 하지 근 수축 운동 등의 적용이 필요할 것으로 제시되었다[17]. 어깨근력은 휠체어이용 척수손상인이 보행 척수손상인에 비해 외회전 최대근력이 통계적으로 유의하게 높은 수준을 나타냈으나 어깨 내회전, 손목 굴곡과 신전 근력은 차이가 나타나지 않는 것으로 보고되었다. 어깨의 외회전력은 휠체어 추진 시 주요하게 활성화되는 근력으로 휠체어이용 척수손상인의 강력한 휠체어추진을 위해서는 어깨 외회전력이 요구될 것이다[30]. 따라서 휠체어이용 척수손상인은 반복적인 사용에 의해 손목 근 면적은 증가하지만 손목 굴곡과 신전의 단축성 근 수축력은 보행을 하는 척수손상인과 차이가 나타나지 않는 것으로 사료된다.

이와 같이 척수손상인의 휠체어이용은 하지의 근 수축활동 부재로 인한 골격근량 감소와 체지방률 증가를 유발하고, 어깨의 외회전 근력이 발달되며 손목 단요측수근신근과 총지신근의 반복적 신장성 수축에 따라 근단면적을 증가시키게 된다. 반면 손목의 단축성 근 수축력은 휠체어이용 여부에 따른 차이가 나타나지 않는 것으로 보인다.

2. 척수손상인의 일반적 특성에 따른 운동전략

1) 척수손상인의 운동검사

(1) 운동부하검사(Graded Exercise Test, GXT)

운동부하검사는 심폐능력평가를 위해 점진적으로 운동강도를 증

가시켜 개인이 가진 최대 수행운동에 적응하는 능력을 평가하는 검사로 하지 또는 사지마비의 특징을 가진 척수손상인의 운동부하검사는 암에르고메터(arm ergometer) 또는 휠체어 트레드밀(wheelchair treadmill)을 이용하여 검사를 진행[24,29,31,33-35,37]한다. 비교적 근육량이 적은 상지를 이용한 척수손상인의 검사는 하지를 이용한 검사에 비해 조기에 근 피로를 유발하고, 조기 심박수 증가와 운동부하 증가의 한계 등의 이유로 운동지속 시간이 감소하기 때문에[16] 상지를 이용한 운동부하 검사의 VO₂peak가 하지를 이용한 검사의 70% 수준에서 형성되는 것으로 알려져 있다[49]. 검사 중 실시간 호흡가스 분석을 통하여 VO₂peak, HR peak, VE peak, VT%, PO peak (또는 max) 등의 평가변인을 측정하여 개인별 심폐능력을 평가하게 된다. 신뢰성 있는 검사를 확보하기 위하여 검사환경은 온도 18-21°C, 습도 50-60%를 유지하고, 8-14분 이내에 검사가 종료(휠체어트레드밀 이용 시 8분 이내 종료)될 수 있는 프로토콜을 적용해야 하며 검사 전 과격한 운동 또는 약물 복용은 제한되어야 한다[24,49-53]. 운동부하검사 실시 전 운동부하 검사의 목적, 위험성, 검사방법 및 순서를 대상자에게 고지하고 본 검사 실시 전 심장 및 근골격계 손상을 예방하기 위해 준비운동 또는 사전운동을 5-15분 실시하여야 한다[16,24,29,32-35,37,51-55].

척수손상인은 상지 조기피로에 의해 운동검사를 중단하게 되는 제한점이 있기 때문에 이러한 문제를 최소화하기 위한 다양한 검사프로토콜이 개발되었다. 척수손상 수준에 따라 검사프로토콜을 달리 적용해야 하며, 암에르고메터와 휠체어트레드밀을 이용한 척수손상인의 운동부하검사 프로토콜은 Table 5와 같다[24,29,32,50-56].

(2) 등속성 근 기능 검사

척수손상인의 안전한 근력평가를 위해서는 등속성 근 기능측정장비를 이용한 최대우력(Peak Torque, Nm) 검사가 권장된다. 등속성 저항은 설정한 각속도를 기준으로 하며 관절 각도마다의 최대근력을 평가할 수 있고, 최대근력이 발현되는 각도, 발현 시간, 근 피로율, 길항근·주동근 근력비율, 좌우 근력비율 등 다양한 근 기능을 평가할 수 있다. 등속성 저항은 인체 관절마다 적용 각속도에 차이가 있으며, 저속(30-

Table 5. Grade Exercise Test protocol of spinal cord injured person

Equipment	Subject	Start load (or speed)	Increase speed	Increase load (or Gradient)	Increase time	Reference
Arm Ergometer	Tetra plegia	5 W	50 rpm (Fix)	5 W	1 min	[50]
	Para plegia	25 W	60-70 rpm (Fix)	12.5 W	2 min	[24,29,32]
		30 W	60 rpm (Fix)	15 W	2 min	[52]
		40 W	75 rpm (Fix)	10 W	1 min	[51]
Wheelchair Treadmill	Tetra plegia	Gradient 1%	1.2 m/sec (Fix)	Gradient 0.1%	40 sec	[51,53,55,56]
	Para plegia	Gradient 1%	1.2 m/sec (Fix)	Gradient 0.3%	1 min	-
		Gradient 1%	8 km/hr (Fix)	Gradient 0.5%	2 min	[54]
		2.0 m/sec	0.4 m/sec	Gradient 1%(Fix)	3 min	[55]

60/sec 이하), 중속(120-180/sec 이상), 고속(240-500/sec 이상)의 각속도 차이에 따른 최대근력, 총일량, 발현시간 등을 측정하여 근력, 근파워, 근지구력 평가를 할 수 있다[57-60]. 등속성 평가는 장애인뿐만 아니라 아닌 비장애인에서도 널리 활용되고 있으며 나아가 재활치료, 운동선수의 의학적 근기능 검사 등에도 활용되고 있다[29,59]. 척수손상인을 대상으로 한 등속성 근력은 손목, 팔꿈치, 어깨 등 상지 관절에 국한되어 실시되고 있으며 이는 단순한 근력평가와 더불어 근기능도 함께 평가하게 된다[24,26,30].

