

## 가상현실을 이용한 재활운동이 뇌졸중 환자의 보행시 에너지 소모에 미치는 효과

이동엽<sup>1</sup>, 신원섭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>선문대학교 물리치료학과, <sup>2</sup>삼육대학교 물리치료학과

## The Effects of Virtual Reality-based Exercise on Energy Expenditure during Gait in Chronic Stroke Patients

Dong-Yeop Lee<sup>1</sup> and Won-Seob Shin<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Physical Therapy, Sunmoon University

<sup>2</sup>Dept. of Physical Therapy, Sahmyook University

**요약** 본 연구는 가상현실을 이용한 재활운동을 적용하여 뇌졸중 환자의 보행시 에너지 소모의 효율성에 효과가 있는가를 알아보고자 하였다. 뇌졸중으로 6개월 이상 장애를 가진 32명이 연구에 참여하였고 가상현실군 16명과 대조군 16명으로 나누었다. 가상현실군은 가상현실을 이용한 게임장치를 이용하여 1시간씩 주 3회를 6주간 실시하였다. 대조군은 운동의 적용없이 평상시 생활을 유지하도록 하였다. 운동 전과 후에 심박동수와 보행속도를 측정하여 에너지소모지수를 산출하여 효과를 비교하였다. 통계처리 방법으로 운동 전후 차이를 검증하기 위하여 대응표본 t 검정을 실시하였고 그룹간 차이 검증을 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준은 0.05로 하였다. 연구 결과 대조군과 비교하여 가상현실군에서 보행시 에너지소모지수가 유의하게 감소하였다( $p < 0.05$ ). 결론적으로 가상현실을 이용한 재활운동이 뇌졸중 환자의 보행시 에너지 소모에 있어 효과적이며 보행능력의 향상에 효과적인 방법임을 확인하였다.

**Abstract** This study was aimed at determining the effect of virtual reality(VR) based exercise programs on energy expenditure during gait in chronic stroke patients. Thirty-two stroke patients were participated for this study. They underwent stroke for more than 6 months and were assigned to a VR-exercise group ( $n=16$ ) or a control group ( $n=16$ ). The VR-exercise group executed a rehabilitation exercise three times a week during 6 weeks. The VR-exercise was performed by PS2 for one hour. Control group maintained their usual life without application of exercise. Energy expenditure index(EEI) during gait was calculated from heart rate and gait velocity. After the completion of the VR-exercise, the EEI was decreased significantly ( $p < 0.05$ ). These results showed that the rehabilitation exercise using a virtual reality is effective in the improvement of energy efficiency during gait in chronic stroke patients.

**Key Words** : Stroke, gait, Virtual reality, Energy expenditure index

### 1. 서론

뇌졸중 환자들은 일반적으로 균형의 유지와 기능적 운동에 어려움을 가진다[1]. 장기간 동안 마비측 사지의 사용보다는 정상측을 주로 사용하므로 편마비측 상하지의 근력은 점점 약화된다[2]. 균형 유지의 어려움과 편마비

측 근력 약화 등의 영향으로 뇌졸중 환자의 보행 패턴은 환측의 체중지지 시간이 짧아지고 유각기가 길어지며, 환측과 건측의 보폭길이의 차이가 발생하게 되고 전체적으로 보행의 주기와 보행속도가 느려진다[3,4]. 이러한 보행능력의 문제를 극복하고자 비정상적인 보상작용이 나타나고 그로 인해 필요이상의 에너지를 소모하게 되어 비

\*교신저자 : 신원섭(syrpt@hanmail.net)

접수일 10년 08월 09일

수정일 10년 08월 23일

게재확정일 10년 10월 15일

효율적인 보행을 하게 된다[5]. 보행시 에너지 소모 정도를 평가하기 위한 측정방법인 에너지 소모지수(energy expenditure index)는 보행으로 인한 심박수의 변화와 보행 속도로 산출되며 뇌성마비 아동의 보행 효율성을 측정하기 위해 처음 시행되었다[6]. 보행시 심박수는 산소 섭취량과 1차 선형비례 하기 때문에 에너지 소모의 양을 지수화하여 사용할 수 있다[6,7]. Plasschaert 등(2008)은 뇌성마비 아동을 대상으로 체중의 10%가 되는 중량을 적용하였을 때 보행시 에너지 소모지수의 유의한 증가를 보였고 같은 나이대의 정상 아동보다 에너지 소모의 증가량이 유의하게 큼을 연구하였다[8]. Burridge 등(1997)은 뇌졸중 환자를 대상으로 기능적 전기 자극을 적용한 재활 운동을 통해 에너지 소모지수가 감소하는 효과를 보였다[9].

