

The Effect of Wrist and Trunk Weight Loading using Sandbags on Gait in Chronic Stroke Patients

모래주머니를 이용한 팔목과 몸통의 무게 증가가 만성 뇌졸중 환자들의 보행에 미치는 영향

Sangheon Park¹, Hee Sung Lim¹, Sukhoon Yoon²

¹Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, Seoul, South Korea

²Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 26 February 2021

Revised : 08 March 2021

Accepted : 09 March 2021

Corresponding Author

Sukhoon Yoon

Department of Community Sport,
Korea National Sport University,
1239 Yangjae, Songpa-gu, Seoul,
05541, South Korea

Tel : +82-2-410-6850

Fax : +82-2-410-6952

Email : sxy134@knsu.ac.kr

Objective: This study aimed to determine the effect of wrist and trunk weight loading using sandbags in stroke patients in order to provide the quantitative data for enhancement of gait movement.

Method: Twelve stroke patients, who have been diagnosed with hemiplegia over a year ago, were participated in this study. All subjects were asked to perform normal walking [N], wrist sandbag walking [W], wrist & trunk sandbag walking [WT], and both wrist sandbag walking [B] and both wrist & trunk sandbag walking [BT], respectively. Eight infrared cameras were used to collect the raw data. Gait parameters, arm swing, shoulder-pelvic kinematics, and lower extremity joint angle were calculated to examine the differences during walking.

Results: As a result, there were no significant differences in the gait parameters, shoulder-pelvis, and lower extremities joint angles, but significant differences were found in the range of motion and the anteversion in arm swing.

Conclusion: Wrist and trunk weight loading using sandbags affected the movement of the upper extremities only while it did not affect the movement of the lower extremities. It implies that it can reduce the risk of falling caused by a sudden movement change in lower extremities. In addition, the wrist and trunk weight loading using sandbags can induce changes in movement of the upper extremities independently and contribute to functional rehabilitation through resistance training.

Keywords: Stroke, Gait analysis, Sandbags, Rehabilitation

INTRODUCTION

뇌졸중(stroke)은 뇌혈관의 예상치 못한 출혈이나 하혈로 인해 뇌 조직에 혈액이 원활하게 공급되지 않아 발생하게 되며(Krawczyk, Szczerbik & Syczewska, 2014; Prange, Jannink, Groothuis-Oudshoorn, Hermens & Ijzerman, 2006; Yu & Lim, 2007), 전 세계적으로 매년 15만 명의 환자가 발생하고, 그 중 5만 명이 사망에 이르고, 5만 명이 편측 마비를 지닌 채 삶을 살아가게 되는 심각한 중추신경계 질환이다(Nadeau, Betschart & Bethoux, 2013). 뇌졸중 환자들이 어려움을 겪게 되는 가장 대표적인 동작인 편마비 보행은 환자들이 발병 후 삶을 살아가는데 있어서 다양한 문제에 직면하는 원인이 되고 있으며, 많은 연구자들이 뇌졸중 환자들의 보행 특성을 보다 심층적으로 파악하기 위한 노력을 지속해왔다(Algurén, Lundgren-Nilsson & Sunnerhagen, 2010; Beyaert, Vasa & Frykberg, 2015; Boudarham et al., 2013; Krawczyk

et al., 2014). 선행연구에 따르면, 뇌졸중 환자들은 뇌졸중 발병 후 특정한 보행형태를 나타내는데 대표적으로 보행 속도의 감소, 빠른 이 지 시점에 따른 마비 측 지지구간(stance phase)의 비중 감소, 양발 지지구간의 증가, 초기 접촉 시 발목의 배측 굴곡(dorsi-flexion) 및 이 지 시 저측 굴곡(plantar-flexion)의 감소 등의 특징적인 변화를 나타낸다(Beyaert et al., 2015; Carmo, Kleiner, Costa & Barros, 2012; Krawczyk et al., 2014; Mirelman, Patrissi, Bonato & Deutsch, 2010). 또한 뇌졸중 환자들은 마비 측 근 손실 때문에 관절의 가동범위가 모두 감소하고 불안정한 자세제어를 경험하며 이에 따른 마비 측과 비 마비 측의 비대칭성이 약 40%에서, 최대 약 80%까지 증가하는 양상을 보이게 된다(Beyaert et al., 2015; Carmo et al., 2012; Genthon, Vuillerme, Monnet, Petit & Rougier, 2007; Park & Kim, 2008). 이와 같은 특성은 뇌졸중 환자의 독립적인 보행 시 낙상의 위험성을 높이는 원인이 된다고 알려져 있다(Hyndman, Ashburn & Stack, 2002).

지금까지 선행연구들에서는 뇌졸중 환자의 비정상적 보행을 개선하고, 낙상을 예방하기 위한 노력을 계속해왔다. Duncan et al. (2005)과 Kim, Eng, MacIntyre & Dawson (2001) 그리고 Morris, Dodd & Morris (2004)는 뇌졸중 환자의 운동 기능 향상을 위해 탄력밴드와 웨이트 트레이닝 그리고 등속성 근력 장비 등을 이용한 재활을 시도하였으며, Silver, Macko, Forrester, Goldberg & Smith (2000)와 Laufer, Dickstein, Chefetz & Marcovitz (2001) 그리고 Nilsson et al. (2001)은 뇌졸중 환자들의 직접적인 보행 능력을 향상시키기 위해 트레드밀을 통한 보행 트레이닝을 실시하였다. 또한, Holden (2005)과 Kuttuva et al. (2006)은 로봇(robot)과 가상현실(virtual reality) 장비를 이용하여 운동 시간 및 강도를 제한하고, 다양한 피드백을 제공함으로써 보행 능력의 향상을 시도하였다. 그러나 기존 선행연구들에서는 웨이트 트레이닝을 통해 근력을 강화시킴으로써 보행 능력의 향상을 도모하거나, 보행 시 시·청각적인 피드백을 통해 뇌졸중 환자들의 움직임을 개선하려는 시도가 대부분을 차지했다.