2) 심폐기능 향상을 위한 운동전략

척수손상인은 척수손상 이후 심혈관계질환, 대사성질환, 비만, 심근위축, 체온조절 이상, 심박수 및 혈압의 이상, 욕창, 골다공증, 폐렴, 실금 등의 증상과 질환이 유발되고, 이는 척수손상인의 운동참여를 제한하는 요인으로 작용한다. 이런 기저질환과 관련 증상은 척수손상인의 운동 중 2차적 안전사고에 위험성을 증가시키므로 주의를 기울여 심폐기능 향상 운동처방 프로그램을 설계하고 운동을 진행해야 한다 [16-18].

경수 또는 흉수 4번 이상 손상된 중증장애 척수손상인은 자율신경계 이상이 유발되어 심폐운동 시 운동 중 변화되어야 하는 심혈관 및 내분비계 변화(신경계 이상에서 기인)가 제한되어 운동 중 위험성이 증가하게 된다. 심폐운동 시 중증 척수손상인일수록 안전사고에 대해 많은 고려가 필요하며, 운동 중 적절한 관리가 이루어지지 않았을 경우 운동 중인 척수손상인이 사망할 수 있다. 운동 중 위험반응으로는 자율신경성 반사부전증(autonomic dysreflexia)을 들 수 있으며, 경수 손상을 입은 사지마비와 높은 수준의 하지마비(경추신경-흉추신경 5번) 척수손상인에서 발생할 수 있다[5,6]. 이는 방광의 팽창, 신장기능 이상, 비독성 자극, 감염, 압통 등의 자극으로 인해 유발되며, 단시간에 혈압과 맥박이 증가하고, 오한, 두통 등의 증상이 나타나고, 심각할 경우 혈압의 지속적인 상승으로 뇌혈관 손상 등이 발생되어 사망에 이르게 된다[6]. 이를 예방하기 위해서 운동 전 방광의 소변을 비우고 운동 전후 혈압을 측정하여 혈압 변화를 확인하는 것이 필요하며 운동 중 흐린 시야, 소름, 두통, 어지러움의 징후가 보일 경우 운동을 중지하고 휴식을 취하여야 하며, 휴식 15분 후 운동 전 혈압으로 돌아오지 못하거나 두통 또는 흐린 시야 등이 계속될 때는 즉시 의사의 처치를 받아야 한다[6,7].

더불어 척수손상인은 체온조절 기능에 제한을 나타내므로 운동 시 에너지대사증가로 발생하는 열의 제거가 어렵다. 따라서 운동 시 짧은 주기로 수분을 섭취하고 서늘한 장소를 확보하여야 하며, 알코올과 물을 혼합하여 마비가 되지 않은 부위에 스프레이 형태로 분사하여 체온조절 기능을 보조해야 한다[6,28,61].

척수손상인은 운동 중 정맥혈 저류(venous pooling)로 인해 저혈압

이 발생되며 운동 중 심박수 감소, 실신감, 어지러움, 현기증 증상이 발생될 수 있는데, 몸을 장시간 세운 자세로 있거나 갑작스럽게 기립자세로 변화할 때 자주 발생된다. 마비로 인한 하지 골격근의 비활성화는 정맥혈 심장회귀에 부정적 영향을 미치게 되며 운동 중 골격근으로의 혈류 공급 부족을 초래하게 된다. 이를 예방하기 위해서는 운동 중 하지의 전기자극을 이용한 신경근 전기자극 운동 또는 압박스타킹 착용을 병행하여 정맥혈 회귀를 보조해야 하며, 누운 상태에서 운동 시에는 다리가 심장보다 조금 높은 위치에서 진행하는 것이 권장된다[28,61,62].

척수손상 장애인은 휠체어에 의존한 생활로 인해 신체활동량 감소 [63], 근육량 감소 및 체지방량 증가[26], 교감신경계(자율신경계) 기능 저하[5,10], 신체조절기능 퇴화[5,8,9]가 유발되며 이는 척수손상인의 심폐능력을 저하시키는 원인[63]으로 작용한다. 척수손상인은 운동 시 상대적으로 적은 근육이 동원되고 쉽게 피로해지기 때문에 심폐능력을 증진시키기 위한 운동의 효과는 다양하게 나타난다[64,65]. 불완전 하지마비 척수손상인을 대상으로 7주간 주 3회 심폐운동을 실시하였을 때 최고산소섭취량이 12%, 최고파워가 31% 향상되는 효과가 있고[23], 완전 하지마비 척수손상인을 대상으로 12주간 서킷 운동을 실시하였을 때는 최고산소섭취량이 30% 향상되는 효과가 있는 것으로 보고[66]되고 있다. 그러나 휠체어 이용 척수손상인에게 암에르고미터 운동을 3-4년간 실시한 후에도 심폐능력의 개선효과가 없었다는 연구 결과도 보고되었다[65]. 이처럼 척수손상인의 훈련에 따른 심폐능력 향상은 척수손상 수준과 운동방법에 따라 차이를 나타내지만 보다 많은 에너지를 소비할 수 있는 운동프로그램이 효과가 있을 것으로 제시되고 있다. 또한, 척수손상인의 심폐능력 향상을 위해서는 최소 8주 이상의 규칙적인 신체활동 또는 운동 참여가 요구되며 사지마비 척수손상인의 경우 16주 이상의 근지구력을 동반한 심폐능력 향상 운동프로그램의 참여가 권장된다[6,67].