뇌졸중 환자를 대상으로 보행 기능의 효과를 보인 선행 연구로써 다양한 과제 중심의 기능 운동을 적용한 연구[10], 과제 수행시 발생할 수 있는 위험요소를 줄이기 위한 수중 과제 운동을 적용한 연구[11] 등이 시행되었다. 이러한 과제 중심적 운동들은 다양한 과제들을 해결하기 위해 대뇌 피질의 운동 및 감각 영역이 활성화가 되어 중추신경계 가소성의 변화로 기능의 향상이 나타난다고 하였다[12]. 최근에는 과학기술의 발달로 컴퓨터와 영상장치를 통한 가상현실을 이용한 재활방법을 적용하여 기능적 향상을 보인 연구들이 소개되고 있다[13]. 사용자의 재미와 흥미를 유발하고 시각적 청각적 형태의 피드백을 제공함으로써 근력, 관절가동범위, 운동 속도, 운동 조절 능력이 증진되었다[14]. 화면에 자신의 모습이 카메라를 통해 적용되어 실제로 자신이 과제를 해결하는 것과 같은 효과를 가지고 뇌졸중 환자의 건측만 사용하려는 움직임 패턴을 깨고 게임 과제에 따라 상하, 좌우방향으로 팔 뻗기, 양쪽 체중지지 등의 동작을 시행하게 된다[15-16]. Flynn 등(2007)의 연구에서는 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실을 이용한 게임형태의 운동 결과 보행 능력의 향상을 보였으나 한 명의 대상자에 대한 결과로 전체적으로 일반화시키기에 무리가 있었다[16].

따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자에서 의식적으로 사

용하지 않는 환측의 운동성 저하와 보행 능력의 감소, 에너지효율의 문제를 개선하고자 가상현실을 이용한 게임용 장치로 과제운동을 실시하고자 한다. 이러한 운동 결과 나타난 뇌졸중 환자의 보행시 에너지 효율에 대한 효과로 에너지 소모지수의 변화를 측정하여 가상현실을 이용한 재활운동에 대한 실효성을 알아보려 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

본 연구는 서울의 A복지관에 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 연구의 목적에 맞는 선별 기준과 연구에 대한 환자의 동의과정을 거쳐 최종 32명이 참여하였다. 선별 기준은 독립적으로 10분 이상 보행이 가능한 자, 시각 기능과 전정 기능에 문제가 없는 자, 현재 실험에 영향을 미치는 약물이나 다른 치료를 받지 않는 자, 명령을 이해하고 수행할 수 있는 자로 하였다.

### 2.2 실험절차

연구의 대상자는 가상현실을 이용한 재활운동의 효과를 알아보기 위한 가상현실군(n=16)과 비교집단인 대조군(n=16)으로 구분하였다. 각 집단간 병력 및 성별을 matching sampling하였으며, 트레이닝 집단과 비교 집단의 동질성 확보를 위해 신체적 특성과 편마비 경력 및 성별 비율을 최대한 유사하게 선정하였다[17].

