

## 뇌졸중 후 편마비 환자의 보행능력 향상에 따른 기립 시 질량중심 변화 : 예비연구

홍해진<sup>1</sup>, 김철현<sup>1</sup>, 이일석<sup>1</sup>, 이동환<sup>1</sup>, 박영웅<sup>1</sup>, 송인자<sup>2</sup>, 주지용<sup>3</sup>, 성강경<sup>1</sup>, 이상관<sup>1</sup>

<sup>1</sup>원광대학교 한의과대학 심계내과학교실, <sup>2</sup>광주여자대학교 간호대학 간호학과, <sup>3</sup>전남대학교 사범대학 체육교육학과

---

### Change in Center of Pressure According to Gait Improvement of Post-Stroke Hemiplegic Patients: Pilot Study

Hae-jin Hong<sup>1</sup>, Cheol-hyun Kim<sup>1</sup>, Il-suk Lee<sup>1</sup>, Dong-hwan Lee<sup>1</sup>, Young-woong Park<sup>1</sup>  
In-ja Song<sup>2</sup>, Ji-yong Joo<sup>3</sup>, Kang-keyng Sung<sup>1</sup>, Sang-kwan Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Internal Medicine and Neuroscience, College of Korean Medicine, Won-Kwang University

<sup>2</sup>Dept. of Nursing, Gwangju Womens University

<sup>3</sup>Dept. of Physical Education, Chonnam National University

#### ABSTRACT

**Objectives:** The purpose of this study was to analyze the change of area and average velocity of the center of pressure (COP) according to gait improvement in post-stroke hemiplegic patients.

**Methods:** We measured the area and the average velocity of COP displacement of ten post-stroke hemiplegic patients while they stood quietly on a force plate at the time of dependent and independent gait. We also measured the area and the average velocity of COP displacement of normal persons to verify differences between them and post-stroke hemiplegic patients.

**Results:** The area of COP displacement decreased significantly, and the average velocity of COP displacement tended to decrease, but not significantly. There were significant differences in the area and the average velocity of COP displacement between post-stroke hemiplegic patients and normal persons.

**Conclusions:** The results of this study show that postural control ability improves as gait improves.

**Key words:** stroke, displacement of center of pressure, dependent gait, independent gait

---

## 1. 서 론

뇌졸중은 신체적 손상과 기능적 제한을 가지게 되는 순환기 계통의 질환으로 가장 대표적인 증상 중 하나는 체간과 사지의 편측 마비이다<sup>1</sup>. 이에 뇌

졸중 환자는 마비된 측과 마비되지 않은 측의 부조화로 인해 체중부하의 비대칭과 불안정성이 유발되고, 갑작스러운 신체요동(perturbation)에 대한 대응이 느려서 자세조절이 어려워짐으로 인해 마비된 측으로 넘어지기 쉽다<sup>2,3</sup>. 이러한 이유로 뇌졸중 환자는 보행 및 움직이는 과정에서 높은 낙상 위험수준을 보인다<sup>4,5</sup>.

신체균형 유지 능력은 일상생활동작에 있어서 필수적인 동작인데, 뇌졸중 환자는 자세동요로 인

---

· 투고일: 2015.11.02, 심사일: 2015.12.02, 게재확정일: 2015.12.06  
· 교신저자: 이상관 광주광역시 남구 회재로 1140-23  
원광대학교 한의과대학 광주한방병원  
TEL: 062-670-6407 FAX: 062-670-6767  
E-mail: sklee@wku.ac.kr

한 불균형<sup>6</sup>과 비정상적인 자세 반응<sup>7</sup> 등으로 인하여 일상생활에 많은 지장을 받는다. 그러므로 뇌졸중 환자에서 자세 균형 능력을 평가하는 것은 환자의 일상생활 수행능력과 낙상위험성 및 보행능력을 유추할 수 있는 중요한 단서가 된다<sup>8</sup>.