앞서 언급한 것과 같이 척수손상수준에 따른 심폐체력은 차이가 있으므로 운동강도의 차이를 두고 처치를 해야한다. 흉수 6번 이상 손상 척수손상인은 50-80% VO₂peak로, 경수부터 흉수 6번 이하 손상 척수손상인은 50-90% VO₂Reserve로 운동처방하는 것이 권장하며 교감신경계 이상으로 운동 중 심박수 제한을 보이는 경수부터 흉수 6번 이하 손상 척수손상인은 최고심박수를 130-140 bpm 수준으로 설정하고, 안정적 운동관리를 위해 65-95 bpm (50-73% HRpeak)으로 적정심박수를 설정하여 운동프로그램을 진행하는 것이 권장한다[6,28,61].

이와 같이 척수손상인의 심폐운동처방 시 척수손상 수준에 따라 운동처방을 달리 적용하는데, 경수부터 흉수 6번 이하 손상 척수손상인은 Table 6과 같이, 흉수 6번 이상 손상 척수손상인은 Table 7과 같이 운동처방 프로그램 진행이 권장된다[6,28,60,64,65].

Table 6. Tetraplegia and thoracic nerve Less than 6 spinal cord injury cardiovascular fitness exercise guide [6,28,60].

Type of exercise	Goal	Intensity/Frequency/Exercise Time
Wheelchair ergometer	Increased muscle mass and muscle strength	Intensity : 50-90% VO ₂ Reserve (HR: 65-95 bpm)
Wheelchair treadmill	Maximize muscle strength for independent activities	
Arm ergometer (ACE)	Improved wheelchair propulsion ability	Frequency : 3-5 day/week
swimming	Increase in oxygen uptake	Exercise Time : 20-60 min/time
Wheelchair Sports	Improve cardiovascular function	Duration: over 16 weeks
Upper and Cycle ergometer FES-LCE / UCE (NMES exercise parallel)		
Precautions		
- Maximum heart rate: 130-140 bpm (20-30's)		
- Initial exercise load: 40-60% VO ₂ peak, 10-20 minutes, 3 times/week		
- Cervical nerve 3-5 injured person needs respiratory muscle exercise (limitation of respiratory stimulation and diaphragm function)		
- Emptying urine of the bladder before exercise		
- Checking before exercise: Non-toxic irritation, infection, kidney dysfunction, tenderness		
- Checking before and after exercise: Blood pressure, Sudden change in blood pressure		
- If you have signs of headache, blurred vision, goose or dizziness during exercise - If blood pressure is higher than normal blood pressure after consultation, prompt medical consultation is recommended		

Table 7. thoracic nerve more than 6 spinal cord injury cardiovascular fitness exercise guide [6,28,60,64,65].

Type of exercise	Goal	Intensity/Frequency/Exercise Time
Wheelchair ergometer	Increased muscle mass and muscle strength	Intensity: 50-80% VO ₂ peak or HRpeak
Wheelchair treadmill	Maximize muscle strength for independent activities	
Arm ergometer (ACE)	Improved wheelchair propulsion ability	Frequency: 3-5 day/week
swimming	Increase in oxygen uptake	Exercise Time: 20-60 min/time
Wheelchair Sports	Improve cardiovascular function	Duration: 8-12 weeks
Upper and Cycle ergometer	Lower extremity muscle activation	
Upper circuit resistance		
NMES parallel cycle		
NMES parallel walk		
Precautions		
- Maximum heart rate: 171 bpm (20-30's), 70% of non-disabled		
- Initial exercise load: 40-60% VO ₂ peak 10-20 minutes, 3 times / week		
- Exercise effect: increase of VO ₂ peak 10-20% during 8-12 weeks exercise		
- Falling wheelchair, Exercise caution such as pressure ulcer due to sweaty butt friction during exercise		
- Possible to operate a similar exercise prescription program on non-disabled person		

3) 근력향상 및 근골격계 질환 예방을 위한 운동전략

(1) 하지 근감소개선을 위한 신경근 전기자극(Neuromuscular electrical stimulation, NMES) 운동

척수손상인은 하지의 수의적 근수축이 제한되어 외부적인 자극을 통한 근 수축 운동이 제시되는데, 신경근 전기자극(NMES) 운동은 표면전기 자극을 활용하여 적용 부위의 신경 섬유에 탈분극을 일으켜 근 수축을 유발시키는 방법으로 걷기, 서기, 운동 등과 같은 기능적 움직임과 함께 하거나 신경근 전기자극만 단독적으로 시행하게 된다. NMSE 운동은 1977년 러시아의 Kots가 중추파 전류를 활용해 장시간 무중력 부하에 노출된 근육과 근기능 감소를 보인 우주비행사에게 적용한 결과 근육 및 골밀도 감소를 개선시키는 효과가 보고[68]된 이후 운동선수[69]를 비롯해 만성폐쇄성 폐질환[70]과 척수손상인[71,72], 뇌

졸중, 소아마비, 연하장애 등의 신경계 장애인[73]을 대상으로 효과가 입증되어 널리 활용되고 있다.

