

# 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백이 만성 뇌졸중 환자의 정적균형능력과 체중 지지율에 미치는 영향 - 예비실험연구

길기수<sup>1</sup> · 김 호<sup>1</sup> · 신원섭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>대전대학교 보건의료대학원 물리치료학과 학생, <sup>2\*</sup>대전대학교 보건의료과학대학 물리치료학과 교수

## Effects of Vibrotactile Bio-Feedback Providing Pressure Information in Real Time on Static Balance and Weight Bearing Rate in Chronic Stroke Patients - Pilot Study

Ki-Su Kil, PT, MSc<sup>1</sup> · Ho Kim, PT, MSc<sup>1</sup> · Won-Seob Shin, PT, Ph.D<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. Physical therapy, Graduate School of Health and Medicine, Daejeon University, Student

<sup>2\*</sup>Dept. Physical therapy, College of Health and Medical Science, Daejeon University, Professor

### Abstract

**Purpose** : The purpose of this study is to find out if it helps to improve static balance ability and weight bearing rate for chronic stroke patients with poor balance in clinical intervention through a method of correcting movement errors while performing a task by vibrotactile bio-feedback providing pressure information.

**Methods** : Fifteen chronic stroke patients (12 male and 3 female) were participated in this study. To examine the effects of vibrotactile bio-feedback and general standing without bio-feedback on static balance ability and weight distribution symmetric index in all subjects randomized with R Studio. The static balance ability and weight distribution symmetric index of the participants was evaluated using a force plate. A paired t-test was used for comparison of each conditions. Statistical significance was set at  $\alpha = 0.05$ .

**Results** : The comparisons of static balance ability and weight distribution symmetric index in chronic stroke patients after two different condition are as follows. In the static balance ability and weight distribution symmetric index, the vibrotactile feedback providing pressure information showed a significant difference compared to none feedback ( $p < .001$ ).

**Conclusion** : The vibrotactile bio-feedback providing pressure information in real time can support an improve in static balance ability, uniform weight bearing rehabilitation in chronic stroke patients. In the future, it is hoped that a follow-up study that provides a better direction of intervention compared to various feedback interventions commonly used in clinical practice.

**Key Words** : balance, feedback, sensor, stroke, vibrotactile

\*교신저자 : 신원섭, shinws@dju.kr

논문접수일 : 2020년 12월 7일 | 수정일 : 2020년 12월 23일 | 게재승인일 : 2020년 12월 31일

## I. 서론

뇌졸중은 뇌혈관 질환으로서 뇌로 전달되는 혈액공급이 차단 또는 손상으로 인한 출혈로 인해 발생하는 순환기 계통과 관련된 질환으로 뇌졸중 유병률은 사망 원인 중 가장 높은 비율을 차지하며 생존 후 뇌 손상 정도에 따라 장애 및 기능 장애를 동반하며 뇌졸중 환자의 약 85 %가 편마비 및 운동장애를 경험한다(Adebayo & Culpan, 2020; Saposnik 등, 2010). 뇌졸중 환자들은 많은 일상생활 활동능력이 저하되지만, 가장 중요한 점은 균형능력의 상실로 인해 낙상 위험 증가로 이차적인 손상으로 생명에 지장을 줄 수 있다(Montagna 등, 2014). 균형능력은 최소한의 자세 흔들림으로 신체 지지면(base of support) 내에서 무게중심(center of gravity)을 유지하는 능력으로 정의하며 시각계, 전정계, 체성감각계와 고유수용성 감각을 통해 들어오는 감각 정보를 처리하는 인체의 필수 요소이다(Park 등, 2019). 이에 균형능력은 뇌졸중 환자들이 일상생활을 영위하는데 중요한 요소로 재활의 핵심이라 할 수 있다(Kang 등, 2020).