특히, 기립자세에서 좌우 하지의 위치는 보행의 중간 입각기(mid-stance)와 유사하기 때문에, 기립시 균형 능력 평가는 보행 능력을 평가하기 위한 예비 테스트로 활용된다<sup>9</sup>. 이러한 이유로 다양한 연구<sup>10-15</sup>가 진행되었고, 대부분의 연구에서 뇌졸중 환자의 자세균형 능력 평가를 시행함에 있어 주로 기립자세에서의 질량중심(Center of Pressure, COP) 변동과 신체 질량중심 이동을 측정하는 방법이 활용되었다. 그러나, 기존 연구들은 재활치료의 전후 비교<sup>10-12</sup>나 정상인과의 비교<sup>13-15</sup> 등 기립자세에서 COP의 이동 등에 초점을 두었기 때문에 뇌졸중 환자의 보행 능력과 기립 시 COP의 변동 사이에 관련성을 파악하기는 어려웠다. 이러한 관련성을 파악하기 위해서는 보행능력의 변화에 따른 COP 변동을 역학적 측정을 통해 지속적으로 추적하는 것이 필요한데, 이와 관련된 연구가 충분하지 않기 때문에, 임상에서 보행 능력 개선 향상을 위한 기립 훈련 방법, 치료 경과 평가 및 치료 방향 등을 설정하는데 실질적인 어려움이 있다.

그러므로 본 연구에서는 단일 한방병원에 입원한 뇌졸중 환자를 대상으로 하여, 독립적으로 보행이 불가능하고 지지보행이 가능한 시기(지지보행시기)와 치료 후 독립적으로 보행이 가능한 시기(독립보행시기)에 기립 시 COP의 변동을 힘판(force plate)을 활용하여 반복 측정함으로써 유효한 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 ○○대학교 ○○한방병원에서 입원치료를 받은 뇌졸중 환자 10명을 대상으로 시행되었

다. 대상자들은 본원 혹은 타병원에서 시행한 영상의학검사(Brain MRI 혹은 CT)상 뇌졸중으로 진단을 받은 환자로서, 처음 내원시에는 독립보행이 불가능하였으나 치료로 인해 독립보행이 가능해졌고, 이 기간 동안 보행분석실에서 전문 한의사를 통해 COP를 매주 측정하였다. 뇌졸중 자체의 특성을 고려하기 위해 정상인 참고치를 마련하였는데, 나이와 성별이 유사한 정상인 10명을 동일한 방법으로 COP변화를 측정하였다.

### 2. 기립 시 COP 측정

기립 시 COP 변동은 압력판(Force plate)이 바닥에 설치되어있는 Treadmill Gait Analysis 장비(Zebris Co.Ltd FDM-T)를 이용하여 측정하였다. COP 측정 전에 압력판 위에 잠시 동안 서있게 하여 측정환경에 적응하도록 하였다. COP 측정하는 동안 주변은 정숙을 유지하고 대상자는 먼 곳을 응시하고, 허리를 자연스럽게 세운 채, 양팔을 몸통 옆으로 자연스럽게 내리고 Treadmill의 중심선에서 같은 거리로 양 발을 어깨 넓이로 벌린 기립 상태를 1분간 유지하였다. 모든 대상자가 자신의 체중을 스스로 지지하여 기립하게 하였고, 낙상 가능성이 높은 대상자는 탈부하안전기를 착용시켜 낙상을 방지하였는데, 탈부하안전기가 대상자의 체중부하를 전혀 받지 않을 정도로 벨트길이를 충분히 늘려서 기립에 물리적 영향을 미치지 않게 하였다. 또한 다양한 상해예방과 안전사고방지를 위해 2명의 한의사가 대상자 곁에서 신체적 접촉 없이 대기 및 보조하였다. 기립 시 COP 측정은 보행 분석실의 기존 프로그램에 의해서 매주 반복 실시되었는데, 검사 도중 treadmill의 안전손잡이를 잡아 지지하였거나, 탈부하안전기에 매달리는 경우 대상자에게 설명하고 재측정하였다(Fig. 1).