NMES 운동은 근육량 증가, 근력 및 근지구력 증가, 인슐린 민감성 및 당대사 증가[74], 산소섭취량 증가[75,76], 에너지소모량 증가와 신체 조성 개선[17], 혈류량 증가[77], 잠재질환 개선[78,79]에 효과가 있는 것으로 보고되었고, 적용 빈도는 연구자마다 차이가 있으나 짧게는 4주부터 길게는 6개월간 주 3회, 회당 30분의 훈련 적용이 요구되는 것으로 보고되고 있다. NMES 운동은 최대 수의적 수축력(Maximal Voluntary Contraction)의 20-112% 수준까지 수축이 가능하며 수의적 근 수축과 달리 운동단위 동원(recruitment)이 비 선택적이고, 시간적으로 동시에 일어나며 공간적으로 한정되어 일어나게 되는 특징이 있다. 또한 대사적 스트레스가 휴식 대비 2-4배 정도 증가되지만 국소적으로

제한되어 일어나는 특징으로 수의적 근 수축 운동보다 적은 대사(metabolism)수준을 나타내게 된다[80,81]. NMES 운동은 느리게 연속(slow twitch unit)이 일어나는 Type I 섬유는 작은 운동 단위가 먼저 동원된 후 빠른 연속(fast twitch unit)의 Type II 섬유인 큰 운동단위가 동원되는 운동단위 동원원리(size principle)를 따르는 수의적 수축과 달리 작은 운동단위와 큰 운동단위가 동시에 동원(synchronous)되는 특징을 보이며 산소소비량 증가, 무산소성 대사 증가로 인한 젖산 축적, 최대 수의적 근수축력의 7-62%까지 근력 향상과 근 단면적이 증가되는 효과가 있는 것으로 보고되고 있다[82,83].

NMES 운동적용은 전기자극의 빈도와 강도를 설정하여 진행하게 되는데, 자극빈도는 1초에 수축되는 빈도를 가리키며 한 번의 자극은 0.2초의 근수축과 이완시간을 가지고, 10 Hz 이상 빈도 시 각 수축 간에 이완시간이 없어지게 되며 20 Hz 이상 시 연속적인 근 수축에 의해 강축이 발생하게 되므로 높은 빈도는 많은 근 피로를 유발하는 것으로 보고되고 있다[69,70,73,83]. 더불어 100 Hz 이상의 지나치게 높은 빈도(Hz)의 적용은 근조직의 손상이 유발될 수 있으므로[73,79] NMES 운동 적용을 30-50 Hz 빈도[73,74]에서 진행하는 것이 권장된다. 자극강도는 펄스 기간(Pulse duration)에 전류(current)를 곱한 것을 가리키며 높은 전류(mA)일수록 근섬유의 동원을 증가시켜 큰 힘을 내어 훈련의 효율성을 증가시키게 되지만 자극기간이 길면 통증이 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다. 보편적으로 임상 현장에서는 육안으로 근 수축을 하거나 대상자가 불편함을 느끼지 않는 한에서 최대의 강도로 최대의 근 수축을 유도하는 기준으로 활용하고 있으며, 개인의 피부 저항, 피하지방 두께, 신경위치 등이 다르기 때문에 수치화된 기준을 제시하는 것보다 최초 적용 시 낮은 강도에서 점진적으로 증가시키는 것을 권장한다[70,74]. 전기자극을 전달하는 전극의 표면적이 넓으면 여러 신경가지들의 전기적 흥분을 유발해 보다 넓은 범위의 근육을 수축시켜 더 큰 힘을 발생시킨다. 전극은 두 개 부착하여 사용하는 것이 보편적이며 비복근, 대퇴사두근, 대둔근 등 근육의 운동점(motor point)에 부착하여 근육의 긴장도와 산소 소비를 최대화하고, 두 전극 사이를 멀리 떨어뜨려 부착하여 조직 내의 전류량을 증가시켜야 한다[17,76-78,80].

Scremin et al. [84]은 만성 척수손상인을 대상으로 사이클을 이용한 하지 기능적 전기자극 운동 프로그램(FES-induced lower-extremity cycling, FESILEC)을 제시하였는데, 하지근육에 빈도(pulse frequency) 30 Hz, 트레인 기간(train duration) 10초의 전기자극을 통해 초기 무부하 NMES 운동에서 3-5 lbs 부하의 무릎 굴곡/신전 NMES 운동으로, 이후 사이클을 이용한 하지 기능적 전기자극 운동으로 점진적 부하를 증가하여 적용하기를 권장하였다. 약 53주간 주 3회 운동을 진행한 결과 운동하기 전에 비해 대퇴직근(rectus femoris) 31%, 봉공근(Sartorius) 22%, 대내전근과 슬괏근(adductor magnus & hamstrings) 26%, 외측광

근(vastuslateralis) 39%, 내측광근과 중간광근(vastusmedialis-intermedius) 31%가 증가하고 종아리와 허벅지의 지방세포 대비 근육의 비율이 증가된 것으로 보고하였다. Shields et al. [71]은 6주 미만의 척수손상 급성기 장애인을 대상으로 약 2-3년간 편측 비복근(gastrocnemius)에 NMES 운동을 빈도 15 Hz, 강도 0-200 mA, 트레인 기간 10초로 125회 실시한 결과 실시하지 않은 종아리보다 족저굴곡의 최대근력(24%)과 피로지수(50%), 경골의 골밀도(31%)가 증가된 것으로 보고하였다. Baldi et al. [72]도 14-15주간 척수손상 급성기 장애인을 대상으로 6개월간 빈도 35 Hz, 강도 100 mA, 15초 on/off로 NMES 운동(등척성 수축)을 실시한 집단과 빈도 60 Hz, 강도 0-140 mA로 6 W부하에서 35-50 rpm으로 사이클 하지 기능적 전기자극 운동을 한 집단, 운동을 하지 않는 집단의 총 체지방량(Total body lean body), 하지 체지방량(lower limb lean body mass), 둔부 체지방량(gluteal lean body mass)을 비교한 결과 운동을 하지 않은 집단은 초기에 비하여 6개월 후 각각 9.5%, 21.4%, 26.8%로 큰 폭의 감소를 보인 반면, NMES를 적용한 운동 집단은 미미한 감소를 보였고, 사이클 하지 기능적 전기자극 운동 집단은 하지 체지방량이 9.3%, 둔부 체지방량이 7.7% 증가한 것으로 보고하였다.