뇌졸중 환자들의 균형능력 증진을 위한 재활 치료로 측방 체중 이동방법, 시각적 자극으로 피드백을 통해 환자의 움직임이나 자세를 조절 및 교정을 하는 고유수용성신경근촉진법을 이용한 방법도 있지만, 최근 바이오피드백을 통한 중재가 많이 사용되고 있다(Jeong & Oh, 2013; Kim 등, 2013; Kim & Kim, 2017). 바이오피드백 치료는 정신생리학 학습이론에 기반을 둔 움직임 수정의 일종으로 근육계 활동, 심혈관계 활동, 피부의 전기적 활동, 뇌의 전기적 활동과 같은 신경생리학적 반응에 통해 수의적 조절 능력을 높이기 위해 기계 및 전기 장치의 도움으로 시행되는 반복 학습 훈련으로 정의된다(Schwartz & Andrasik, 2016). 바이오피드백 훈련은 시각, 전정감각, 청각, 체성감각과 같이 다양한 감각을 이용해 적용할 수 있다. 청각적 피드백은 과제 수행력 증가를 위하여 사용되어왔으며, 대상자가 독립적인 기립 자세에서 자세 안정성을 증진 시킬 수 있어서 노인 낙상 재활에 도움이 된다고 제시하였으며(Mirelman 등, 2011), 바이오피드백에 중점을 둔 과제 지향적 접근법을 이용해 시행한 운동이 마비 측으로 체중 지지율이 유의하게 증

진되었다는 연구가 있다(Heo, 2012).

최근에는 이러한 바이오피드백 중재를 다양하게 접근하기 위해 센서기술을 통해 재활 장비들이 새롭게 개발되고 있다. Orand 등(2019)은 Kinect™센서(Microsoft에서 제조한 동작 감지 장치)를 이용해 왼쪽 편마비를 가진 뇌졸중 환자들을 대상으로 6주간 양쪽 상지에 촉각적 피드백을 주어 상지의 운동 기능과 고유수용성 감각 재활 개선에 도움을 주었으며, Held 등(2017)은 진동 촉각 피드백을 제공하는 센서 시스템 Arm Usage Coach(AUC)을 통해 경도에서 중등도의 팔 손상이 있는 허혈성 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 한 연구에서 시각 및 청각 피드백보다 긍정적인 평가를 제시하고 있다. 이렇게 다양한 바이오피드백 중재와 장치들이 다양화되고 있지만, 실시간으로 압력정보를 받아 피드백을 주어 움직임에 대한 오류를 수정하고 자세 및 균형능력을 개선 시켜주는 장치와 관련된 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구의 목적은 새롭게 개발한 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 바이오피드백을 주어 과제를 수행하는 동안 동작의 오류를 직접 수정하는 방법을 통해 실제로 임상에서 균형능력이 저조한 만성 뇌졸중 환자들을 대상으로 정적 균형능력과 체중 지지율 개선에 도움을 주는지 알아보하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 대전광역시에 소재하는 Y 병원에 입원한 환자 중 뇌졸중 진단을 받은 만성 편마비 환자를 치료실 내 전단지를 통해 광고하여 총 29명을 모집하였다.

대상자의 선정기준은 다음과 같다. 1) 뇌졸중 진단을 받고 6개월 이상 지난 만성 뇌졸중 환자, 2) 도움 없이 독립적인 기립 자세가 5분 이상 가능한 자, 3) 버그 균형 척도(BBS)가 40점 미만인 자, 4) 한국형 간이 정신상태검사(MMSE-K) 점수가 24점 이상인 자, 5) Semmes-Weinstein Monofilament Examination (SWME)에

서 두께 3.61 mm의 감각을 느끼는 자이다.

대상자의 제외기준은 다음과 같다. 1) 연구 참여에 어려운 정형외과적인 문제가 있는 자, 2) 연구 참여에 어려운 시각적 장애 및 결손이 있는 자, 3) 연구 참여에 어려운 의사소통의 문제가 있는 자이다.

총 모집된 29명 중, 14명이 선정기준에 적합하지 않거나, 제외기준으로 인해 제외되어 총 15명의 만성 뇌졸중 환자가 최종 연구대상자로 선정되었다. 모든 연구대상자는 본 연구의 목적과 절차에 충분한 설명을 듣고 실험 참여하며 자발적으로 동의하였다. 본 연구는 대전대학교 기관생명윤리위원회의 승인을 얻어 수행하였다 (1040647-202002-HR-006-03).