#### 2.2.1 운동방법

가상현실군의 재활운동프로그램으로 주요 관절의 가벼운 스트레칭과 관절가동범위운동을 5분간 실시하고 게임기를 이용한 5가지 게임을 각 10분씩 50분간 적용한 후 5분간 숨고르기와 근육을 이완시키는 스트레칭을 실시하여 정리하였다. 게임과제의 선정은 Playstation Eyetoy(Sony, Japan)의 프로그램 중 체간의 조절과 상지 운동, 균형과 보행기능의 향상을 위한 과제들로 구성하였으며 사전에 실시하여 대상자들이 안전하게 수행할 수

【표 1】 가상현실을 이용한 게임과제의 구성

게임명	게임과제 수행방법	구성동작
헤딩왕	머리를 이용하여 축구공 바닥에 떨어뜨리지 않기	체간운동, 균형운동
유령잡기	날아오는 물건을 피하면서 유령을 손으로 잡기	상지운동, 체간운동, 균형운동
흡련야구	날아오는 공을 치고 달리는 야구게임	상지운동, 보행운동
KO복싱	링 위에서 상대방과 복싱경기	상지운동, 균형운동, 보행운동
볼링	볼링공을 몸으로 조정하여 10개의 핀 쓰러뜨리기	체간운동, 균형운동

있는 과제들로 구성하였다[15]. 게임중간에 피로를 느끼거나 대상자가 수행하기 어려운 경우에는 휴식과 난이도를 조절하여 적용하였다. 각 게임마다 다른 환경과 과제가 주어지며 대상자는 화면에 주어진 과제를 자신의 몸을 이용하여 해결하고 시각적, 청각적 피드백으로 전달받게 된다. 가정용 게임기인 Playstation 2(Sony, Japan)에 Eyttoy용 카메라를 연결하여 실시하였고 영상표시장치로 일반 텔레비전을 이용하였다[15,16]. 운동에 소요되는 시간은 총 60분으로 주 3회씩 적용하였다. 총 운동기간은 6주간 시행하였다[18,19]. 가상현실을 이용한 재활운동의 구체적인 내용은 표 1과 같다.

비교를 위한 대조군은 평소 생활을 그대로 유지하게 하였으며 복지관 등에서의 운동성과 관계없는 프로그램에 참여하는 것은 인정하였다.

### 2.2.2 평가도구와 측정방법

뇌졸중 환자의 에너지 효율을 평가하기 위하여 에너지 소모지수를 계산하여 비교하였다. 에너지 소모지수는 생리적 소모량을 평가하기 위하여 사용되고 보행시와 휴식시의 심박수 차이를 보행속도로 나누어 계산한다[20]. 에너지 소모가 많은 비효율적 보행시에는 에너지 소모지수가 높게 나타나고 에너지 소모가 적은 효율적인 보행에서는 낮게 나타난다. 이러한 에너지 소모지수는 환자 개인의 에너지 소모에 대한 정보를 효과적으로 대표할 수 있는 지수이다[21]. 6개월 이상 된 뇌졸중 환자를 대상으로 측정-재측정 평가에서 급간내상관계수 ICC는 .86로 높게 나타나서 평가의 신뢰성이 입증되었다[22].

본 연구에서 심박수는 Polar F2(Polar electro Inc., Finland)를 사용하여 측정하였다. Polar는 가슴의 심장위치에 띠의 형태로 착용하게 만들어진 송신부와 시계 형태로 팔에 착용하는 수신부로 구성되어 있다. 측정 방법은 대상자에게 심박 측정기인 Polar F2를 착용하고 안정된 상태의 5분간 심박수를 측정하여 분당 평균 심박수를 구한다. 연구 대상자가 5~10분 동안 트레드밀 위에서 보행시 속도를 천천히 올려 편안한 속도를 찾는다. 편안한 속도로 5분 걷는 동안 심박수를 측정하여 마지막 3분간의 분당 평균 심박수에서 안정시 평균 심박수를 뺀 후 보행속도로 나누어 계산하였다.

### 2.3 통계처리

본 연구의 모든 통계적 분석은 SPSS 15.0을 이용하였다. Shapiro-Wilk 검정방법을 통해 변수들의 정규성 검정을 하였고, 결과 모든 변수가 정규분포 하였다. 그룹 내 재활훈련에 따른 종속변수의 전후 비교를 위하여 대응표

본 t 검정을 실시하였다. 그룹 간 종속변수의 차이를 비교하기 위하여 독립표본 t 검정을 실시하였다. 변수들간의 상관관계를 알아보기 위하여 Pearson's correlation을 이용하여 분석하였다. 또한 에너지 소모지수에 영향을 미치는 영향변수의 설명력을 알아보기 위해 Regression을 실시하였다. 모든 통계적 유의수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