이와 같이 척수손상인에 NMES 운동의 효과를 극대화하기 위해서는 급성기 척수손상인을 대상으로 50 Hz 미만에서 실시하는 NMES 운동 또는 기능적인 동작과 함께하는 Functional Electrical Stimulation (FES) 운동프로그램 적용이 적절할 것으로 권장된다.

(2) 휠체어이용 척수손상인의 부상예방을 위한 운동

휠체어추진 시 빠른 속도, 경사도 증가 등에 따른 추진부하 증가는 부하 증가 전에 비해 상지의 손목·팔꿈치·어깨 관절 가동범위는 크게 변화되지 않으나 몸통굴곡·신전 가동범위 및 근 활성화도가 증가하는 보상적 움직임 패턴을 나타내는데, 이때 부상 없는 안정적인 휠체어 이용을 위해서 척수손상 후 잔존한 중심부(core) 근육의 최대 활성화가 필요하다[6,30,45,85]. 이 중 대표적인 운동으로 복근과 척추신전근 강화가 필요한데, Petrofsky et al. [85]이 제시한 앉은 자세의 6초 등척성 수축 복근과 척추신전근의 근력강화 운동프로그램 적용이 필요하다.

휠체어추진은 반복적열린사슬(OKC) 운동에 따라 상지 근위 분절의 과부하가 유발되며 그에 따른 어깨 관절의 높은 손상빈도를 보이므로, 이에 휠체어 이용 척수손상인은 과사용 어깨관절 손상을 예방하는 운동프로그램이 필수적으로 적용되어야 한다[25]. 어깨 관절의 대표적 과사용 손상으로 어깨 충돌후중근(Shoulder Impingement Syndrome)을 들 수 있는데, 이는 누적된 회전근개(rotator cuff) 근피로 및 약화, 견갑골 위치 변형, 관절낭 단축, 견봉 비정상적 변화 등이 주요 원인이므로 알려져 있다[25,46,47,87,88]. 이를 개선하기 위한 운동프로그램으로는 회전근개(rotator cuff), 능형근(rhomboid), 중·하부승모근

(middle · lower trapezius) 강화를 위한 Rowing 운동, Blackburn 운동, 휠체어 뒤로 타기 운동과 견갑골의 변형 및 후방 관절낭 단축을 개선하기 위한 후방관절낭 스트레칭, 소흉근 스트레칭 운동이 적용되어야 한다[85-89]. 또한 휠체어 추진 시 발생하는 근 역학적인 손목 신전근 (Extensor carpi radialis longus, Extensor digitorum communis)의 신장성 부하 발생에 따라 근육 면적이 넓어지게 되지만 이와 대조적으로 유연성 감소를 초래하여 손목손상과 팔꿈치의 외측상과염 등 근골격계 손상이 유발된다[26,90]. 따라서 이를 예방하기 위한 반복적인 손목의 굴곡근과 신전근의 스트레칭 운동프로그램이 적용되어야 할 것이다. 또한 척수손상인의 휠체어를 이용에 따른 흉추후만(kyphosis)과 견갑골의 전인(protraction)의 변형이 유발되므로 이를 개선하기 위한 소흉근, 대흉근 및 전거근 스트레칭 운동이 요구되며, 특히 흉수 6번 이하 손상 하지마비인(paraplegia)은 쉽게 자세(posture)의 이상이 관찰되므로 집중적인 자세 개선을 위한 유연성 증진 운동이 필요할 것이다 [42].

결론

척수손상인의 맞춤형 운동처방프로그램 적용은 척수손상으로 인해 유발되는 2차 질환 예방과 척수손상인의 삶의 질 개선에 긍정적 영향을 줄 수 있다. 척수손상인은 척수손상의 형태에 따라 개인별로 다양한 임상적 장애 특징을 보이므로, 신체의 구조 및 기능 차이를 이해하여 운동프로그램을 적용하는 것이 바람직하다. 흉수 6번 손상을 기준으로 한 척수손상 수준별 체력 특성, 신체활동 수준별 체력 특성, 그리고 휠체어이용 여부에 따른 체력 특성 등을 바탕으로 운동검사 및 운동프로그램 적용이 이루어져야 하며, 심폐능력의 차이와 제한을 나타내므로 이를 개선할 수 있는 운동프로그램이 계획되어야 할 것이다. 상지근력은 차이가 없지만 과사용에 따른 손상이 발생되므로 이를 개선하기 위한 프로그램이 적용되어야 하며, 적절한 강도와 빈도의 NMES 운동 또는 기능적인 동작과 함께하는 FES 운동프로그램이 하지근육 위축과 저하를 방지하는 데 도움이 될 것으로 제시하는 바이다.

CONFLICT OF INTEREST

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

REFERENCES

1. De La, Torre JC. Spinal cord injury: review of basic and applied re-

search. *Spine*. 1981;6:315-35.