## 2. 연구절차

본 연구는 Randomized Cross-over design으로 총 29명

의 대상자 중 제외 기준에 성립된 14명을 제외하고 최종 선정된 15명의 대상자를 R Studio program (R Studio Desktop 1.2.5033)으로 측정 순서를 2일 동안 각 1일씩 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백, 피드백이 없는 기립 자세를 무작위로 배치하여 서로 다른 피드백 상황에서 기립 자세의 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭지수에 차이가 있는지 알아보려고 하였다. 정적 균형능력의 측정은 양발을 자연스럽게 Wii balance board 위에 올라가 기립 자세 상태로 총 3세트 30초간 유지하고 세트 간 휴식 시간은 3분으로 하였다. Wii balance board에서 벽까지의 거리는 2 m로 진행하였고 대상자들 모두 발의 위치를 정중앙에 위치하도록 진행하였다. 대상자가 실험에 노출되어 적응되는 효과를 최소화하기 위하여 24시간의 휴식 시간을 제공한 후 다음 실험을 진행하였다 (Quattrocchi 등, 2017)(Fig 1).

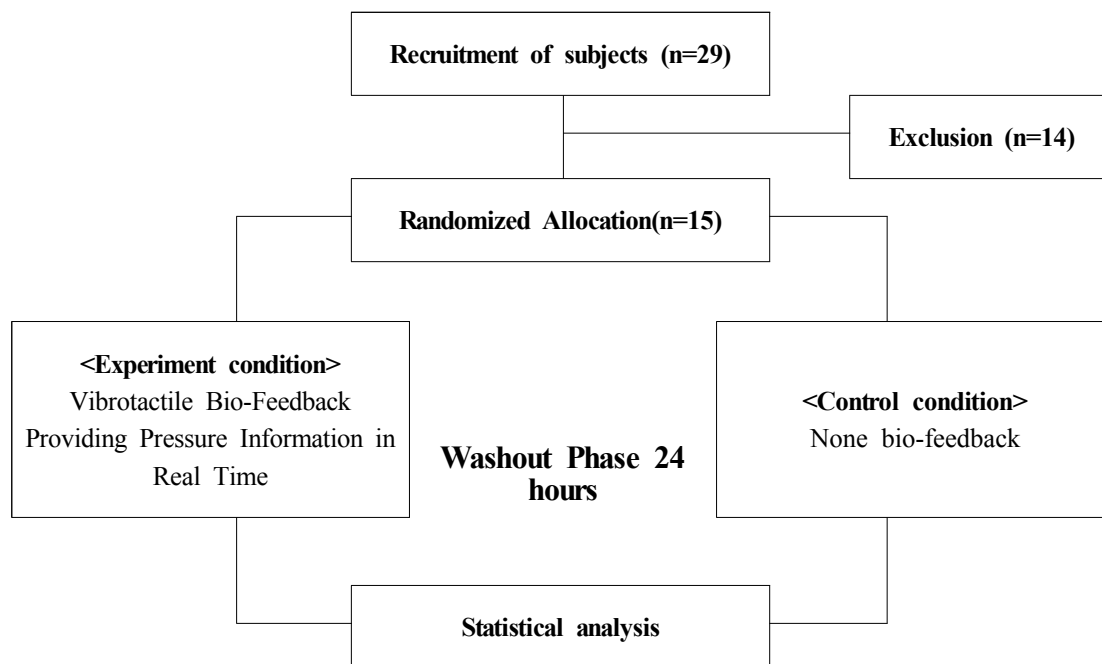


Fig 1. Procedure

## 3. 중재 방법

1) 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백

대상자의 압력정보를 수집하기 위해 양발 밑에 압력 센서를 부착하였다. 앞쪽 체중 이동 방향을 알려주는 센서는 엄지발가락 아래, 안쪽 체중 이동 방향을 알려주는

센서는 첫 번째 발허리뼈 중 머리 부분, 바깥쪽 체중 이동 방향을 알려주는 센서는 다섯 번째 발허리뼈 중 머리 부분과 뒤쪽 체중 이동 방향을 알려주는 센서는 뒤꿈치 아래에 위치하도록 배정하였다(Kwon 등, 2020). 수집된 압력정보를 실시간으로 진동 촉각 피드백을 주기 위해 코인형 진동모터를 종아리의 1/2 부분의 앞쪽, 안쪽, 바깥쪽, 뒤쪽 중앙부에 부착하여 벨크로를 이용해 고정하였다. 장비를 착용하고 대상자의 무게중심(center of

gravity)의 이동 방향에 따라 진동 감각을 통한 촉각 정보를 제공하게 된다. 진동이 없이 자세를 유지하게 된다면 정확한 균형을 유지하고 있는 것이다(Fig 2).