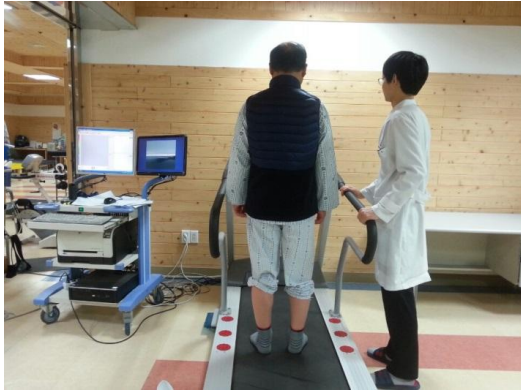


Fig. 1. Measuring the area and average velocity of center of pressure displacement of the hemiplegic patient using by treadmill gait analysis system.

COP 변동을 측정하기 위해 COP 면적과 COP 평균속도가 Treadmill Gait Analysis 내에 포함되어 어있는 house program을 통해 계산되었다. COP 이동에 따라 만들어진 원형은 약간 일그러진 형태이므로 COP 변동면적의 조작적 정의(operational definition)는 ‘COP 이동선의 95% 형태를 포함하는 가장 작은 타원의 면적( $\text{mm}^2$ )’으로 하여 그 값이 계산되었다. COP 이동은 등속도 운동을 하지 않으므로 COP 평균속도의 조작적 정의는 ‘1분(60sec) 동안 COP의 움직이는 거리(cm) 측정을 통해 계산된 평균속도( $\text{cm}/\text{sec}$ )’로 하여 그 값이 계산되었다<sup>16</sup>(Fig. 2).

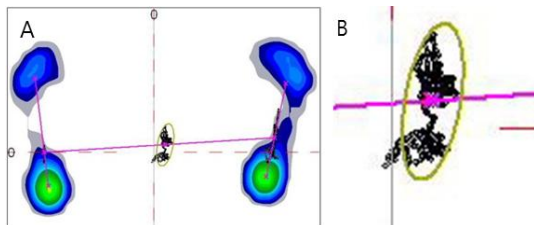


Fig. 2. The result of standing analysis on the force plate (A) and an enlarged view of the change of center of pressure (COP) (B).

The yellow ellipse and black line represent the area and path length of COP, respectively. The

average speed is the path length (cm) divided by 60 (second).

본 연구에서 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 경우에는 주기적으로 기립 시 COP를 측정된 결과 중 두 시점의 측정 결과를 비교분석 하였다. 첫 번째 측정 시점은 지지보행시기(Dependent gait)로, 대상자가 독립적인 기립 이후 지팡이나 보호자 부축에 의지하여 보행을 할 수 있는 경우에 해당한다. 두 번째 측정 시점은 독립보행시기(Independent gait)로, 대상자가 지팡이나 보호자의 부축과 같은 외부 지지 없이 독립보행이 가능한 시기에 해당한다. 정상 참고치 마련을 위해서는 뇌졸중 편마비 환자군의 나이와 성별을 고려한 정상 대조군의 COP를 동일한 조건하에서 측정하였다.

### 3. 통계 방법

수집된 자료는 데이터 코딩을 거쳐 SPSS for window(ver 20.0) 통계 프로그램을 이용하여 분석 하였다. 반복 측정된 값들 중에 최종값(독립보행이 가능한 첫 시점, 독립보행시기)에서 최초값(지지보행이 가능한 첫 시점, 지지보행시기)의 차이를 구하여 정규성(normality) 검증을 먼저 시행하였다. 대상자가 10명으로 적어서 Kolmogorov-Smirnov test를 시행하여 먼저 정규성 분포를 검증하였다. 연구 대상자의 데이터에서 기립 시 COP 면적( $\text{mm}^2$ )은 정규성 분포를 보이지 않아(dependent gait,  $W=0.272$ ,  $p<0.05$ ; independent gait,  $W=0.207$ ,  $p>0.05$ ) 지지보행시기와 독립보행시기의 비교를 위하여 Wilcoxon signed rank test를 시행하였고, 정상인의 데이터와의 비교를 위해서 Mann Whitney U-test를 실시하여 지지보행시기와 독립보행시기의 차이를 검증하였다. 반면, 기립 시 COP 평균속도( $\text{mm}/\text{sec}$ )는 정규성 분포를 나타내어(dependent gait,  $W=0.159$ ,  $p>0.05$ ; Independent gait,  $W=0.157$ ,  $p>0.05$ ) 지지보행시기와 독립보행시기의 비교를 위하여 paired t-test를 시행하였고, 정상인과의 비교를 위하여