- Li Y, Raisman G. Schwann cells induce sprouting in motor and sensory axons in the adult rat spinal cord. *J Neurosci*. 1994;14(7):4050-63.
- Mitsui T, Shumsky JS, Lepore AC, Murray M, Fischer I. Transplantation of neuronal and glial restricted precursors into contused spinal cord improves bladder and motor functions, decreases thermal hypersensitivity and modifies intraspinal circuitry. *J Neurosci*. 2005;25(42):9624-36.
- Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med*. 2011;(34)6:535-46.
- Lundy-Ekman, Laurie. *Neuroscience-E-Book: Fundamentals for Rehabilitation*. Elsevier Health Sciences, 2013.
- Jacobs PL, Nash MS. Exercise recommendations for individuals with spinal cord injury. *Sports Med*. 2004;34(11):727-51.
- Centers for Disease Control and Prevention. What you should know about spinal cord injuries. *Int J Trauma Nurs*. 2001;7(2):74-5.
- Bernard PL, Mercier J, Varray A, Prefaut C. Influence of lesion level on the cardioventilatory adaptations in paraplegic wheelchair athletes during muscular exercise. *Spinal Cord*. 2000;38(1):16.
- Washburn RA, Fighi SF. Physical activity and chronic cardiovascular disease prevention in spinal cord injury: a comprehensive literature review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 1998;3(3):16-32.
- Mizushima T, Tajima F, Okawa H, Umezumi Y, Furusawa K, et al. Cardiovascular and endocrine responses during the cold pressor test in subjects with cervical spinal cord injuries. *Arch Phys Med Rehabil*. 2003; 84(1):112-8.
- Elder CP, Apple DF, Bickel CS, Meyer RA, Dudley GA. Intramuscular fat and glucose tolerance after spinal cord injury—a cross-sectional study. *Spinal Cord*. 2004;42(12):711.
- Dallmeijer AJ, Hopman MT, van der Woude LH. Lipid, lipoprotein, and apolipoprotein profiles in active and sedentary men with tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*.1997;78(11):1173-6.
- Dallmeijer AJ, Van Der Woude LH, Van Kamp GJ, Hollander AP. Changes in lipid, lipoprotein and apolipoprotein profiles in persons with spinal cord injuries during the first 2 years post-injury. *Spinal Cord*. 1999;37(2):96.
- Garland DE, Stewart CA, Adkins RH, Hu SS, Rosen C, et al. Osteoporosis after spinal cord injury. *J Orthop Res*.1992;10(3):371-8.
- Castro MJ, Apple Jr DF, Staron RS, Campos GE, Dudley GA. Influence of complete spinal cord injury on skeletal muscle within 6 mo of

- injury. *J Appl Physiol.* 1999;86(1):350-8.
16. Buffart LM, van den Berg-Emons RJ, Burdorf A, Janssen WG, Stam HJ, et al. Cardiovascular disease risk factors and the relationships with physical activity, aerobic fitness, and body fat in adolescents and young adults with myelomeningocele. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(11):2167-73.
17. Griffin L, Decker MJ, Hwang JY, Wang B, Kitchen K, et al. Functional electrical stimulation cycling improves body composition, metabolic and neural factors in persons with spinal cord injury. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(4):614-22.
18. Ryan TE, Erickson ML, Young HJ, McCully KK. Case report: endurance electrical stimulation training improves skeletal muscle oxidative capacity in chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94(12):2559-61.
19. Schmid A, Huonker M, Barturen JM, Stahl F, Schmidt-Trucksass A, et al. Catecholamines, heart rate, and oxygen uptake during exercise in persons with spinal cord injury. *J Appl Physiol.* 1998;85(2):635-41.
20. Duckworth WC, Solomon SS, Jallepalli P, Heckemeyer C, Finnern J, et al. Glucose intolerance due to insulin resistance in patients with spinal cord injuries. *Diabetes.* 1980;29(11):906-10.
21. Wei M, Gibbons LW, Kampert JB, Nichaman MZ, Blair SN. Low cardiorespiratory fitness and physical inactivity as predictors of mortality in men with type 2 diabetes. *Ann Intern Med.* 2000;132(8):605-11.
22. Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *Am J Phys Med Rehabil.* 2007;86(2):142-52.
23. Nilsson S, Staff PH, Pruett ED. Physical work capacity and the effect of training on subjects with long-standing paraplegia. *Scand J Rehabil Med.* 1975;7(2):51-6.
24. Lee GH, Shin YA. Comparison of cardiopulmonary function and elbow muscle strength according to difference levels of spinal cord injury and type of sports in national athletes with spinal cord injury. *Kor J Adapt Phys Act.* 2016;24(3):1-11.
25. 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. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81(12):1575-81.
26. Lee GH, Shin YA. The influence of wheelchair use of individuals with spinal cord injury on upper extremity muscular function and cross-sectional area. *Kor J Sports Med.* 2018;36(1):24-33.
27. Umezū Y, Shiba N, Tajima F, Mizushima T, Okawa H, et al. Muscle endurance and power spectrum of the triceps brachii in wheelchair marathon racers with paraplegia. *Spinal Cord.* 2003;41(9):511.
28. Moore G, Durstine JL, Painter P, American College of Sports Medicine. *ACSM's Exercise Management for Persons With Chronic Diseases and Disabilities*, 4E. Human Kinetics. 2016.
29. Steinberg LL, Lauro FA, Sposito MD, Tufik S, Mello MT, et al. Catecholamine response to exercise in individuals with different levels of paraplegia. *Braz J Med Biol Res.* 2000;33(8):913-8.
30. Bernard PL, Codine P, Minier J. Isokinetic shoulder rotator muscles in wheelchair athletes. *Spinal Cord.* 2004;42(4):222.
31. Lee GH, Shin YA, Kim JH. The study on isometric muscular strength in upper limb among national male disabled athletes. *Kor Soc Sports Sci.* 2012;21(5):1159-68.
32. Shin YA, Lee GH, Kim IY. Comparison of peak physical response to maximal exercise test in persons with spinal cord injuries and controls. *Kor J Adapt Phys Activ.* 2016;24(2):37-51.
33. Janssen TW, Dallmeijer AJ, van der Woude LH, Veeger HE. Normative values and determinants of physical capacity in individuals with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev.* 2002;39(1):29-39.
34. Leicht CA, Bishop NC, Goosey-Tolfrey VL. Submaximal exercise responses in tetraplegic, paraplegic and non spinal cord injured elite wheelchair athletes. *Scand J Med Sci Sports.* 2012;22(6):729-36.
35. Fleg JL, Lakatta EG. Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO₂ max. *J Appl Physiol.* 1988;65(3):1147-51.
36. Jackson AS, Beard EF, Wier LT, Ross RM, Stuteville JE, et al. Changes in aerobic power of men, ages 25-70 yr. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(1):113-20.
37. Wilson TM, Tanaka H. Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2000;278(3):829-34.
38. Chodzko-Zajko WJ, Proctor DN, Singh MA, Minson CT, Nigg CR, et al. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(7):1510-30.
39. Woo JS, Derleth C, Stratton JR, Levy WC. The influence of age, gender, and training on exercise efficiency. *J Am Coll Cardiol.* 2006;47(5):1049-57.
40. Shin JH, Kim MJ, Hwang YN, Song SW. The effect of regular aerobic exercise on health-related quality of life among metabolic syndrome patients. *Korean J Obes.* 2008;17(4):182-7.
41. Pi-Sunyer FX, Becker DM, Bouchard C, Carleton RA, Colditz GA, et al. Clinical guidelines on the identification, evaluation, and treatment