2) 피드백이 없는 일반적인 기립 자세

피드백 없이 다른 그룹과 같이 2 m 앞에 흰 벽을 보고 Wii balance board 위에 양발로 서서 똑바로 선 상태를 유지하면서 정적 균형능력을 측정하였다(Fig 2).



Fig 2. Standing posture about the feedback conditions (A. Vibrotactile bio-feedback providing pressure information in real time, B. None bio-feedback)

4. 평가도구 및 방법

1) Wii balance board

대상자의 선 자세에서의 정적 균형 능력을 분석 및 평가하기 위해 Wii balance board (Nintendo, Japan)를 사용하였다. 선 자세 균형을 평가하기 위해 사용한 Wii balance board는 총 4개의 모서리에 위치한 로드 셀이 압력 중심점(center of pressure, COP) 데이터를 연속적으로 수집할 수 있는 장치이며 Bluetooth 통신으로 연결되어 디바이스에 전송할 수 있다. 수집된 데이터의 샘플링 비율은 연결된 소프트웨어에 의해 조절된다. Wii balance board의 측정자 내 신뢰도는 ICC=.92~.98로 높은 신뢰도를 나타냈다(Holmes 등, 2013).

2) Balancia

선 자세의 COP 정보를 분석하기 위해 Balancia software ver 2.0 (Mintosys, Korea)을 사용하였다. Wii Balance Board에서 측정되는 압력중심점의 정보를 분석하여 압력중심점의 X축, Y축에 대한 이동거리 및 속도, 체중지지율 등을 보여주며, 본 연구는 결과 값 중 동요 거리와 동요 속도, 체중지지율 지수를 사용하였다. 모든 데이터는 100 Hz로 샘플링하여 추출하였고 10 Hz low-pass filter를 실시하였다. Balancia program의 측정자 간 신뢰도( $r=.79\sim.96$ )와 타당도( $r=.85\sim.96$ )로 검증된 유용한 평가도구이다(Park 등, 2013).

## 5. 통계분석

본 연구를 통해 수집된 자료는 IBM SPSS ver. 25.0 (IBM Corp., Armonk, USA)를 사용하여 통계분석을 실시하였다. 대상자의 일반적 특성은 기술통계를 이용하여 평균과 표준편차를 제시하였으며, Shapiro-Wilk test를 통한 정규성 검정을 실시하였다. 각 중재의 효과를 비교하고자 paired t-test를 실시하였다. 통계학적 유의수준은  $\alpha = 0.05$ 로 설정하였다.

## Ⅲ. 결 과

### 1. 대상자의 일반적 특성

실험에 참여한 대상자의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristic of the subjects

Variables	Values
Gender (male/female)	12/3
Age (years)	66.00±11.54
Height (cm)	163.73±7.51
Weight (kg)	60.46±8.80
Diagnosis (infarction/hemorrhage)	9/6
Affected Side (Rt/Lt)	10/5
MMSE-K (points)	26.20±2.45
Berg Balance Scale (points)	33.93±4.44
Onset Duration (months)	9.53±2.32

Values are expressed as mean±SD

### 2. 정적 균형능력(Static balance ability) 비교

#### 1) 동요 거리(Sway length)의 차이

본 연구의 결과, 각 조건에 따른 동요 거리에서 유의한 차이를 볼 수 있었다( $p < .001$ ). 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백을 받은 군 동요 거리의 평균은 87.64±5.21 cm로 바이오피드백 미적용 군의 105.47±6.89 cm에 비해 동요 거리가 가장 작았음을 확인할 수 있었다(Table 2).

#### 2) 동요 속도(Sway velocity)의 차이

본 연구의 결과, 각 조건에 따른 동요 속도에서 유의한 차이를 볼 수 있었다( $p < .001$ ). 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백을 받은 군 동요 거리의 평균은 3.01±0.22 cm/s로 바이오피드백 미적용 군의 3.65±0.29 cm/s에 비해 동요 속도가 느렸음을 확인할 수 있었다(Table 2).