## 3. 결과

### 3.1.1 연구대상자의 일반적 특성

본 연구의 대상자들의 일반적 특성은 표 2와 같다. 가상현실군의 연령은 평균 60.8세였으며, 대조군은 평균 60.7세로 두 그룹의 성비는 모두 남자 8명, 여자 8명이었다. 가상현실군의 평균 신장은 160.5 cm, 평균 체중은 66.0 kg 이었고, 대조군의 평균 신장은 161.3 cm, 평균 체중은 64.5 kg이었다. 뇌졸중 유병기간은 가상현실군은 평균 69.2개월, 대조군은 71.5개월이었다. 인지능력을 평가한 MMSE-K 결과 가상현실군은 25.1점, 대조군은 24.2점이었다.

[표 2] 연구대상자의 일반적 특성

	가상현실군 (n=16)	대조군 (n=16)	$X^2/t$	$p$
성별(명)				
남/여	8/8	8/8	.000	1.000
연령(세)	60.8±7.5 <sup>a</sup>	60.7±9.2	.021	.983
신장(cm)	160.5±8.6	161.3±8.7	-.246	.807
체중(kg)	66.0±7.7	64.5±7.7	.542	.592
뇌졸중유형(명)				
뇌경색/뇌출혈	10/6	11/5	.139	.710
마비부위(명)				
좌/우	7/9	8/8	.125	.723
발병기간(개월)	69.2±36.4	71.5±33.9	-.186	.854
MMSE-K(점)	25.1± 2.8	24.2± 2.8	.887	.382

<sup>a</sup>평균±표준편차

### 3.1.2 심박수의 변화

두 그룹의 운동 전후 심박수 변화의 결과는 표 3과 같다. 가상현실군은 운동전 31.75±7.01 beat/min 에서 29.19±6.56 beat/min 로 심박수가 유의하게 증가하였으나 ( $p < .05$ ), 대조군에서는 전과 후의 차이가 유의하지 않았다. 심박수의 그룹 간 비교에서는 운동 후 가상현실군의 에너지소모지수가 대조군에 비해 유의하게 크게 나타났 다( $p < .05$ ).

[표 3] 심박수 차이의 변화  
(단위: beat/min)

	가상현실군	대조군	t	p
전	31.75±7.01	31.13±5.86	.274	.786
후	29.19±6.56	30.44±6.84	-.527	.602
t	2.521	1.000		
p	.024*	.333		

\* p<.05

### 3.1.3 보행속도의 변화

두 그룹의 운동 전후 보행속도 변화의 결과는 표 4와 같다. 가상현실군은 운동전 37.65±10.03 meter/min 에서 운동후 44.80±9.40 meter/min로 보행속도가 유의하게 증가하였으나(p<.05), 대조군에서는 전과 후의 차이가 유의하지 않았다. 보행속도의 그룹 간 비교에서는 운동 후 가상현실군의 에너지소모지수가 대조군에 비해 유의하게 크게 나타났다(p<.05).

[표 4] 보행속도의 변화  
(단위: meter/min)

	가상현실군	대조군	t	p
전	37.65±10.03	38.03±8.20	-.120	.906
후	44.80± 9.40	37.84±8.22	2.229	.033*
t	-8.815	.509		
p	.000***	.618		

\* p<.05, \*\* p<.01, \*\*\* p<.001

### 3.1.4 에너지 소모의 변화

두 그룹의 운동 전후 에너지소모의 변화는 에너지소모 지수를 측정하여 비교한 결과는 표 5와 같다.

[표 5] 에너지소모지수의 변화  
(단위: beat/meter)

	가상현실군	대조군	t	p
전	.86 ± .11	.83 ± .08	1.068	.294
후	.66 ± .10	.81 ± .09	-4.436***	.000
t	10.528***	1.125		
p	.000	.278		

\* p<.05, \*\* p<.01, \*\*\* p<.001

가상현실군은 운동 전 0.86 beat/meter에서 운동 후 0.66 beat/meter로 에너지소모지수가 유의하게 감소하였

으나(p<.05), 대조군에서는 전과 후의 차이가 유의하지 않았다. 에너지소모지수의 그룹 간 비교에서는 운동 후 가상현실군의 에너지소모지수가 대조군에 비해 유의하게 크게 나타났다(p<.05).