실질적으로 뇌졸중 환자들의 보행 능력을 향상시키기 위해서는 실제 보행 움직임을 통하여 트레이닝 하는 것이 가장 효과적이라고 알려져 있다(Cho & Kim, 2013; Hwang et al., 2017). 그러나 보행을 통한 트레이닝은 시간적으로 많은 노력을 필요로 하며, 자칫 지루할 수 있다는 단점이 있다(Hwang et al., 2017; Nadeau et al., 2013). 따라서 선행연구에서는 이를 극복하기 위하여 보행 시 중량을 가미하고자 하였다. Wu et al. (2014)은 자동 기계 장치(robotic device)를 이용한 뇌졸중 환자들의 저항성 보행 운동과 관련한 연구에서 보행 트레이닝 시 뇌졸중 환자들의 마비 측 하지에 저항력(resistance force)을 부가한 결과, 뇌졸중 환자들의 보행 속도가 증가하였으며, 이는 저항성 트레이닝이 뇌졸중 환자들의 마비 측에 근력 향상과 같은 긍정적인 영향을 가져왔기 때문이라고 보고하였다. 또한, Washabaugh, Augenstein & Krishnan (2020)은 신체 모델링(modeling)을 통한 시뮬레이션(simulation) 연구에서 보행 시 다양한 방법으로 여러 부위에 저항력을 부가한 결과, 저항력을 부가한 부위에 따라 관절 모멘트(joint moment)와 파워(power), 근활성도(muscle activation)에서 모두 다른 효과를 나타냈으며, 이는 저항력이 가해지는 부위에 따라 해당 저항 운동의 효과가 달라질 수 있다는 것을 의미하기 때문에 목적에 따라 특정 부위에 적절한 저항력을 부가하는 것이 중요하다고 보고하기도 하였다. 그러나 이러한 연구들은 임상 현장에서 사용하기 힘든 복잡하고, 경제적으로 부담이 많이 가는 장비를 이용하여 그 효과를 검증하였기 때문에 현장 접근성이 다소 낮고, 직접적으로 비정상적인 보행 움직임을 지닌 뇌졸중 환자를 대상으로 실험을 진행하지 않아 뇌졸중 환자에게 이를 직각적으로 적용하기에는 무리가 있다고 판단된다.

임상 현장에서는 경제적으로 저렴하고, 사용하기 쉬운 모래주머니(sandbag)를 이용하여 특정 부위에 중량을 가함으로써 자칫 지루할 수 있다는 보행 트레이닝의 단점을 극복하고, 현장 접근성을 높이고자 하였다(Cho & Kim, 2013; Hwang et al., 2017). Kim, Lee & Seo (2013)는 뇌졸중 환자들이 모래주머니를 손목에 착용한 상태로 어떠한 과업을 수행하는 것이 착용하지 않은 상태로 과업을 수행하는 것보다 재활의 효과가 높아, 모래주머니의 착용이 재활 운동에서 다양하게 활용될 가능성이 있다고 보고하였으며, Park, Hwangbo & Kim (2014)은 트레드밀 보행 시 뇌졸중 환자의 마비 측 발목에 3~5%의 중량을 부가한 결과, 중량 부하 없이 트레이닝에 참여한 뇌졸중 환자들에 비해 체중지지

시 압력중심점(center of pressure [COP])의 움직임이 다소 개선되었다고 보고하기도 하였다. 또한 Hwang et al. (2017)은 모래주머니를 사용하여 발목에 0%, 1% 그리고 2%의 중량을 가한 결과, 1%에 해당하는 모래주머니를 착용했을 때 보행 능력에 긍정적인 영향을 미쳤다고 보고하였다. 이와 같이 모래주머니의 착용은 중량을 제공함으로써 실제 움직임 시 저항을 부여하고, 근력 강화와 함께 움직임의 형태를 개선함으로써 보행 능력 향상에 도움을 줄 수 있다.

그러나 지금까지의 선행연구들에서는 모래주머니의 착용 위치가 대부분 발목으로 한정되어 왔으며, 모래주머니의 착용에 따른 움직임 형태의 변화보다는 트레이닝에 대한 결과만을 제시해왔다. 그러나 Cho & Kim (2013)은 그들의 연구를 통하여 하지 말단인 발목에 모래주머니를 착용하는 것은 뇌졸중 환자들의 특성상 발목의 배측 굴곡(dorsiflexion)과 저측 굴곡(plantar-flexion)이 대하여 어려움을 겪고 있는 상태이기 때문에 오히려 보행에 부담을 줄 수 있으며 장기적으로 부정적인 영향을 미칠 수도 있다고 보고하였다. 따라서 Yoon et al. (2016)은 그들의 연구에서 모래주머니를 손목과 같은 상지에 착용하여 그 효과를 검증하였는데, 모래주머니를 손목에 착용할 경우 상지의 움직임을 증가시키고, 역동적인 상지의 움직임을 이용하여 하지 관절 움직임에 긍정적인 영향을 줄 수 있어, 뇌졸중 환자들의 경우 발목 보다 손목에 착용하는 것이 효과적인 트레이닝에 도움이 된다고 보고하였다. 이러한 선행연구들의 다양한 시도들은 모래주머니의 착용 위치 변화가 뇌졸중 환자들의 보행 트레이닝의 효과에 영향을 줄 수 있음을 시사한다.

인간의 보행은 매우 복잡한 메커니즘(mechanism)을 가지고 있으며, 대략 100개의 근육들이 협응하여 상·하지의 움직임을 제어한다(Hwang et al., 2017; Whittlesey & Hamill, 1996). 이때, 몸통 그리고 팔의 균형을 유지하는 것은 보행에 있어 기본이 되며(Olney & Richard, 1996), 효과적인 움직임을 수행하기 위해서는 질량의 가장 큰 비중을 차지하는 몸통 분절의 움직임이 중요할 수밖에 없다. 이와 비슷한 맥락으로 모래주머니를 이용하여 몸통 또는 마비 측을 비롯한 비 마비 측 상지의 중량을 인위적으로 증가시키는 것은 상지 분절의 움직임에 대한 비중을 증가시켜 하지 분절의 보다 원활한 움직임을 유도할 수 있기 때문에 뇌졸중 환자들의 보행에 있어서 긍정적인 영향을 줄 가능성이 매우 높다고 판단된다. 따라서 본 연구의 목적은 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자들의 보행에 미치는 영향을 살펴보고, 뇌졸중 환자들의 보행 개선을 위한 과학적이고 정량적인 자료를 제공하는데 있다.

METHODS

1. 참여자

본 연구는 경기도에 거주하는 편마비 진단을 받은 후 1년 이상이 경과한 뇌졸중 환자 총 12명(age: 66.92±6.33 yrs., height: 161.73±6.76 cm, weight: 61.07±9.22 kg, on-set year: 12.75±3.57 yrs.)을 대상으로 하였다. 모든 연구대상자는 보조기구를 사용하지 않고 앉았다 일어하기가 가능하고, 한국판 간이 정신 상태 검사(Mini Mental State Examination-Korean [MMSE-K])에서 24점 이상 획득한 자로 선정하였다(Kim, Shin, Yoon & Lee, 2003). 또한, 시각과 청각의 기능적 장애 혹은 어지러움증,

전정기관의 문제가 있는 자 그리고 정형외과적 질환이나 심호흡계 질환이 있는 자는 연구대상자에서 제외하였다. 본 연구는 서울시 K 대학교 연구 윤리위원회의 승인(20180801-057)을 받아 실시되었으며, 모든 대상자는 실험 전, 충분한 설명과 함께 자발적으로 동의서를 작성하였다.