Table 2. Comparison of static balance ability according to the various condition (n=15)

Variables	Vibrotactile bio-feedback	None bio-feedback	t
Sway length (cm)	87.64±5.21 <sup>†</sup>	105.47±6.89	5.353*
Sway velocity (cm/s)	3.01±0.22 <sup>†</sup>	3.65±0.29	4.394*

\*  $p < .001$

<sup>†</sup> Significant difference compared with the None Bio-feedback

3. 체중 지지율 대칭지수(Weight distribution symmetric index) 비교

본 연구의 결과, 각 조건에 따른 체중 지지율 대칭지수에서 유의한 차이를 볼 수 있었다( $p < .001$ ). 실시간 압

력정보 제공 진동 촉각 피드백을 받은 군 체중 지지율 대칭지수의 평균은  $2.61 \pm 3.32$  %로 바이오피드백 미적용군의  $43.73 \pm 7.74$  %에 비해 체중 지지율 대칭이 균일함을 확인할 수 있었다(Table 3).

Table 3. Comparison of weight distribution symmetric index according to the various condition (n=15)

Variables	Vibrotactile bio-feedback	None bio-feedback	t
Weight distribution symmetric index (%)	$2.61 \pm 3.32^\dagger$	$43.73 \pm 7.74$	$5.570^*$

\*  $p < .001$

† Significant difference compared with the None Bio-feedback

IV. 고찰

본 연구는 만성 뇌졸중 15명을 대상으로 새롭게 개발한 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백 장치로 피드백을 제공하여 만성 뇌졸중 환자의 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭지수에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 진행된 실험 연구이다. 만성 뇌졸중 환자의 감각 손상 정도를 알아보기 위해 양적 감각 검사 중 Semmes-Weinstein Monofilament Examination (SWME)를 적용하여 최소한 4.31 이하의 필라멘트가 최소 역치값으로 분류하였다(Hwang 등, 2019).

Park 등(2013)은 동요 속도가 빠르고 동요 거리가 멀어질수록 정적 균형능력이 저하되어있다고 보고하였다. 이에 반해 동요 속도가 느려지고 동요 거리가 가까워질수록 정적 균형이 개선됨을 알 수 있다. 본 연구의 결과, 동요 거리에서 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백이 대조 조건과 비교해 감소함을 볼 수 있었으며, 동요 속도에서는 속도가 느려짐을 확인할 수 있었다. 정적 균형능력에서는 선행연구와 같이 동일한 결과를 확인할 수 있었다(Kwon 등, 2020). Basteris 등(2014)은 촉각적 피드백은 운동 기능 개선에 도움을 주어 뇌졸중 환자의 재활에 도움을 준다고 하였다. 또한, 가속도 센서(Accelerometer)를 탑재한 스마트폰을 이용한 진동 촉각 피드백이 평형 기능 저하 환자에서 균형능력을 증진시

킨다고 보고하였다(Lee 등, 2012). 또한, 진동 촉각 자극을 이용 시, 고유수용기 중 하나인 근육 장력 변화에 대해 반응 및 감자하기 골지 힘줄 기관(golgi tendon organ)을 자극하여 근육 장력에 지속적인 피드백을 통해 균형 유지뿐만 아니라 증진에도 긍정적인 효과를 줄 수 있다고 보고하였다(Oh 등, 2017). 선행연구는 뇌졸중 환자를 대상으로 바이오피드백을 이용한 균형 훈련은 균형능력 증진에 효과적이며, 바이오피드백 사용이 일반적인 치료보다 뇌졸중 환자의 하지 근 활성도를 증진시킨다고 하였다(Stanton 등, 2011). 이는 균형능력과 자세조절 능력이 저하된 만성 뇌졸중 환자가 실시간으로 압력정보를 받아 자신의 자세와 움직임에 대한 오류를 인지하고 수정을 통해 올바른 자세조절 및 유지를 했다고 사료된다.