- of overweight and obesity in adults: Executive summary. *Am J Clin Nutr.* 1998;68(4):899-917.
42. Sinnott KA, Milburn P, McNaughton H. Factors associated with thoracic spinal cord injury, lesion level and rotator cuff disorders. *Spinal Cord.* 2000;38(12):748.
43. Bauman WA, Spungen AM, Raza M, Rothstein J, Zhang RL, et al. Coronary artery disease: metabolic risk factors and latent disease in individuals with paraplegia. *Mt Sinai J Med.* NY. 1992;59(2):163-8.
44. Weld KJ, Graney MJ, Dmochowski RR. Differences in bladder compliance with time and associations of bladder management with compliance in spinal cord injured patients. *J Urol.* 2000;163(4):1228-33.
45. Boninger ML, Impink BG, Cooper RA, Koontz AM. Relation between median and ulnar nerve function and wrist kinematics during wheelchair propulsion. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(7):1141-5.
46. Bayley JC, Cochran TP, Sledge CB. The weight-bearing shoulder. The impingement syndrome in paraplegics. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69(5):676-8.
47. Tyler TE, Nicholas SJ, Roy T, Gleim GW. Quantification of posterior capsule tightness and motion loss in patients with shoulder impingement. *Am J Sports Med.* 2000;28(5):668-73.
48. Lee MH, Shin HS. A review of lateral epicondylitis. *J Kor Acad Orthop Man Ther.* 2005;11(2):108-18.
49. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Lippincott Williams & Wilkins. 2013.
50. Bresnahan JJ, Farkas GJ, Clasey JL, Yates JW, Gater DR. Arm crank ergometry improves cardiovascular disease risk factors and community mobility independent of body composition in high motor complete spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2018;1-21.
51. Leicht CA, Smith PM, Sharpe G, Perret C, Goosey-Tolfrey VL. The effects of a respiratory warm-up on the physical capacity and ventilatory response in paraplegic individuals. *Eur J Appl Physiol.* 2010; 110(6):1291-8.
52. Al-Rahamneh HQ, Eston RG. Prediction of peak oxygen consumption from the ratings of perceived exertion during a graded exercise test and ramp exercise test in able-bodied participants and paraplegic persons. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92(2):277-83.
53. Paulson TA, Goosey-Tolfrey VL, Lenton JP, Leicht CA, Bishop N. Spinal cord injury level and the circulating cytokine response to strenuous exercise. *Loughborough University Institutional Repository.* 2013; 45(1):1649-55.
54. Knechtle B, Köpfli W. Treadmill exercise testing with increasing inclination as exercise protocol for wheelchair athletes. *Spinal Cord.* 2001; 39(12):633.
55. Leicht CA, Griggs KE, Lavin J, Tolfrey K, Goosey-Tolfrey VL. Blood lactate and ventilatory thresholds in wheelchair athletes with tetraplegia and paraplegia. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114(8):1635-43.
56. Goosey-Tolfrey VL. BASES physiological testing guidelines: The disabled athlete. *Sport and Exercise Physiology Testing Guidelines.* 2007;1:10.
57. Drouin JM, Valovich-mcLeod TC, Shultz SJ, Gansneder BM, Perrin DH. Reliability and validity of the Biodex system 3 pro isokinetic dynamometer velocity, torque and position measurements. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91(1):22-9.
58. Moffroid M, Whipple R, Hofkosh J, Lowman E, Thistle H. A study of isokinetic exercise. *Phys Ther.* 1969;49(7):735-47.
59. Rothstein JM, Lamb RL, Mayhew TP. Clinical uses of isokinetic measurements: critical issues. *Phys Ther.* 1987;67(12):1840-4.
60. Ehrman J, Gordon P, Visich P, Keteyian S, editors. *Clinical Exercise Physiology. 4E. Human Kinetics.* 2018.
61. Woelfel JR, Kimball AL, Yen CL, Shields RK. Low-force muscle activity regulates energy expenditure after spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(5):870.
62. Monroe MB, Tataranni PA, Pratley R, Manore MM. Lower daily energy expenditure as measured by a respiratory chamber in subjects with spinal cord injury compared with control subjects. *Am J Clin Nutr.* 1998;68(6):1223-7.
63. Bloemen-Vrencken JH, De Witte LP, Post MW, Van den Heuvel WJ. Health behavior of persons with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2007;45(3):243.
64. Janssen TW, Hollander AP. Physical strain in daily life of wheelchair users with spinal cord injuries. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(6):661-70.
65. Davis GM, Kofsky PR, Kelsey JC, Shephard RJ. Cardiorespiratory fitness and muscular strength of wheelchair users. *Can Med Assoc J.* 1981;125(12):1317.
66. Jacobs PL, Nash MS, Rusinowski JW. Circuit training provides cardiorespiratory and strength benefits in persons with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(5):711-7.
67. Hicks AL, Martin KA, Ditor DS, Latimer AE, Craven C, et al. 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.