independent t-test를 시행하였다. 정상인의 데이터는 기립 시 COP 면적(W=0.155, p>0.05)과 COP 평균속도(W=0.118, p>0.05)는 모두 정규성을 만족하였다. 또한 두 그룹간에 연령 차이가 있는지 확인하기 위하여 independent t-test를 시행하였다. 통계분석은 p<0.05 인 경우 유의하다고 판단하였다.

### III. 결 과

#### 1. 대상자 특징

본 연구에 참여한 뇌졸중 및 정상인 그룹의 대

상자의 일반적인 특징은 다음과 같다(Table 1). 뇌졸중 대상자는 총 10명으로 남성이 6명, 여성이 4명이고, 평균연령(years)이 59.7±13.19이다. 좌측 및 우측 편마비가 각각 5명이었고, 뇌경색 환자가 3명, 뇌출혈 환자는 7명 이었다. 발병일로부터 내원 후 처음으로 보행분석을 받기까지 기간(day)이 평균 57.4±24.96이었고, 지지보행시기와 독립보행시기 사이 기립 시 COP변화의 측정 간격(days)이 평균 41.9±38.30이었다. 정상인의 성별 비율은 뇌졸중 환자와 동일하였고, 연령(years)은 57.8±3.99이었다. 뇌졸중 환자와 정상인간의 일반적인 특성 차이는 없었다(p>0.05).

Table 1. Subject General Characteristics

Personal factors		Subject (n=10)	Normal (n=10)
Gender (n)	Male	6	6
	Female	4	4
Age (Mean±SD, year)		59.7±13.19	57.8±3.99
Clinical impression (n)	Infarction	3	-
	Hemorrhage	7	-
Lesion side (n)	Right	5	-
	Left	5	-
Underlying disease (n)	Hypertension	6	0
	Diabetes	1	0
	Hypertension+Diabetes	0	0
	Non hypertension or Diabetes	3	0
Duration from onset to 1 <sup>st</sup> measure (Mean±SD, day)		57.4±24.96	-
Duration from 1 <sup>st</sup> to 2 <sup>nd</sup> measure (Mean±SD, day)		41.9±38.30	-

#### 2. 지지보행시기와 독립보행시기의 기립 시 COP 면적의 변화

연구 대상자의 지지보행시기와 독립보행시기의 COP 면적은 보행능력이 향상됨에 따라 유의하게 감소하였다(Z=-2.803, p<0.01). 또한, 연구 대상자

의 지지보행시기와 독립보행시기의 COP 면적을 정상인과 비교한 결과 두 시기 모두 유의한 차이를 나타내었다(vs dependent gait, U=1.0, p<0.001; vs independent gait, U=17.0, p<0.05)(Fig. 3).

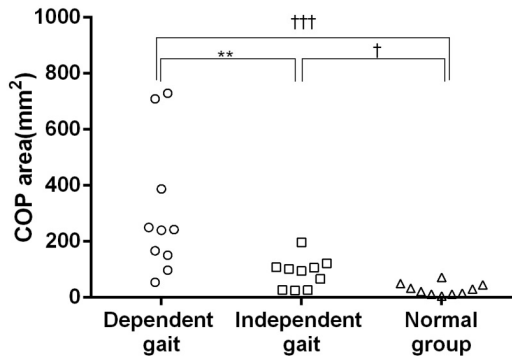


Fig. 3. The area of center of pressure (COP area) at the time of dependent and independent gait in post-stroke hemiplegic patients and COP area of normal group.