### 3.1.5 에너지 소모지수와 심박수, 보행속도의 상관관계

에너지 소모지수와 보행속도는 유의한 음의 상관관계가 있는 것으로 나타났다(p<.05).

[표 6] 에너지소모지수의 변화

변수	r	p
심박수	-.210	.248
보행속도	-.588**	.000

\* p<.05, \*\* p<.01

### 3.1.6 에너지 소모지수에 영향을 미치는 요인

다중회귀분석 결과 에너지 소모지수를 예측할 수 있는 변인으로 심박수와 보행속도가 유의한 결과를 나타냈다(p<.05). 이 모형의 설명력은 91.0%이며, 통계적으로 유의하였다(p<.05).

[표 7] 에너지소모지수에 영향을 미치는 요인

요인	B	SE	Beta	t	p
심박수	.027	.002	1.763	13.291***	.000
보행속도	-.024	.001	-2.165	-16.138***	.000
(상수)	.888	.028	.028		

\* p<.05, \*\* p<.01, \*\*\* p<.001, R<sup>2</sup>=.910, 수정된 R<sup>2</sup>=.904

## 4. 논의

뇌졸중 환자를 위한 재활치료의 목적은 손상으로 인한 이차적 합병증을 예방하고 일상생활 동작의 독립성을 유지시키며 광범위하게는 최대한 빠른 시간에 이전의 사회 생활로 복귀하여 적응할 수 있도록 도와주는 것이다. 만성 뇌졸중 환자는 재활의 진행과정이 느리기 때문에 오랜 시간 동안 재활운동을 적용하기 위해서는 개인의 동기부여와 회복의지가 운동의 결과에 중요한 영향을 미치게 된다[23]. 실제로 운동에 대한 흥미가 적은 경우나 스스로 효과에 대한 기대치가 낮은 경우 재활운동의 효과가 좋지 않게 나타났다[24]. Krebs 등(2007)은 단순히 반복적인 동작으로 구성된 운동들을 장시간 적용하였을

때 뇌졸중 환자의 참여와 동기부여가 감소한다고 하였고 과제를 주고 해결하는 방법의 효용성을 강조하였다 [19]. 이와 같은 관점에서 Flynn 등(2007)의 연구 결과와 마찬가지로 뇌졸중 환자에게 가상현실을 이용한 게임기를 적용한 결과 대상자의 흥미를 유발하여 재활운동에 적극적으로 참여하였다[16]. 또한 운동시 화면으로 자신의 모습이 실시간으로 표현되어 자신이 계획하고 시행하는 움직임에 대한 시각적 피드백이 작용하여 운동 조절 능력과 정확성이 향상된 결과이다[16]. 특히 본 연구 이전에 시행된 이석민과 신원섭(2009)의 연구에서는 가정용 게임기를 이용한 뇌졸중 환자의 재활운동을 통하여 하지 근력과 동적 균형기능의 회복에 효과를 보였다[25].