2. 자료수집

본 연구는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시되었다. 모래주머니는 (Figure 1)과 같이 마비 측 손목, 양측 손목, 그리고 몸통에 각각 부착되었으며, 모든 대상자는 일반 평지 보행(normal walking [N]), 마비 측 손목 모래주머니 부착 보행(wrist sandbag walking [W]), 마비 측 손목과 몸통 모래주머니 부착 보행(wrist & trunk sandbag walking [WT]), 양측 손목 모래주머니 부착 보행(both wrist sandbag walking [B]), 양측 손목과 몸통 모래주머니 부착 보행(both wrist & trunk sandbag walking [BT])을 각각 수행하였다. 본 실험에서는 1 kg 중량의 모래주머니가 사용되었으며, 손목 부위에는 모래주머니 한 개, 그리고 몸통 부위에는 앞쪽과 뒤쪽 각 한 개씩 총 2 kg 중량의 모래주머니가 부착되었다. 이때, 각 대상자는 상·하지에 총 47개의 반사 마커를 부착하고, 특수 제작된 약 10 m의 보행로에서 보행 동작을 수행하였다(Figure 2). 모든 반사 마커는 부착 위치에 따른 오류(error)를 최소화하기 위하여 실험 경험이 풍부한 연구자가 일관적으로 부착하도록 하였다. 대상자의 보행 동작에 대한 위치데이터(position data)를 취득하기 위하여 8대의 적외선카메라(Oqus 300+, Qualysis, Sweden; Sampling rate: 100 Hz)를 사전에 설치하였으며, 취득된 원자료(raw data)는 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용하여 노이즈(noise)를 제거하였다. 이때, 차단주파수(cut-off frequency)는 6 Hz로 설정하였다(Winter, 2009).

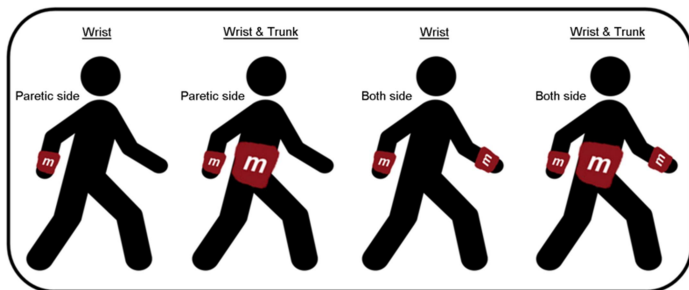


Figure 1. Attachment of sandbag on upper body

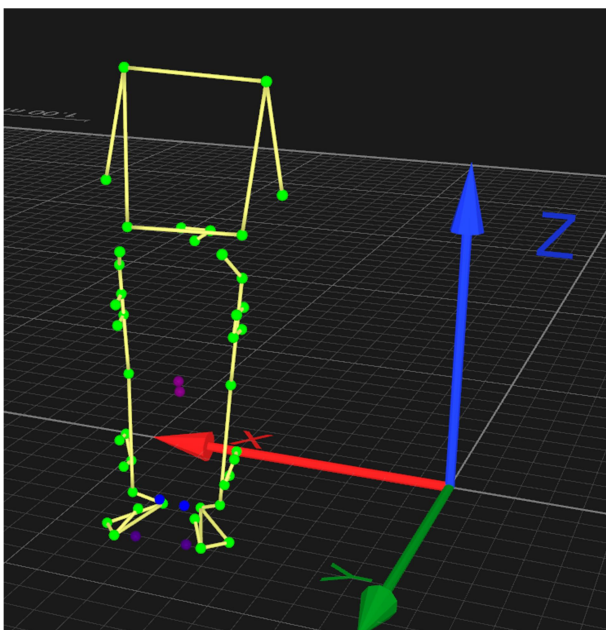


Figure 2. Attachments of markers on body (red line = positive x-axis, green line = positive y-axis, blue line = positive z-axis).

니가 사용되었으며, 손목 부위에는 모래주머니 한 개, 그리고 몸통 부위에는 앞쪽과 뒤쪽 각 한 개씩 총 2 kg 중량의 모래주머니가 부착되었다. 이때, 각 대상자는 상·하지에 총 47개의 반사 마커를 부착하고, 특수 제작된 약 10 m의 보행로에서 보행 동작을 수행하였다(Figure 2). 모든 반사 마커는 부착 위치에 따른 오류(error)를 최소화하기 위하여 실험 경험이 풍부한 연구자가 일관적으로 부착하도록 하였다. 대상자의 보행 동작에 대한 위치데이터(position data)를 취득하기 위하여 8대의 적외선카메라(Oqus 300+, Qualysis, Sweden; Sampling rate: 100 Hz)를 사전에 설치하였으며, 취득된 원자료(raw data)는 Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용하여 노이즈(noise)를 제거하였다. 이때, 차단주파수(cut-off frequency)는 6 Hz로 설정하였다(Winter, 2009).

3. 자료분석

본 연구에서는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 해당 부위에 모래주머니를 착용한 후 보행 시 나타나는 보행 및 운동학적 변수들을 분석하였다. 모래주머니 착용에 따른 뇌졸중 환자의 보행 형태를 알아보기 위하여, 보행 속도(gait velocity; m/s), 보빈도(cadence; steps/min), 스텝 시간(step time; s), 스트라이드 시간(stride time; s), 스텝 길이(step length; m), 스트라이드 길이(stride length; m), 스텝 너비(step width; m)를 산출하였다. 또한 상지의 움직임을 살펴보기 위하여, 보행 시 팔과 몸통이 이루는 팔 스윙 각도(arm swing angle; 앞굽음, anteversion (+); 뒷굽음, retroversion(-))와 가동범위(range of motion [ROM]), 그리고 어깨와 골반이 이루는 어깨-골반 각도(shoulder-pelvis angle)를 (Figure 3)와 같이 정의하였으며, 상지와 더불어 하지의 움직임 변화를 살펴보기 위하여 엉덩관절(hip joint), 무릎관절(knee joint), 발목관절(ankle joint)의 굴곡(flexion, +)·신전(extension, -) 각도를 시상면(sagittal plane)에서 계산하였다(Yoon et al., 2016). 이때, 데이터를 분석하기 위하여 마비 측(paretic side)과 비 마비 측(non-paretic side)을 각각 구분하여, 해당 측면의 발이 지면에 닿는 순간(R/L Heel-contact, Event 1)부터 동일한 측면의 다음 발이 지면에 닿는 순간(R/L Heel-contact, Event 2)까지에 보행 주기(cycle)를 구간(phase)으로 설정하였으며, 5번의 스트라이드(stride)를 분석에 활용하였다. 모든 대상자는 선호 속도(preferred speed)로 보행을 수행하였다.