COP area (mm<sup>2</sup>) is the area of 95% confidence ellipse (the smallest ellipse that cover 95% of the points of the COP diagram). Open circle, square and triangle represent COP area at the time of dependent and independent gait and normal group, respectively. \*\*: p<0.01, † : p<0.05, ††† : p<0.001. As a result, there is a significant difference between COP areas at the time of dependent and independent gait (Z=-2.803, p<0.01), and there are significant differences between COP areas of normal group and at the time of dependent (U=1.0, p<0.001) and independent (U=17.0, p<0.05) gait.

### 3. 지지보행시기와 독립보행시기의 COP 평균속도의 변화

연구 대상자의 지지보행시기와 독립보행시기에 기립하는 동안 COP 평균속도(cm/sec, Mean±SEM)와 정상인의 COP 평균속도는 각각 25.53±4.03, 15.83±9.98, 6.27±0.82로 측정되었다. 연구 대상자가 지지보행시기에서 독립보행시기로 보행능력이 향상됨에 따라 COP 평균속도는 감소하는 경향을 보였다(t=2.124, p=0.063). 또한, 연구 대상자의 지지보행시기와 독립보행시기의 COP 평균속도를 정상인과 비교한 결과 두 시기 모두 유의한 차이를 나타내었다(vs dependent gait, t=4.687, p<0.01; vs Independent gait, t=2.932, p<0.05)(Fig. 4).

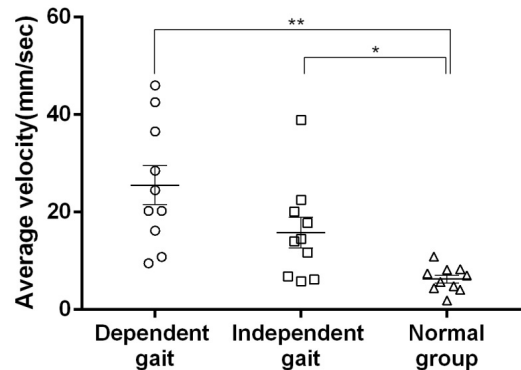


Fig. 4. The average velocity of center of pressure (COP) displacement at the time of dependent and independent gait in post-stroke hemiplegic patients.

Horizontal bars represent Mean±SEM. The average velocity (cm/sec) is the average speed of COP along its path. Open circle, square and triangle represent average velocity at the time of dependent and independent gait and normal group, respectively. \* : p<0.05, \*\* : p<0.01. As a result, average velocities of COP tend to be decreased in post-stroke hemiplegic patients(t=2.124, p=0.063), and there are significant differences between COP average velocity of normal group and at the time of dependent (t=4.687, p<0.01) and independent (t=2.932, p<0.05) gait.

## IV. 고찰 및 결론

본 연구에서 뇌졸중 후 편마비 환자를 대상으로 기립 시 COP 면적과 COP 평균속도를 매주 간격으로 측정하였고, 그 중 지지보행시기와 독립보행시기로 측정값을 선별하여 비교하였다. 또한 지지보행시기와 독립보행시기의 측정값을 정상인과 비교하였다. 그 결과 환자가 지지보행을 하다가 독립적 보행을 함에 따라 기립하는 동안 COP 면적이 유의하게 감소하였고, COP 평균속도가 감소하는 경향성을 보였다. 다만, 지지보행시기와 독립보행시기 모두 정상인과는 유의한 차이를 나타내었다.