보행 능력은 일상 생활 동작의 대부분을 구성하며 독립적인 생활의 기본 요소로 뇌졸중 환자의 회복에 중요한 목적이 된다[26]. 본 연구에서는 보행시 소모되는 에너지의 정도를 심박수를 이용하여 계산하는 방법으로 에너지 소모지수를 측정하였다[20]. 뇌졸중 환자는 걷기 능력이 감소되고 불필요한 보상적 움직임이 많기 때문에 에너지 소모가 증가하여 상대적으로 에너지의 효율성은 떨어진 다[27]. Danielsson 등(2007)이 에너지 소모지수를 측정한 연구에서는 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자가 0.76 beats/meter, 건강한 대조군이 0.28 beats/meter로 나타나 뇌졸중 환자의 에너지 소모가 2.7배 높았다[22]. Lotan 등(2008)은 휠체어와 지팡이를 사용하는 뇌졸중 환자들의 에너지 소모 지수를 연구하였는데 휠체어를 이용한 군에서는 6.48 beats/meter, 지팡이를 이용한 군은 1.20 beats/meter 로 본 연구의 독립적 보행이 가능한 뇌졸중 환자의 0.86 beat/meter 보다 1.4배에서 7.5배 가량 높았다[28]. 편마비 환자들은 보행시 이루어지는 위치에너지와 운동에너지의 자연스러운 변화 패턴이 파행되어 에너지 소모가 큰 비효율적 보행을 보인다[29]. 평균적으로 뇌졸중 환자의 활보장(stride)당 에너지 소모는 보행 속도가 비슷한 건강한 사람의 에너지 소모보다 훨씬 높게 나타난다[30]. 이것은 입각기와 유각기 동안에 마비측 사지의 에너지 소모가 정상인보다 유의하게 크기 때문이다 [31]. 본 연구에서는 만성 뇌졸중 환자의 에너지소모지수가 운동 전 0.86 beats/meter에서 가상현실을 이용한 재활운동으로 0.66 beats/meter로 23.3%의 감소를 보였다.

에너지 소모지수에 유의한 영향을 미친 요인을 회귀분석한 결과 운동 전후의 심박수와 보행속도의 변화에 영향을 받은 것임이 나타났다. 특히 가상현실을 이용한 재활운동군에서 보행속도는 운동전 37.65±10.03 meter/min에서 운동후 44.80±9.40 meter/min로 19.0%의 유의한 향상을 보였다. Jaffe 등(2004)의 연구에서도 가상현실을 결합한 트레드밀 훈련을 2주간 실시한 결과 20.5%의 보행

속도의 증가를 보여 가상현실 적용에 대한 효과를 보였다[32]. 편마비 환자의 느린 보행속도는 보행시 일어나는 역학적 에너지 전달과정에 제한이 생겨서 보행의 효율성이 떨어진 다[33]. 본 연구의 가상현실을 이용한 재활운동군에서는 보행속도의 증가로 인해 보행의 효율성이 증가된 것으로 보인다.

본 연구 결과를 통해 건축 위주의 운동에 대한 불균형으로 보행능력의 저하와 에너지효율이 감소된 만성 뇌졸중 환자에게 가상현실을 이용한 재활운동을 적용함으로써 보행속도가 증가하였고 불필요한 보상적 움직임들로 인해 감소된 에너지효율이 유의하게 증가한 결과를 보였다. 이와 같은 결과로 가상현실을 이용한 재활운동의 방법이 뇌졸중 환자의 보행시 에너지효율의 향상을 위한 적절한 중재방법으로 제시할 수 있겠다. 향후 연구에서 뇌졸중 환자들의 일상적 활동시에 발생하는 에너지 소모의 효율성을 증대시키기 위한 다양한 재활의 방법을 연구하여 최소의 에너지 소모로 최대의 기능적 효과를 나타낼 수 있도록 하여야겠다.

## 5. 결론

본 연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 가상현실을 이용한 과제를 적용한 재활운동을 통해 보행시 에너지 소모 효율의 변화를 알아보고자 하였다. 뇌졸중으로 6개월 이상 장애를 가진 32명이 연구에 참여하였고 가상현실군 16명과 대조군 16명으로 나누었다. 가상현실군에는 가정용 게임기를 이용한 방법으로 주 3회 1시간씩 6주간 실시하였다. 대조군에는 운동없이 평상시 생활을 유지하도록 하였다. 운동 전과 후에 보행 속도와 심박수를 측정하여 에너지소모지수를 산출하였다. 가상현실을 이용한 재활운동군에서 보행시 에너지 효율이 대조군과 비교하여 유의하게 향상되었다(p<.05). 본 연구의 결과에 따라 가상현실을 이용한 재활운동이 뇌졸중 환자의 보행시 에너지 소모에 있어 효과적이며 효율적인 보행으로 변화한 것으로 나타났다.