68. Babkin D, Timtsenko N. Notes from Dr. Kots' (USSR) lectures and laboratory periods. In Canadian-Soviet Exchange Symposium on Electrostimulation of Skeletal Muscle. 1977.
69. Gondin J, Cozzone PJ, Bendahan D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes?. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2473.
70. Neder JA, Sword D, Ward SA, Mackay E, Cochrane LM, et al. Home based neuromuscular electrical stimulation as a new rehabilitative strategy for severely disabled patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Thorax.* 2002;57(4):333-7.
71. Shields RK, Dudley-Javoroski S. Musculoskeletal plasticity after acute spinal cord injury: effects of long-term neuromuscular electrical stimulation training. *J Neurophysiol.* 2006;95(4):2380-90.
72. Baldi JC, Jackson RD, Moraille R, Mysiw WJ. Muscle atrophy is prevented in patients with acute spinal cord injury using functional electrical stimulation. *Spinal Cord.* 1998;36(7):463.
73. Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *Yale J Biol Med.* 2012;85(2):201.
74. Hjeltnes N, Jansen T. Physical endurance capacity, functional status and medical complications in spinal cord injured subjects with long-standing lesions. *Spinal Cord.* 1990;28(7):428.
75. Johnston TE, Smith BT, Mulcahey MJ, Betz RR, Lauer RT. A randomized controlled trial on the effects of cycling with and without electrical stimulation on cardiorespiratory and vascular health in children with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehab.* 2009;90(8):1379-88.
76. Ryan TE, Erickson ML, Young HJ, McCully KK. Case report: endurance electrical stimulation training improves skeletal muscle oxidative capacity in chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehab.* 2013;94(12):2559-61.
77. Kaplan RE, Czynny JJ, Fung TS, Unsworth JD, Hirsh J. Electrical foot stimulation and implications for the prevention of venous thromboembolic disease. *Thromb Haemost.* 2002;88(08):200-4.
78. Jones S, Man WD, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A, et al. Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;10.
79. Bogie KM, Triolo RJ. Effects of regular use of neuromuscular electrical stimulation on tissue health. *J Rehabil Res Dev.* 2003;40(6):469-76.
80. Maffiuletti NA. Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(2):223-34.
81. Filipovic A, Kleinöder H, Dörmann U, Mester J. Electromyostimulation—a systematic review of the influence of training regimens and stimulation parameters on effectiveness in electromyostimulation training of selected strength parameters. *J Strength Cond Res.* 2011;25(11):3218-38.
82. Hortobágyi T, Maffiuletti NA. Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(10):2439-49.
83. Mahoney ET, Bickel CS, Elder C, Black C, Slade JM, 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.* 2005;86(7):1502-4.
84. Scremin AM, Kurta L, Gentili A, Wiseman B, Perell K, et al. Increasing muscle mass in spinal cord injured persons with a functional electrical stimulation exercise program. *Arch phys med rehab.* 1999;80(12):1531-6.
85. Petrofsky JS, Johnson EG, Hanson A, Cuneo M, Dial R, et al. Abdominal and lower back training for people with disabilities using a 6 second abs machine: effect on core muscle stability. *J Appl Res Clin Exp Ther.* 2005;5(2):345.
86. Gibbons RS, Shave RE, Gall A, Andrews BJ. FES-rowing in tetraplegia: a preliminary report. *Spinal Cord.* 2014;52(12):880.
87. Princeton University. Athletic medicine-shoulder rehabilitation. University health services. 2015.
88. Wilk KE, Hooks TR, Macrina LC. The modified sleeper stretch and modified cross-body stretch to increase shoulder internal rotation range of motion in the overhead throwing athlete. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2013;43(12):891-4.
89. Rosa DP, Borstad JD, Pogetti LS, Camargo PR. Effects of a stretching protocol for the pectoralis minor on muscle length, function, and scapular kinematics in individuals with and without shoulder pain. *J Hand Ther.* 2017;30(1):20-9.
90. Trudel D, Duley J, Zastrow I, Kerr EW, Davidson R, et al. Rehabilitation for patients with lateral epicondylitis: a systematic review. *J Hand Ther.* 2004;17(2):243-66.