4. 통계처리

본 연구에서는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하에 따른 뇌졸중 환자의 보행의 차이를 알아보기 위하여, 일원 반복측정 변량분석(one-way ANOVA with repeated measure)를 수행하였으며, LSD 사후검증(post-hoc)을 실시하였다. 이때, 통계적 유의 수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

RESULTS

1. 보행변수

모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의

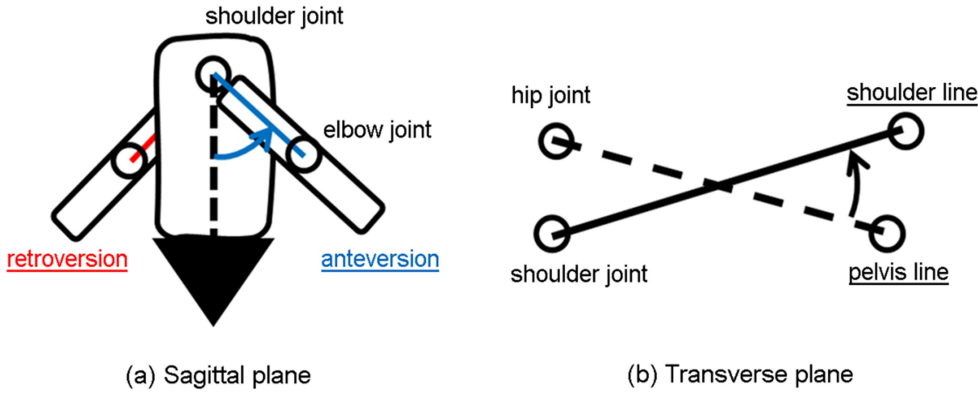


Figure 3. Calculation method of (a) arm swing angle between trunk and upper-arm and (b) relative rotation angle between shoulder and pelvis

Table 1. Comparison of the gait parameters according to the locations of sandbags

Variables	Side	N	W	WT	B	BT	F(ρ)	Post-hoc
Gait speed (m/s)	-	0.53±0.27	0.55±0.26	0.56±0.26	0.55±0.22	0.54±0.25	0.61 (.62)	-
Cadence (steps/min)	-	88.72±16.15	91.13±14.23	91.87±14.37	91.67±11.80	91.13±11.61	1.09 (.37)	-
Step time (s)	Paretic	0.77±0.16	0.74±0.13	0.74±0.16	0.75±0.13	0.72±0.14	0.82 (.47)	-
	Non-paretic	0.62±0.16	0.59±0.12	0.59±0.11	0.57±0.10	0.60±0.08	0.98 (.41)	-
Stride time (s)	Paretic	1.39±0.26	1.34±0.20	1.34±0.22	1.33±0.17	1.34±0.19	0.14 (.16)	-
	Non-paretic	1.39±0.26	1.34±0.20	1.34±0.21	1.34±0.19	1.34±0.17	1.97 (.16)	-
Step length (m)	Paretic	0.36±0.13	0.36±0.13	0.38±0.13	0.38±0.10	0.37±0.11	1.56 (.20)	W<WT
	Non-paretic	0.34±0.17	0.34±0.18	0.34±0.19	0.33±0.18	0.33±0.20	0.20 (.94)	-
Stride length (m)	Paretic	0.70±0.28	0.71±0.27	0.72±0.28	0.71±0.24	0.70±0.29	0.26 (.90)	-
	Non-paretic	0.69±0.27	0.71±0.27	0.72±0.28	0.72±0.24	0.70±0.28	1.01 (.42)	-
Step width (m)	Paretic	0.15±0.04	0.15±0.05	0.15±0.05	0.15±0.05	0.15±0.04	0.34 (.85)	-
	Non-paretic	0.15±0.04	0.15±0.05	0.15±0.05	0.15±0.05	0.15±0.05	0.26 (.90)	-

Note. normal walking [N], wrist sandbag walking [W], wrist & trunk sandbag walking [WT], both wrist sandbag walking [B], both wrist & trunk sandbag walking [BT]

보행 변인에 미치는 영향을 분석한 결과, 모든 보행 변인에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p>.05$; Table 1).

몸통에 모두 모래주머니를 착용한 것보다 비 마비 측 팔의 앞굽음이 크게 나타났다($p<.05$; Table 2).

2. 팔 스윙과 어깨-골반의 운동학적 변인

모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의 팔 스윙 및 어깨-골반 각도에 미치는 영향을 분석한 결과, 보행 시 중량 부하에 따라 마비 측의 팔 스윙의 가동범위와 비 마비 측 팔의 앞굽음이 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$; Table 2). 사후검정에서는 양쪽에 모래주머니를 착용한 보행(B) 시 모래주머니를 착용하지 않은 보행(N)과 손목과 몸통에 모래주머니를 착용한 보행(WT)보다 마비 측의 팔 스윙의 가동범위가 크게 나타났다. 또한, 모래주머니를 착용하지 않은 보행(N)보다 손목(W), 손목과 몸통(WT) 그리고 몸통(T)에 모래주머니를 착용한 보행 시 비 마비 측 팔의 앞굽음이 큰 것으로 나타났으며, 양쪽 손목(B)에만 모래주머니를 착용한 것이 양쪽 손목과

3. 하지 운동학적 변인

모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의 하지 관절 각도에 미치는 영향을 분석한 결과, 모든 하지 관절에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p>.05$; Table 3).

DISCUSSION

본 연구에서는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자의 보행에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 뇌졸중 환자들은 해당 질환의 특성상 경과에 따라 운동 기능의 개인차가 매우 크며, 중증도(severity)에 따라 자극에 대한 수용 정도가 다르다. 때문에,

Table 2. Comparison of the arm swing and shoulder-pelvis kinematics according to the locations of sandbags

Variables	Side	N	W	WT	B	BT	<i>F</i> (<i>p</i>)	Post-hoc
Arm swing ROM (deg.)	Paretic	14.56±5.93	16.42±7.81	15.55±6.92	17.28±8.76	17.00±8.64	2.63 (.05)*	N<B WT<B
	Non-paretic	28.97±12.76	35.14±10.56	34.46±12.16	33.63±14.10	30.48±15.72	2.05 (.12)	N<W
Arm Ante. (deg.)	Paretic	6.97±2.92	8.12±3.57	7.60±3.38	8.24±4.55	8.85±4.29	4.68 (.01)	N<W N<BT WT<BT
	Non-paretic	14.16±6.44	17.63±5.16	17.29±6.04	17.19±6.94	14.83±8.03	3.11 (.04)*	N<W N<WT N<B B>BT
Arm Retr. (deg.)	Paretic	7.59±3.21	8.30±4.43	7.95±3.60	9.04±4.26	8.15±4.45	1.37 (.26)	WT<B
	Non-paretic	14.80±6.54	17.51±5.54	17.17±6.26	16.44±7.26	15.65±7.74	1.14 (.35)	N<W
Sh.-Pel. ROM (deg.)	-	16.01±6.81	16.88±7.01	16.77±7.38	17.08±7.14	16.42±7.41	1.48 (.24)	N<B BT<B