## 참고문헌

- [1] F. E. Huxham, P. A. Goldie, and A. E. Patla, "Theoretical considerations in balance assessment", *Aust J Physiother*, vol. 47, pp. 89-100, 2001.
- [2] F. M. Campbell, A. M. Ashburn, R. M. Pickering, and M. Burnett, "Head and pelvic movements during

- a dynamic reaching task in sitting: implications for physical therapists", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 82, pp. 1655-60, 2001.
- [3] E. B. Titianova, K. Pitkanen, A. Paakkonen, J. Sivenius, and I. M. Tarkka, "Gait characteristics and functional ambulation profile in patients with chronic unilateral stroke", *Am J Phys Med Rehabil*, vol. 82, pp. 778-86; quiz 787-9, 823, 2003.
- [4] R. Wagenaar and W. Beek, "Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis", *J Biomech*, vol. 25, pp. 1007-15, 1992.
- [5] M. H. Granat, D. J. Maxwell, A. C. Ferguson, K. R. Lees, and J. C. Barbenel, "Peroneal stimulator; evaluation for the correction of spastic drop foot in hemiplegia", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 77, pp. 19-24, 1996.
- [6] J. Rose, J. G. Gamble, J. Lee, R. Lee, and W. L. Haskell, "The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents", *J Pediatr Orthop*, vol. 11, pp. 571-8, 1991.
- [7] M. Wieler, R. B. Stein, M. Ladouceur, M. Whittaker, A. W. Smith, S. Naaman, H. Barbeau, J. Bugaresti, and E. Aimone, "Multicenter evaluation of electrical stimulation systems for walking", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 80, pp. 495-500, 1999.
- [8] F. Plasschaert, K. Jones, and M. Forward, "The effect of simulating weight gain on the energy cost of walking in unimpaired children and children with cerebral palsy", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 89, pp. 2302-8, 2008.
- [9] J. H. Burridge, P. N. Taylor, S. A. Hagan, D. E. Wood, and I. D. Swain, "The effects of common peroneal stimulation on the effort and speed of walking: a randomized controlled trial with chronic hemiplegic patients", *Clin Rehabil*, vol. 11, pp. 201-10, 1997.
- [10] Y. R. Yang, R. Y. Wang, K. H. Lin, M. Y. Chu, and R. C. Chan, "Task-oriented progressive resistance strength training improves muscle strength and functional performance in individuals with stroke", *Clin Rehabil*, vol. 20, pp. 860-70, 2006.
- [11] 김기운, 김호묵, 우상연, 정병국, "과제 지향적 수중 재활운동 전후에 따른 뇌졸중 편마비 환자의 근력 및 일상생활의 수행 능력 비교", *한국특수체육학회지*, vol. 14, pp. 99-115, 2006.
- [12] S. H. Jang, Y. H. Kim, S. H. Cho, J. H. Lee, J. W. Park, and Y. H. Kwon, "Cortical reorganization induced by task-oriented training in chronic hemiplegic stroke patients", *Neuroreport*, vol. 14, pp. 137-41, 2003.
- [13] M. Holden, "Virtual environments for motor rehabilitation: review", *Cyberpsychol Behav*, vol. 8, pp. 187-211; discussion 212-9, 2005.
- [14] P. L. Weiss, D. Rand, N. Katz, and R. Kizony, "Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool", *J Neuroeng Rehabil*, vol. 1, p. 12, 2004.
- [15] G. Yavuzer, A. Senel, M. B. Atay, and H. J. Stam, "'Playstation eyetoy games' improve upper extremity-related motor functioning in subacute stroke: a randomized controlled clinical trial", *Eur J Phys Rehabil Med*, vol. 44, pp. 237-44, 2008.
- [16] S. Flynn, P. Palma, and A. Bender, "Feasibility of using the Sony PlayStation 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report", *J Neurol Phys Ther*, vol. 31, pp. 180-9, 2007.
- [17] 공성아, 한상완, "탄력 밴드 트레이닝이 뇌졸중 편마비자의 일상생활 수행능력과 관절 ROM에 미치는 영향", *한국특수체육학회지*, vol. 16, pp. 117-134, 2008.
- [18] D. Bourbonnais, S. Bilodeau, Y. Lepage, N. Beaudoin, D. Gravel, and R. Forget, "Effect of force-feedback treatments in patients with chronic motor deficits after a stroke", *Am J Phys Med Rehabil*, vol. 81, pp. 890-7, 2002.
- [19] D. E. Krebs, D. M. Scarborough, and C. A. McGibbon, "Functional vs. strength training in disabled elderly outpatients", *Am J Phys Med Rehabil*, vol. 86, pp. 93-103, 2007.
- [20] J. MacGregor, "The evaluation of patient performance using long-term ambulatory monitoring technique in the domiciliary environment", *Physiotherapy*, vol. 67, pp. 30-3, 1981.
- [21] I. J. MJ, G. Baardman, M. A. van 't Hof, H. B. Boom, H. J. Hermens, and P. H. Veltink, "Validity and reproducibility of crutch force and heart rate measurements to assess energy expenditure of paraplegic gait", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 80, pp. 1017-23, 1999.
- [22] A. Danielsson, C. Willen, and K. S. Sunnerhagen, "Measurement of energy cost by the physiological cost index in walking after stroke", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 88, pp. 1298-303, 2007.
- [23] J. Johnson, V. Pearson, and L. McDivitt, "Stroke rehabilitation: assessing stroke survivors' long-term learning needs", *Rehabil Nurs*, vol. 22, pp. 243-8,