현재까지 COP 측정하여 뇌졸중 환자의 자세조절 및 균형능력을 평가한 연구들은 꾸준히 보고되어

왔다. Garland 등<sup>10</sup>과 De haart 등<sup>11</sup>, Roerdink 등<sup>12</sup>은 뇌졸중 환자에서 COP를 측정하여 자세유지 및 균형능력을 평가하여 재활치료 후 호전되었음을 보고하였고, Alfeeli 등<sup>17</sup>은 뇌졸중 환자와 대조군을 상대로 균형훈련 재활 전과 후의 임상적 균형평가 및 무게중심의 이동을 측정하여 뇌졸중 환자에서 재활 후 균형능력이 향상되었음을 보고하였다. 또한, 김 등<sup>18</sup>은 뇌졸중 환자에서 바이오피드백 훈련 전과 후의 COP 측정으로 훈련 이후 균형능력 향상됨을 보고하였다. 또한 정상인과 뇌졸중 환자의 결과를 비교한 연구도 꾸준히 보고되어, Lamontagne 등<sup>13</sup>, Ikai 등<sup>19</sup>은 COP를 측정하여 뇌졸중 환자와 정상인에서 기립 시 균형능력을 비교하여, 뇌졸중 환자에서 자세동요가 더 많고, 기립자세를 동요시키는 조건(postural perturbation)에 있을 경우 자세유지능력이 떨어짐을 보고하였다. Das<sup>14</sup>는 뇌졸중 후 편마비 환자와 정상인에서 COP를 비교하여 뇌졸중 환자에서 COP 편위가 더 크다고 보고하였으며, Genthon 등<sup>15</sup>은 건강인과 뇌졸중 환자에서 비슷한 자세를 유지하는 동안 COP변화를 측정하여 뇌졸중 환자에서 편마비 하지의 균형조절 능력이 떨어짐을 보고하였다. 선행 연구들을 살펴보면, 정상인과 뇌졸중 환자를 비교한 실제 임상에서 뇌졸중 환자에게 균형유지 능력 저하가 보편적인 장애라는 것을 알 수 있었다. 뇌졸중 환자는 감각운동 조합(sensorimotor integration)의 이상으로 변형된 자세적응(altered postural adjustment)을 보이며<sup>13</sup>, 뇌졸중 후 편마비 환자에서 좌우 하지의 기립 시 COP의 변동을 각각 측정할 경우 실제 마비측 하지에서 COP의 경로가 더욱 크게 흔들리기 때문에, 마비 측 하지는 자세를 지탱하는 데 기여하는 역할이 제한적이다<sup>15</sup>. 또한 뇌졸중 환자는 운동기능, 감각기능 그리고 인지적 기능 등의 저하가 복합적으로 나타나기 때문에, 자세를 조절하는 능력이 떨어지고, 따라서 일상생활 동작 수행 시 느리고 유연하지 못한 동작을 보인다<sup>11</sup>. 본 연구 결과 뇌졸중 환자가 재활치료 후 보행능력이 향상되면

서 자세의 동요가 감소하고 안정성이 향상되어 COP 면적 및 평균속도가 감소하였을 것으로 사료되며 이는 기존의 연구 내용과 일치한다. 또한, 뇌졸중 환자와 정상인의 측정값이 유의한 차이를 보인 것 역시 기존의 연구내용과 정확하게 일치하고 있다. 본 연구에서 뇌졸중 환자가 보행능력이 향상되었음에도 불구하고, 기존의 연구들<sup>13-15</sup>에서 이미 보고한 바와 같이 정상인에 비하여 기립 시 자세 및 균형조절 능력이 떨어지는 것은 뇌졸중 환자는 기능적인 독립성이 정상인에 비하여 떨어지기 때문에<sup>20</sup> 당연한 결과로 사료된다.