Note. significant at * $p < .05$; normal walking [N], wrist sandbag walking [W], wrist & trunk sandbag walking [WT], both wrist sandbag walking [B], both wrist & trunk sandbag walking [BT]

Table 3. Comparison of the lower extremities kinematics according to the locations of sandbags

Variables	Side	N	W	WT	B	BT	<i>F</i> (<i>p</i>)	Post-hoc
Hip ROM (deg.)	Paretic	25.45±10.59	25.83±10.92	26.27±12.21	26.16±11.31	26.15±11.78	0.43 (.71)	-
	Non-paretic	36.18±6.81	36.12±7.74	36.31±7.36	37.35±5.82	35.36±7.19	0.45 (.61)	-
Hip max extension (deg.)	Paretic	-12.57±13.77	-12.80±13.11	-13.27±13.03	-12.82±13.61	-13.29±13.43	0.64 (.51)	-
	Non-paretic	-10.76±17.26	-11.02±15.95	-11.78±16.31	-12.00±15.63	-10.40±13.96	0.51 (.57)	-
Hip max flexion (deg.)	Paretic	12.88±11.02	13.04±11.10	13.00±10.59	13.34±12.04	12.87±10.78	0.25 (.84)	-
	Non-paretic	25.42±16.78	25.10±17.68	24.54±17.49	25.35±17.18	24.97±17.23	0.96 (.44)	-
Knee ROM (deg.)	Paretic	36.94±17.79	39.45±20.53	38.35±21.09	37.90±19.09	38.54±19.83	1.66 (.18)	-
	Non-paretic	57.58±8.71	56.99±8.43	58.40±10.21	58.59±9.65	56.26±9.65	0.91 (.47)	-
Knee max extension (deg.)	Paretic	-4.03±13.14	-5.23±12.98	-5.20±13.79	-5.34±13.20	-5.42±13.85	2.22 (.14)	-
	Non-paretic	5.96±8.30	5.89±8.04	5.60±9.30	6.29±9.50	6.96±8.96	1.51 (.22)	W<BT WT<BT
Knee max flexion (deg.)	Paretic	32.90±16.85	34.22±17.82	33.15±17.81	32.57±17.27	33.12±16.23	0.78 (.52)	-
	Non-paretic	63.53±4.75	62.88±7.05	64.00±6.07	64.88±6.34	63.22±7.68	0.91 (.47)	W>B
Ankle ROM (deg.)	Paretic	19.32±6.86	17.50±7.08	17.62±7.07	18.27±6.99	17.88±6.89	3.35 (.06)	N>W WT<B
	Non-paretic	22.02±4.64	23.96±4.82	24.26±5.10	23.88±4.70	23.93±5.29	1.21 (.32)	N<WT
Ankle plantar flexion (deg.)	Paretic	-9.88±7.47	-9.76±7.80	-9.88±8.09	-10.31±7.70	-10.00±8.06	0.15 (.77)	-
	Non-paretic	-5.15±5.52	-5.63±7.05	-5.64±7.08	-5.19±7.55	-5.04±7.38	0.10 (.98)	-
Ankle dorsi flexion (deg.)	Paretic	9.45±7.08	7.74±8.29	7.75±8.53	7.96±8.22	7.88±8.68	1.72 (.21)	-
	Non-paretic	16.86±5.86	18.33±4.14	18.62±4.63	18.69±4.71	18.89±4.60	2.48 (.14)	-

Note. normal walking [N], wrist sandbag walking [W], wrist & trunk sandbag walking [WT], both wrist sandbag walking [B], both wrist & trunk sandbag walking [BT]

뇌졸중 환자들을 대상으로 한 연구에서는 대상자들의 중증도가 주요한 외적 변수로서 적용되게 된다. 본 연구에서는 대상자들이 평균 0.53~0.56 m/s의 속도로 보행 동작을 수행하였으며, 이는 뇌졸중 환자들의 일반적으로 보행 속도인 0.23~0.73 m/s에 해당한다(Beyaert et al., 2015).

본 연구를 수행한 결과, 기존의 선행연구(Yoon et al., 2016)와 다르게 손목과 몸통의 중량 부하에 따른 보행 변인(gait parameter)의 차이가 나타나지 않았다(Table 1, $p > .05$). 이러한 결과는 본 연구와 선행연구에 사용된 피험자들의 중증도의 차이에 기인한 것으로 생각되어진다. 즉, 기존 선행연구의 뇌졸중 환자들의 보행 속도가 경증 뇌졸중 환자들의 범주에 해당하는 0.78~0.95 m/s에 집중되어 있는 반면 본 연구의 환자들은 평균 0.53~0.56 m/s의 보행 속도를 나타내고 있어 본 연구와 기존 선행연구들의 대상자들 간에는 중증도의 차이가 존재하며, 이와 같은 이유로 본 연구에서는 기존 선행연구들과 상이하게 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하에 따른 보행 변인(gait parameter)의 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다. 그러나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았지만 전반적인 기술적 통계(descriptive Statistics) 수치를 살펴보면, 보행 속도는 물론, 보빈도에서도 모두 긍정적인 효과를 나타내는 경향을 보였다. 특히, 모래주머니를 이용한 중량을 마비 측에만 착용했을 때(W & WT), 양쪽에 모두 착용했을 때(B & BT)보다 일반 보행(N)과 비교하여 그 향상의 폭이 컸다. 이러한 결과는 모래주머니를 이용한 마비 측의 단일한 중량 부하가 마비 측의 움직임에 대한 비중을 증가시켰고, 운동량을 높여 보행 시 비 마비 측의 움직임과 상응하는 마비 측의 전방 움직임에 대한 기여도를 증가시켰기 때문으로 판단된다. 그러나 이러한 효과를 극대화하기 위해서는 비 마비 측의 움직임이 보다 효율적이고 자연스러워야 한다. 따라서 모래주머니를 이용하여 마비 측에만 중량을 부가했을 때, 양측에 중량을 부가했을 때보다 보행 변수에 대한 긍정적인 효과가 두드러진 이유는 모래주머니를 이용한 비 마비 측(B & BT)의 중량 부하가 효율적인 움직임을 제한하는 불필요한 하중으로 작용했기 때문으로 사료된다. 보행 속도의 향상은 뇌졸중 환자의 재활에 있어서 주된 목표가 되며, 일상생활을 영유하기 위한 필수적인 요소로서 보빈도와 스트라이드 길이에 의해 좌우된다(Mulroy et al., 2010). 그러므로 본 연구의 결과는 모래주머니를 이용한 중량 부하가 뇌졸중 환자들의 근본적인 재활의 목적인 보행 속도 향상에 도움을 줄 수 있다는 것을 의미할 수 있으며, 보행 변수의 전반적인 향상을 위해서는 마비 측에만 단독적으로 중량을 가미하는 것이 양측에 중량을 가미하는 것보다 더욱 경제적인(economical) 재활의 성과를 가져올 수 있음을 시사한다고 판단된다(Nadeau et al., 2013).