- 1997.
- [24] R. Forkan, B. Pumper, N. Smyth, H. Wirkkala, M. A. Ciol, and A. Shumway-Cook, "Exercise adherence following physical therapy intervention in older adults with impaired balance", *Phys Ther*, vol. 86, pp. 401-10, 2006.
- [25] 이석민, 신원섭, "가상현실을 이용한 재활운동이 뇌 손상 환자의 기능회복에 미치는 효과", *특수교육재활 과학연구*, vol. 48, pp. 49-64, 2009.
- [26] J. Carr and R. Shepherd, *Neurological Rehabilitation*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
- [27] I. T. da Cunha, Jr., P. A. Lim, H. Qureshy, H. Henson, T. Monga, and E. J. Protas, "Gait outcomes after acute stroke rehabilitation with supported treadmill ambulation training: a randomized controlled pilot study", *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 83, pp. 1258-65, 2002.
- [28] M. Lotan, S. Yalon-Chamovitz, and P. L. Weiss, "Improving physical fitness of individuals with intellectual and developmental disability through a Virtual Reality Intervention Program", *Res Dev Disabil*, 2008.
- [29] S. Hesse, C. Werner, S. von Frankenberg, and A. Bardeleben, "Treadmill training with partial body weight support after stroke", *Phys Med Rehabil Clin N Am*, vol. 14, pp. S111-23, 2003.
- [30] C. Detrembleur, F. Dierick, G. Stoquart, F. Chantraine, and T. Lejeune, "Energy cost, mechanical work, and efficiency of hemiparetic walking", *Gait Posture*, vol. 18, pp. 47-55, 2003.
- [31] G. Chen, C. Patten, D. H. Kothari, and F. E. Zajac, "Gait deviations associated with post-stroke hemiparesis: improvement during treadmill walking using weight support, speed, support stiffness, and handrail hold", *Gait Posture*, vol. 22, pp. 57-62, 2005.
- [32] D. L. Jaffe, D. A. Brown, C. D. Pierson-Carey, E. L. Buckley, and H. L. Lew, "Stepping over obstacles to improve walking in individuals with poststroke hemiplegia", *J Rehabil Res Dev*, vol. 41, pp. 283-92, 2004.
- [33] A. Lamontagne, J. L. Stephenson, and J. Fung, "Physiological evaluation of gait disturbances post stroke", *Clin Neurophysiol*, vol. 118, pp. 717-29, 2007.

---

## 이 동 엽(Dong-Yeop Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 건양대학교 보건복지대학원(보건학 석사)
- 2008년 8월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 물리치료학과 전임강사

<관심분야>

신경계 물리치료, 임상해부학, 임상운동학

---

## 신 원 섭(Won-Seob Shin)

[정회원]



- 2005년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학석사)
- 2009년 2월 : 삼육대학교 대학원 물리치료학과 (이학박사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 삼육대학교 물리치료학과 외래 교수

<관심분야>

운동역학, 근골격계 물리치료, 신경계 물리치료