체중 지지율 대칭지수에서는 대조군과 비교해 체중 분포율이 균일해짐을 확인할 수 있었다. 불균형적인 체중 지지가 하지에 반복되게 되면 신체 좌·우 자세 및 균형조절의 불안정성으로 자세 정렬과 균형능력 저하 등 다양한 문제의 원인이 된다고 하였다. 반대로 균형적인 체중 지지는 보행의 패턴과 속도의 개선에 도움을 준다고 보고하였다(Yang 등, 2014). 본 연구에서 적용한 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백은 한쪽으로 집중되어 신체 무게중심을 좌, 우, 앞, 뒤뿐만 아니라 360° 모든 방향성에 대해서 자세의 오류를 제공하여 균일한 체중 부하를 줄 수 있게 도움을 주어 체중 지지의 대칭성을 확보했다고 생각되며, 실시간으로 종아리 부에 진동

촉각 자극을 통해 하지의 고유수용성 감각을 직접적인 활성을 시킴으로 즉각적인 효과가 발현되었을 것으로 생각된다. 최근, 건강하고 어린 사람들을 대상으로 진동 촉각 피드백을 주어 기립 자세의 균형능력을 증진 시킨다는 연구와 양측 전정기관 능력이 저하된 대상자들에게 진동 촉각 피드백을 제공하는 허리벨트를 적용하여 삶의 질 증진에 영향을 미친다고 하였다(Ballardini 등, 2020; Kingma 등, 2019). 본 연구는 실제 일상생활이 어렵고 임상에서 여러 치료가 필요한 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 연구를 진행하였고 정적 균형능력 및 체중 지지율의 개선을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서 새롭게 개발한 압력정보 제공 진동 촉각 피드백 기기를 통해 임상에서 새로운 중재 전략의 다양성을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫째는 적은 수의 대상자를 모집해 연구를 진행하였기에 일반화에 어려움이 있다. 둘째는 개발 장치의 특성상 동적 균형능력을 측정하지 못하였다. 셋째는 즉각적으로 미치는 영향에 대해 비교하였기에 장기적인 효과를 입증하지 못하였다. 그러나, 본 연구는 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백이 만성 뇌졸중 환자의 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭의 개선이 가능성이 있는지 알아보고자 하는 예비 실험 연구(pilot study)였다. 향후 이러한 제한점을 보완하여 추가적인 연구가 이뤄진다면 보다 더욱 자세히 규명할 수 있는 연구가 될 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구는 새롭게 개발한 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백 훈련기기가 임상에서 균형조절 능력 저하로 어려움을 겪는 만성 뇌졸중 환자 15명을 대상으로 하여 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭지수에 영향을 미치는지 알아보고자 진행된 실험 연구이다.

연구결과, 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피드백은 동요 거리, 동요 속도와 같은 정적 균형능력과 체중 지지율 대칭성의 개선에 유의미한 영향이 나타남을 확인할 수 있었다. 이에 실시간 압력정보 제공 진동 촉각 피

드백은 뇌졸중 환자에게 새로운 자세조절 및 정적 균형능력 개선과 체중 지지율 대칭성의 개선에 도움을 줄 것으로 사료된다. 향후 실제로 흔히 임상에서 사용되는 다양한 피드백 중재와 비교하여 더 나은 중재의 방향성을 제공하는 후속 연구가 진행되길 기대한다.

## 참고문헌

- Adebayo OD, Culpan G(2020). Diagnostic accuracy of computed tomography perfusion in the prediction of haemorrhagic transformation and patient outcome in acute ischaemic stroke: A systematic review and meta-analysis. *European Stroke Journal*, 5(1), 4-16. <https://doi.org/10.1177/2396987319883461>.
- Ballardini G, Florio V, Canessa A, et al(2020). Vibrotactile feedback for improving standing balance. *Front Bioeng Biotechnol*, 8, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00094>.
- Basteris A, Nijenhuis SM, Stienen AH, et al(2014). Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: a framework for classification based on a systematic review. *J Neuroeng Rehabil*, 11(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-111>.
- Held JP, Klaassen B, van Beijnum B, et al(2017). Usability evaluation of a vibrotactile feedback system in stroke subjects. *Front Bioeng Biotechnol*, 4, Printed Online. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00098>.
- Heo JY(2012). Effect of task oriented approach sit to standing practice on mobility in stroke patients. Graduate school of Dankook University, Republic of Korea, Master's thesis.
- Holmes JD, Jenkins ME, Johnson AM, et al(2013). Validity of the Nintendo Wii® balance board for the assessment of standing balance in Parkinson's disease. *Clin Rehabil*, 27(4), 361-366. <https://doi.org/10.1177/0269215512458684>.
- Hwang DY, Park JM, Oh MH, et al(2019). Development and effectiveness validation of multi-purpose blind box