COP의 이동은 뇌졸중 환자의 균형 및 보행의 상태를 평가할 수 있는 도구로써, 다수의 연구에서 이용되고 있다<sup>10,11,21,22</sup>. Roerdink 등<sup>12</sup>은 자세 동요를 조용히 서있는 동안(quiet standing)에도 몸의 무게 중심이 지속적으로 변하고 있고, 몸을 지탱하는 표면에서 힘의 변화가 나타나는 것으로 정의하였고, 이것이 힘판(force platform)에서 측정 시 COP의 변동으로 나타난다고 보고하였다. 또한, Gasq 등<sup>23</sup>은 뇌졸중 환자를 대상으로 자세의 동요와 체중부하지지의 좌우 비대칭성을 COP의 세부 변수로 나누어 분석하여 보고하였는데, 이에 따르면 자세의 동요는 COP area 및 속도의 변화로 평가할 수 있으며 체중부하지지의 비대칭성은 COP의 내외측(mediolateral) 축의 변화로 평가할 수 있다. 이를 바탕으로 국내에서도 뇌졸중 환자의 COP 이동을 이용하여 균형 및 보행을 측정하려는 시도가 있었고<sup>21,22,24</sup>, 유의한 결과를 보고하여 COP의 이동을 통해 뇌졸중 환자의 균형 및 보행을 평가하는 것은 타당하며, 본 연구에서도 이를 뒷받침할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 10명의 소수를 대상으로 하였으며 대상자를 임상경과상 보행능력이 향상된 경우를 의도적으로 선정하여 연구가 진행되었다. 그러나 소수에서도 유의한 결과가 도출되었고, 기존의 연구와 정확하게 부합하기 때문에 본 연구의 결과의 신뢰성은 낮지

않을 것으로 사료되며, 추가로 대상자를 확대하여 연구를 시행할 경우 COP 평균속도 값 또한 유의한 결과를 얻을 것으로 추측된다. 둘째, 실제 임상 환자의 발병일로부터 지지보행 혹은 독립보행 가능한 시기는 대상자마다 개인차가 있을 것으로 판단되며, 본 연구에서도 발병일로부터 지지보행이 가능해지는 시기나, 독립보행이 가능해지는 시기까지의 기간이 일정치 않았기 때문에, 이 또한 결과에 영향을 미쳤을 것으로 사료된다. 다만, 본 연구에서는 매주 간격으로 COP의 이동을 자주 평가하여 지지보행과 독립보행이 가능한 시점을 최대한 세부적으로 나누어 분석하였기 때문에, 이와 같은 제한점이 본 연구에 미치는 영향은 미미했을 것으로 사료된다. 셋째, 검사과정 중 균형에 영향을 줄 수 있는 조건, 즉 기립 시 두 발 사이 간격<sup>25</sup>, 발의 외전 각도<sup>26</sup> 등이 일정하게 통제 되지 못하였다. 다만, 일반적으로 뇌졸중 환자가 기립자세를 독립적, 안정적으로 유지하기 어렵기 때문에 위와 같은 세부적인 조건들을 현실적으로 통제하기에 어려움이 있었다.

이에 향후 엄격한 연구 설계 및 다수의 뇌졸중 환자를 대상으로 본 연구에서와 같이 COP의 이동을 이용하여 균형을 평가하는 방법이 이용된다면, 보다 많은 연구에 뇌졸중 환자의 균형을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 확실하게 제시할 수 있을 것으로 사료되며, 이를 바탕으로 침 치료와 재활 치료와 같은 유효한 치료법을 제시할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2013학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행 됨.

## 참고문헌

1. Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, Krakauer JW, Constantine RC, DeLaPaz RL. Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction. *Stroke* 2000;31(3):656-61.
2. 송창호, 이규창, 유재호, 이경진, 이승원. 뇌졸중 환자의 낙상 예방을 위한 체중부하 비대칭과 자세 동요와의 관련성. *대한물리의학회지* 2010;5(1):81-8.
3. Goldie P, Matyas T, Evans O, Galea M, Bach T. Maximum voluntary weight-bearing by the affected and unaffected legs in standing following stroke. *Clin Biomech* 1996;11(6):333-42.
4. Hyndman D, Ashburn A, Stack E. Fall events among people with stroke living in the community: circumstances of falls and characteristics of fallers. *Arch Phys Med Rehab* 2002;83(2):165-70.
5. Ashburn A, Hyndman D, Pickering R, Yardley L, Harris S. Predicting people with stroke at risk of falls. *Age Ageing* 2008;37(3):270-6.
6. Shumway-Cook A, Anson D, Haller S. Postural sway biofeedback: its effect on reestablishing stance stability in hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehab* 1988;69(6):395-400.
7. Badke MB, Duncan PW. Patterns of rapid motor responses during postural adjustments when standing in healthy subjects and hemiplegic patients. *Phys Ther* 1983;63(1):13-20.
8. Tyson SF, Hanley M, Chillala J, Selley A, Tallis RC. Balance disability after stroke. *Phys Ther* 2006;86(1):30-8.
9. Perry J. Perry의 보행분석. 서울: 영문출판사; 2006, p. 28.
10. Garland SJ, Willems DA, Ivanova TD, Miller KJ. Recovery of standing balance and functional mobility after stroke. *Arch Phys Med Rehab* 2003;84(12):1753-9.
11. de Haart M, Geurts AC, Huidekoper SC, Fasotti L, van Limbeek J. Recovery of standing