또한, 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 팔 스윙 및 어깨-골반의 운동학적 움직임에 미치는 영향을 살펴본 결과, 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량의 부하가 마비 측 팔의 가동범위를 증가시켰으며, 특히 몸통에 모래주머니를 착용했을 때보다 손목에만 모래주머니를 착용했을 때 그 효과가 두드러졌다. 그리고 중량에 따라 비 마비 측 팔의 앞굽음 각도가 증가하였으며, 이 역시 몸통에 모래주머니를 착용했을 때보다 손목에만 모래주머니를 착용했을 때 그 효과가 두드러졌다. 반면, 양측 손목과 몸통에 모두 모래주머니를 착용했을 때는 그 효과가 다소 낮게 나타났다(Table 2). 결론적으로, 손목과 몸통의 중량 부하는 보행 시 뇌졸중 환자의 팔을 비롯한 상지의 움직

임을 증가시킬 수 있을 것으로 판단되며, 이와 같은 상지의 움직임 변화는 뇌졸중 환자들의 보행 패턴을 변화시킬 수 있는 외적 변수로서 충분히 활용될 수 있다(Yoon et al., 2016). 또한, 팔 스윙의 감소는 보행 시 몸통의 회전(rotation) 증가라는 보상 작용을 유발하게 되고, 이는 보행 안정성에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Beyaert et al., 2015). 비록, 팔의 움직임은 보행에 있어서 전적으로 필수요인은 아닐지라도 골반과 하지의 움직임에 대한 카운터 밸런스(counter balance)에 중요한 역할을 담당하고 있다(Zehr & Duysens, 2004). 본 연구에서는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 상지 움직임에 있어서 다양한 효과를 가져올 수 있음을 확인하였으며, 이를 활용하여 팔의 스윙 및 상지의 전반적인 움직임을 향상시키고, 뇌졸중 환자들의 궁극적인 재활 목표인 보행 속도의 증가와 같은 보행 패턴의 개선을 가져올 수 있는 전략으로써 충분히 활용될 수 있다고 판단된다(Behrman, Teitelbaum & Cauraugh, 1998; Shin, Jung & Kim, 2013). 추가적으로 본 연구 결과, 팔의 움직임만을 증가시키기 위해서는 몸통에 중량을 가미하는 것 보다는 손목에만 중량을 부가하는 것이 더욱 효과적일 수 있음을 확인할 수 있었으며, 보행 속도를 증가시키기 위해서는 비 마비 측 보다는 마비 측에 단독적으로 중량을 가미하는 것이 긍정적인 효과를 극대화시킬 수 있다고 판단된 바, 이는 뇌졸중 환자들의 재활 목적에 따라 다양하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

더불어, 본 연구에서 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 팔의 뒷굽음(retroversion)과 어깨-골반의 가동범위를 증가시키는 경향을 나타냈다(Table 2). 팔의 뒷굽음은 스윙 구간(swing phase)의 안정성을 증가시키고, 몸통의 회전을 최소화하여 보행 주기의 전반적인 안정을 가져다 줄 수 있다(Li, Wang, Crompton & Gunther, 2001). 그리고 어깨-골반의 가동범위는 상·하지의 이조(anti-phase)의 움직임이 이루어질 시 증가하게 되며, 이는 역동적인 보행을 가능하게 하며 스트라이드 길이를 증가시킬 가능성이 있다(Lovejoy, 2005). 스트라이드 길이의 증가는 보빈도의 증가와 함께 보행 속도를 증가시키는 요인으로써 뇌졸중 환자의 재활에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 추후 연구를 통하여 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 팔의 뒷굽음과 어깨-골반의 움직임에 미치는 영향을 극명하게 확인한다면 이 또한 뇌졸중 환자의 재활 전략으로써 충분히 활용될 수 있는 여지가 존재한다.

일반적으로 뇌졸중 환자들은 뇌졸중 발병 후 하지 관절의 가동범위가 전반적으로 감소함에 따라 보행에 어려움을 겪게 되며, 무릎 관절과 엉덩 관절의 굴곡 감소는 스윙 구간에서의 움직임을 제한하게 되고, 스텝과 스트라이드 길이, 그리고 보행 속도의 감소와 직결된다(Carmo et al., 2012). 따라서 하지 관절 움직임에 대한 회복 역시, 뇌졸중 환자들의 주된 재활 목적 중 하나가 된다. 그러나 본 연구 결과, 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하에 따른 하지 관절의 각도는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 이러한 결과는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 하지의 운동학적인 요인에는 영향을 미치지 못함을 의미할 수 있다.

그러나 다른 측면에서 생각해보면 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 저항성 트레이닝 시 중량 부하로 인한 하지의 갑작스러운 움직임 패턴의 변화를 발생시키지 않고, 낙상의 위험성이 비교적 낮은 저항성 트레이닝이 될 수 있다는 것을 의미이기도 한다. 뇌졸중 환자들은 일반인과 비교하여 자유도(degrees of freedom)가 상당히

적고, 움직임의 가변성(movement variability)이 높으며, 때문에 움직임에 대한 패턴의 안전성(stable movement patterns)이 다소 떨어진다(Beyaert et al., 2015). 이러한 뇌졸중 환자들의 특성은 환경의 변화에 따른 적응 능력 즉, 유연성(flexibility)이 낮음을 의미하며, 이러한 상태의 환자들에게 모래주머니를 이용한 중량의 부하와 같은 외부적인 변화가 돌연 적용되게 된다면, 뇌졸중 환자들의 움직임을 변화시키고, 이로 인해 낙상으로 이어질 수 있음을 간과할 수 없다. 뇌졸중 환자들의 보행 트레이닝에 있어서 안전은 기능적인 향상 못지않게 중요한 부분이다(Kim & Park, 2015; Van De Port, Kwakkel, Van Wijk & Lindeman, 2006). 또한, 뇌졸중 환자들의 재활을 위한 트레이닝은 많지만, 실제 보행 움직임을 통하여 일상생활 능력을 향상시키고, 안전까지 확보된 트레이닝은 실증된 바가 많지 않다(Yu & Jeon, 2015). 본 연구에서는 손목과 몸통의 모래주머니를 이용한 중량 부하가 전략적으로 뇌졸중 환자의 보행 트레이닝에 활용될 수 있음을 확인하였으며, 중량 부하를 통한 저항 트레이닝 시 하지 관절의 움직임의 변화가 미비한 것은 오히려 갑작스러운 움직임 패턴의 변화로 인한 낙상의 위험성을 줄여, 안전하고 효과적인 저항성 보행 트레이닝이 가능하다는 것을 반증한다. 따라서 이는 모래주머니를 이용한 중량 부하가 얼마든지 뇌졸중 환자의 저항성 재활 트레이닝에 적용될 수 있음 뒷받침하는 결과라고 생각되어진다.