- for training on the sensory function and visual perception of stroke patients. *J Korean Soc Occup Ther*, 27(3), 33-41. <https://doi.org/10.14519/kjot.2019.27.3.03>.
- Jeong MK, Oh DW(2013). Effects of 12-week balance training with visual feedback on balance and walking functions in patients with chronic stroke. *Journal of Digital Convergence*, 11(11), 537-544. <https://doi.org/10.14400/JDPM.2013.11.11.537>.
- Kang TW, Kim HM, Kim BR(2020). Effect of progressive resistance task-oriented strengthening exercise on balance and activities of daily living in stroke patients. *PNF & Mov*, 18(1), 77-86. <https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2020.18.1.77>.
- Kim I, Jeon S, Lee G, et al(2013). Effects on balance and gait for chronic stroke patients with side walking training. *KSIM*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.15268/ksim.2013.1.1.001>.
- Kim JY, Kim DK(2017). The effect of visual biofeedback exercise on the recovery of balance in stroke patients. *PNF & Mov*, 15(2), 201-208. <https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2017.15.2.201>.
- Kingma H, Felipe L, Gerards MC, et al(2019) Vibrotactile feedback improves balance and mobility in patients with severe bilateral vestibular loss. *J Neurol*, 266(1), 19-26. <https://doi.org/10.1007/s00415-018-9133-z>.
- Kwon IH, Kim H, Shin WS(2020). Effect of sensory feedback balance training using pressure sensor on the static balance of the elderly. *J Korean Soc Phys Med*, 15(2), 129-136. <https://doi.org/10.13066/kspm.2020.15.2.129>.
- Lee BC, Kim J, Chen S, et al(2012). Cell phone based balance trainer. *J Neuroeng Rehabil*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-10>.
- Mirelman A, Herman T, Nicolai S, et al(2011). Audio-biofeedback training for posture and balance in patients with Parkinson's disease. *J Neuroeng Rehabil*, 8(1), Printed Online. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-8-35>.
- Montagna JC, Santos BC, Battistuzzo CR, et al(2014). Effects of aquatic physiotherapy on the improvement of balance and corporal symmetry in stroke survivors. *Int J Clin Exp Med*, 7(4), 1182-1187.
- Oh SY, Shin SH, Kang SR, et al(2017). Development of the balance chair for improving postural control ability & pelvic correction. *Journal of Rehabilitation Welfare Engineering & Assistive Technology*, 11(3), 271-277. <https://doi.org/10.21288/resko.2017.11.3.271>.
- Orand A, Erdal Aksoy E, Miyasaka H, et al(2019). Bilateral tactile feedback-enabled training for stroke survivors using microsoft kinecttm. *Sensors*, 19(16), 3474. <https://doi.org/10.3390/s19163474>.
- Park DS, Lee DY, Choi SJ, et al(2013). Reliability and validity of the balancia using wii balance board for assessment of balance with stroke patients. *J Korea Acad Industr Coop Soc*, 14(6), 2767-2772. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.6.2767>.
- Park SK, Ryu SY, Kim JB, et al(2019). Complexity comparison of center of pressure between fallers and non-fallers during gait. *Korean J Sport Biomech*, 29(2), 113-119. <https://doi.org/10.5103/KJSB.2019.29.2.113>.
- Quattrocchi G, Greenwood R, Rothwell JC, et al(2017). Reward and punishment enhance motor adaptation in stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 88(9), 730-736. <https://doi.org/10.1101/106377>.
- Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, et al(2010). Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke*, 41(7), 1477-1484. <https://doi.org/10.1161/strokeaha.110.584979>.
- Schwartz MS, Andrasik F(2016). *Biofeedback: A practitioner's guide*. 4th ed, New York, Guilford Press.
- Stanton R, Ada L, Dean CM, et al(2011). Biofeedback improves activities of the lower limb after stroke: A systematic review. *J Physiother*, 57(3), 145-155. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(11\)70035-2](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(11)70035-2).
- Yang DJ, Park SK, Kang JI, et al(2014). Effects of changes in postural alignment on foot pressure and balance of patients with stroke. *J Korean Phys Ther*, 26(4), 226-233.