- balance in postacute stroke patients: a rehabilitation cohort study. *Arch Phys Med Rehab* 2004;85(6):886-95.
12. Roerdink M, De Haart M, Daffertshofer A, Donker S, Geurts A, Beek P. Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Exp Brain Res* 2006;174(2):256-69.
  13. Lamontagne A, Paquet N, Fung J. Postural adjustments to voluntary head motions during standing are modified following stroke. *Clin Biomech* 2003;18(9):832-42.
  14. Das S, Tibarewala D. Stabilometric postural steadiness analysis of poststroke hemiplegic patients. *Int J Eng Sci Technol* 2011;3(6):4626-37.
  15. Genthon N, Rougier P, Gissot A-S, Froger J, Péliissier J, Pérennou D. Contribution of each lower limb to upright standing in stroke patients. *Stroke* 2008;39(6):1793-9.
  16. Zebris. Zebris FDM 1.0 software user manual. Isny im Allgäu: Zebris Medical GmbH; 2012, p. 62.
  17. Alfeeli AK, Alghunaim SM, Baqer AB, Shehab DK, Ahmed MM. Postural Stability and Balance Training Program in Hemiparetic Stroke Patients. *Maced J Med Sci* 2013;6(3):251-4.
  18. 김연희, 신재은, 김두한, 우영근, 김남균. 뇌졸중 환자에서 시각적 바이오피드백을 이용한 균형 훈련 효과. 대한재활의학회지 2004;28(6):515-21.
  19. Ikai T, Kamikubo T, Takehara I, Nishi M, Miyano S. Dynamic postural control in patients with hemiparesis. *Am J Phys Med Rehab* 2003; 82(6):463-9.
  20. King RB. Quality of life after stroke. *Stroke* 1996;27(9):1467-72.
  21. 이일석, 박기연, 홍해진, 성강경, 이상관. 뇌졸중 후 편마비 환자의 보행능력 향상에 따른 질량 중심 좌우이동의 변화. 대한한방내과학회지 2014; 35(4):448-54.
  22. 박기연, 이일석, 홍해진, 이상관, 성강경. 뇌졸중 이후 편마비 환자들의 보행 분석에 따른 보행 시 발 외전각도의 변화. 대한한방내과학회지 2014; 35(4):498-504.
  23. Gasq D, Labrunée M, Amarantini D, Dupui P, Montoya R, Marque P. Between-day reliability of centre of pressure measures for balance assessment in hemiplegic stroke patients. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11(1):39.
  24. 전혜원, 정이정. 만성 뇌졸중 환자의 기립 자세 조절에 이중 과제가 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지 2010;17(3):20-30.
  25. Kim JW, Kwon Y, Jeon HM, Bang MJ, Jun JH, Eom GM, et al. Feet distance and static postural balance: Implication on the role of natural stance. *Bio-Med Mater Eng* 2014;24(6):2681-8.
  26. Bohannon RW, Tinti-Wald D. Accuracy of weightbearing estimation by stroke versus healthy subjects. *Percept Motor Skill* 1991;72(3):935-41.