결론적으로 본 연구에서는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자들의 상지 움직임에는 영향을 미칠 수 있으나, 하지 움직임에는 크게 영향을 주지 못하는 것으로 나타났다. 이는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 하지의 갑작스러운 패턴 변화에 따른 뇌졸중 환자들의 낙상 위험성을 최소화하고, 상지 움직임에 변화를 줌으로써 재활의 효과를 꾀하는 전략으로 활용될 수 있다는 것을 의미할 수 있다. 또한, 중증도 수준에 따라 그 효과가 상이할 수 있으며, 부착 부위에 따라 다양하게 재활 방법으로 활용될 수 있기 때문에 환자들의 개별적인 보행 기능 장애를 평가하고, 관찰한 후 해당 트레이닝이 적용되어야 할 것으로 판단된다(Nadeau et al., 2013). 본 연구의 결과는 경제적으로 저렴하고, 사용하기 쉬운 모래주머니가 착용 부위에 따라 상이한 효과를 나타내며, 임상에서 모래주머니를 이용한 저항성 트레이닝이 충분히 뇌졸중 환자들의 트레이닝의 방법 중 하나로서 사용될 수 있음을 보여준다. 그러나 본 연구에서는 중량을 단일 무게로 제한하여 다양한 무게에 따른 차이를 검증하지 못했으며, 모든 대상자가 몸무게와 무관하게 같은 중량의 모래주머니를 착용했다는 제한점이 존재한다. 그리고 본 연구에서는 팔의 움직임을 투영해서 살펴보았기 때문에 모래주머니가 착용되어 있는 손목의 움직임을 고려하지 못하였으며, 중량 부하에 따른 상·하지 근육의 움직임을 직접적으로 살펴볼 수 없었다. 따라서 추후 연구에서는 다양한 무게와 부착 부위에 따른 중량 부하의 효과를 검증하고, 모래주머니를 착용에 따른 뇌졸중 환자들의 해당 분절의 3차원적인 움직임을 살펴볼 여지가 있으며, 근전도 측정 장비(electromyograph [EMG])를 통하여 근육 움직임을 심도 있게 살펴볼 필요가 있다고 사료된다.

CONCLUSION

본 연구는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 뇌졸중 환자들의 보행에 미치는 영향을 알아보기 위해 수행되었다. 본 연구

결과, 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하는 보행 변인과 하지 관절 각도에는 영향을 미치지 못했으나, 착용 부위에 따라 보행 변인(보행 속도, 보빈도)이 향상되는 경향을 나타냈으며, 팔 스윙 및 어깨-골반의 움직임이 통계적으로 유의하게 증가함을 나타냈다. 이는 모래주머니를 이용한 손목과 몸통의 중량 부하가 하지의 움직임에 변화를 주지 않고, 집약적으로 상지의 움직임에만 영향을 줌으로써 갑작스러운 하지의 움직임 패턴 변화에 따른 낙상 위험성을 최소화 할 수 있다는 것으로 해석될 수 있으며, 상지 움직임 변화에 따른 패턴의 전이는 물론, 저항성 트레이닝을 통한 기능적 회복을 유도하는데 있어서 유용할 수 있음을 의미할 수 있다. 또한, 이는 경제적이고 사용하기 쉬우며 접근성이 높다는 모래주머니의 장점과 함께, 임상 현장에서 뇌졸중 환자의 재활을 위한 방법으로 다양하게 활용될 수 있을 것으로 예상되며 나아가 일상생활 속 재활 트레이닝에도 적극적으로 활용될 가능성이 매우 높을 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Algurén, B., Lundgren-Nilsson, Å. & Sunnerhagen, K. S. (2010). Functioning of stroke survivors-a validation of the ICF core set for stroke in Sweden. *Disability and Rehabilitation*, 32(7), 551-559.
- Behrman, A. L., Teitelbaum, P. & Cauraugh, J. H. (1998). Verbal instructional sets to normalise the temporal and spatial gait variables in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 65, 580-582.
- Beyaert, C., Vasa, R. & Frykberg, G. E. (2015). Gait post-stroke: pathophysiology and rehabilitation strategies. *Clinical Neurophysiology*, 45(4-5), 335-355.
- Boudarham, J., Roche, N., Pradon, D., Bonnyaud, C., Bensmail, D. & Zory, R. (2013). Variations in kinematics during clinical gait analysis in stroke patients. *PLoS One*, 8(6), e66421.
- Carmo, A. A., Kleiner, A. F. R., Costa, P. H. & Barros, R. M. L. (2012). Three-dimensional kinematic analysis of upper and lower limb motion during gait of post-stroke patients. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 45(6), 537-545.
- Cho, J. H. & Kim, R. B. (2013). The gait analysis of lower extremity joint according to sandbag attaching position. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 51(2), 767-775.
- Duncan, P. W., Zorowitz, R., Bates, B., Choi, J. Y., Galsberg, J. J., Graham, G. D., Katz, R. C., Lamberty, K. & Reker, D. (2005). Management of adult stroke rehabilitation care. *Stroke*, 36, 100-143.
- Gentton, N., Vuillerme, N., Monnet, J. P., Petit, C. & Rougier, P. (2007). Biomechanical assessment of the sitting posture maintenance in patients with stroke. *Clinical Biomechanics*, 22(9), 1024-1029.
- Graves, J. E., Martin, A. D., Miltenberger, L. A. & Pollock, M. L. (1988). Physiological responses to walking with hand weights, wrist weights, and ankle weights. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(3), 265-271.
- Holden, M. K. (2005). Virtual environments for motor rehabilitation. *Cyber Psychology & Behavior*, 8(3), 187-211.

- Hwang, J. W., Lee, S. K., Park, J. S., Ahn, S. H., Lee, K. J. & Lee, S. J. (2017). The effects of ankle weight loading on the walking factors of adults without symptoms. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 13(4), 425.
- Hyndman, D., Ashburn, A. & Stack, E. (2002). Fall events among people with stroke living in the community: circumstances of falls and characteristics of fallers. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(2), 165-170.
- Kim, C. M., Eng, J. J., MacIntyre, D. L. & Dawson, A. S. (2001). Effects of isokinetic strength training on walking in persons with stroke: a double-blind controlled pilot study. *Journal of Stroke Cerebrovascular Disease*, 10(6), 265-273.
- Kim, H., Lee, H. & Seo, K. (2013). The effects of dual-motor task training on the gait ability of chronic stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 25(3), 317-320.
- Kim, J., Shin, I., Yoon, J. & Lee, H. (2003). Comparison of diagnostic validities between MMSE-K and K-MMSE for screening of dementia. *Journal of Korean Neuropsychiatric Association*, 42(1), 124-130.
- Kim, M. & Park, S. (2015). The effects of personalized residential environment improvement on occupational performance satisfaction and activities of daily living: case studies in stroke patients. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine*, 3(1), 41-51.
- Krawczyk, M., Szczerbik, E. & Syczewska, M. (2014). The comparison of two physiotherapeutic approaches for gait improvement in subacute stroke patients. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 16(1), 11-18.
- Kuttuva, M., Boian, R., Merians, A., Burdea, G., Bouzit, M., Lewis, J. & Fensterheim, D. (2006). The Rutgers Arm, a rehabilitation system in virtual reality: a pilot study. *Cyberpsychology & Behavior*, 9(2), 148-152.
- Lam, T., Wirz, M., Lünenburger, L. & Dietz, V. (2008). Swing phase resistance enhances flexor muscle activity during treadmill locomotion in incomplete spinal cord injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(5), 438-446.
- Laufer, Y., Dickstein, R., Chefez, Y. & Marcovitz, E. (2001). The effect of treadmill training on the ambulation of stroke survivors in the early stages of rehabilitation: a randomized study. *Journal of Rehabilitation and Research Development*, 38(1), 69-78.
- Li, Y., Wang, W., Crompton, R. H. & Gunther, M. M. (2001). Free vertical moments and transverse forces in human walking and their role in relation to arm-swing. *The Journal of Experimental Biology*, 204, 47-58.
- Liao, H. F., Liu, Y. C., Liu, W. Y. & Lin, Y. T. (2007). Effectiveness of loaded sit-to-stand resistance exercise for children with mild spastic diplegia: a randomized clinical trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(1), 25-31.
- Lovejoy, C. O. (2005). The natural history of human gait and posture. Part 1. Spine and pelvis. *Gait & Posture*, 21, 95-112.
- Mirelman, A., Patrissi, B. L., Bonato, P. & Deutsch, J. E. (2010). Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke. *Gait & Posture*, 31(4), 433-437.
- Morris, S. L., Dodd, K. J. & Morris, M. E. (2004). Outcomes of progressive resistance strength training following stroke: a systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 18(1), 27-39.
- Mulroy, S. J., Klassen, T., Gronley, J. K., Eberly, V. J., Brown, D. A. & Sullivan, K. J. (2010). Gait parameters associated with responsiveness to treadmill training with body-weight support after stroke: an exploratory study. *Physical Therapy*, 90(2), 209-223.
- Nadeau, S., Betschart, M. & Bethoux, F. (2013). Gait analysis for post-stroke rehabilitation: the relevance of biomechanical analysis and the impact of gait speed. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 24(2), 265-276.
- Nilsson, L., Carlsson, J., Danielsson, A., Fugl-Meyer, A., Hellström, K., Kristensen, L., Sjölund, B., Sunnerhagen, K. S. & Grimby, G. (2001). Walking training of patients with hemiparesis at an early stage after stroke: a comparison of walking training on a treadmill with body weight support and walking training on the ground. *Clinical Rehabilitation*, 15(5), 515-527.
- Olney, S. J. & Richards, C. (1996). Hemiparetic gait following stroke. Part I: Characteristics. *Gait & Posture*, 4(2), 136-148.
- Park, J. H., Hwangbo, G. & Kim, J. S. (2014). The effect of treadmill-based incremental leg weight loading training on the balance of stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 26(2), 235-237.
- Park, S. & Kim, J. (2008). Changes of Functional Performance Ability in Stroke Patients by Exercise Types I: Analysis of Lower Extremity Muscle Activity during Walking. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(1), 63-72.
- Prange, G. B., Jannink, M. J., Groothuis-Oudshoorn, C. G., Hermens, H. J. & IJzerman, M. J. (2006). Systematic review of the effect of robot-aided therapy on recovery of the hemiparetic arm after stroke. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 43(2), 171-184.
- Shin, H., Jung, H. & Kim, Y. (2013). The Comparison of Symmetry of Vertical Ground Reaction Force on Pattern of Sit to Stand in the Chronic Stroke Patients. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 23(3), 253-259.
- Silver, K. H., Macko, R. F., Forrester, L. W., Goldberg, A. P. & Smith, G. V. (2000). Effects of aerobic treadmill training on gait velocity, cadence, and gait symmetry in chronic hemiparetic stroke: a preliminary report. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 14(1), 65-71.
- Van De Port, I. G., Kwakkel, G., Van Wijk, I. & Lindeman, E. (2006). Susceptibility to deterioration of mobility long-term after stroke: a prospective cohort study. *Stroke*, 37(1), 167-171.
- Washabaugh, E. P., Augenstein, T. E. & Krishnan, C. (2020). Functional resistance training during walking: Mode of application differentially affects gait biomechanics and muscle activation patterns. *Gait & Posture*, 75, 129-136.
- Whittlesey, S. N. & Hamill, J. (1996). An alternative model of the lower

- extremity during locomotion. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 269-279.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. 4th edition. Wiley-Interscience Publication, New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Wu, M., Landry, J. M., Kim, J., Schmit, B. D., Yen, S. C. & MacDonald, J. (2014). Robotic resistance/assistance training improves locomotor function in individuals poststroke: a randomized controlled study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(5), 799-806.
- Yoon, J., Park, J., Park, K., Jo, G., Kim, H., Jang, W., Kim, J. S., Youn, J., Oh, E. S., Kim, H. & Youm, C. H. (2016). The effects of additional arm weights on arm-swing magnitude and gait patterns in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, 127(1), 693-697.
- Yu, K. H. & Jeon, H. S. (2015). The effects of dual-task gait training on gait performance under cognitive tasks in chronic stroke. *Journal of Korean Physical Therapy*, 27(5), 364-368.
- Yu, Y. & Lim, B. (2007). Kinematic Analysis of Rising from a Chair in Healthy and Stroke Subjects. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 17(2), 103-112.
- Zehr, E. P. & Duysens, J. (2004). Regulation of arm and leg movement during human locomotion. *Neuroscientist*, 10, 347-361.