

Effects of freezing of gait and visual information on the static postural control ability in patients with Parkinson's disease

Abstract

Objective: The purpose of this study was to analyze effects of freezing of gait and visual information on the ability of the static postural control in patients with PD during the bipedal stance with foot together.

Method: This study included total of 36 patients with parkinson's disease (PD), Freezer group is 17 PD patients (age: 69.3 ± 6.2 yrs, height: 159.6 ± 9.0 cm, weight: 63.4 ± 9.78 kg) and Non-freezer group is 19 PD patients (age: 71.4 ± 5.6 yrs, height: 155.8 ± 7.1 cm, weight: 57.7 ± 8.6 kg). The ability of the static postural control was analyzed the variables of center of pressure (COP) dividing by mediolateral, anteroposterior, and integration factors during a bipedal stance with the eyes open and closed.

Results: Freezers and Non-freezers increased in Anteroposterior velocity, mediolateral velocity, averaged velocity, and mediolateral 95% edge frequency when the visual information was blocked. Additionally, Freezers were greater than Non-freezers in anteroposterior range, 95% confidence ellipse area, and COP anteroposterior mean position

Conclusion: Freezers and Non-freezers showed a reduction in the ability of the static postural control when the visual information was blocked. Additionally, the results of this study found a significant difference in the ability of the static postural control between Freezers and Non-freezers with PD. In particular, anteroposterior range, 95% confidence ellipse area, and COP anteroposterior mean position might be used to distinguish between Freezers and Non-freezers with PD.

Keywords: Parkinson's disease, Freezing of gait, Center of pressure, Balance, Postural control

Introduction

파킨슨병은 떨림(tremor)이나 손상된 근육의 협응으로 특징지어진 중추신경계(central nerve system)의 퇴행성 장애로 진전마비(paralysis agitans)라고도 한다(Parkinson, 2002; Jankovic, 2007; Bartels & Leenders, 2009). 이러한 파킨슨병(Parkinson's disease)은 알츠하이머성(Alzheimer's) 치매 다음으로 유병률이 높은 신경퇴행성 질환으로서 사회적·경제적 부담이 증가하고 있는 실정이다(de Lau & Breteler, 2006). 이러한 파킨슨병의 유병률은 일반적으로 전체 인구의 0.3%, 60 세 이상의 경우 약 1%에 이르고 있으며(Nussbaum & Ellis, 2003; de Lau & Breteler, 2006), 또한 파킨슨병의 발생률은 년 10 만명당 8~18 명에 이르고 있다(de Lau & Breteler, 2006; Kim, Kim & Lim, 2015). 질병관리본부 보고에 의하면, 국내 파킨슨병의 유병률은 의료이용기록을 기준으로 전체 인구의 약 100,000 명당 28 명이며, 60 세 이상의 경우, 약 100,000 명당 16 명이며, 남성보다는 여성의 유병률이 높게 나타나며, 그 생존율이 다소 낮은 것으로 보고하였다(Centers for disease control & prevention, 2008).

파킨슨병의 주요한 병태생리학적 특징은 흑색질(substantia nigra)에서의 도파민성 신경(dopaminergic neurons) 중 일부가 소실된 것으로 복잡한 대뇌 기저핵 회로(basal ganglia circuit)에서 특이적 혼란을 유발한다(Moore, West, Dawson, & Dawson, 2005). 또한 피질하(subcortico)와 피질(cortical) 간 상호작용을 방해하는 불균형 즉, 선조체(striatum) 수준에서의 중계 기능 장애가 나타난다(Bartels & Leenders, 2009). 파킨슨병 환자의 임상적 특징은 안정 시 떨림(tremor), 강직(rigidity), 운동 완서(bradykinesia), 자세 불안정(postural instability), 보행동결(freezing of gait)이 있으며(Dauer & Przedborski, 2003), 이와 같은 움직임 장애 중 보행동결(freezing of gait)은 파킨슨병 환자의 약 30~60%가 겪는 발작적(episodic) 보행 장애이다(Schaafsma et al., 2003). 보행동결은 마치 땅에 발이 붙어있는 것과 같이 효과적인 보행을 할 수 없는

45 것으로 설명되며(Giladi et al., 2000), 이러한 보행동결이 갑작스럽게 나타나게 되면, 자세제어 능력의 소실로
46 인한 낙상과 같은 2 차 상해를 경험하게 된다. 파킨슨병 환자의 약 90%가 낙상을 경험하는 것으로 보고되고
47 있으며(Błaszczyk, Orawiec, Duda-Kłodowska, & Opala, 2007), 이러한 결과는 이동성과 독립성 감소로
48 이어져 사회적·경제적 손실뿐 아니라 파킨슨병 환자의 삶의 질 감소를 초래한다(Bloem, Hausdorff, Visser, &
49 Giladi, 2004; Moore, Peretz, & Giladi, 2007). 자세제어는 주변 환경에 따른 신체의 자세를 제어하기 위해
50 감각 정보를 통합하는 능력과 신체 움직임을 제어하기 위하여 적절한 운동 반응을 발생시키는 능력이 요구되며,
51 자세제어를 위한 감각정보는 시각, 전정감각, 고유감각, 근력, 반응시간이 있다(Sturnieks, George, & Lord,
52 2008). 따라서 파킨슨병의 진행과 동반되는 자세 안정성의 소실에 대한 보다 나은 이해는 파킨슨병 환자들의
53 삶의 질을 유지하고 향상시키는데 도움이 될 것으로 판단된다.

54 파킨슨병 환자의 자세제어와 관련된 선행연구의 경향을 보면, 파킨슨병 환자와 동 연령대의 건강한 대조 그룹을
55 대상으로 자세제어 능력을 평가한 결과, 파킨슨병 환자 그룹이 대조 그룹 보다 자세제어 능력이 감소되어진
56 것으로 보고되었다(Błaszczyk et al., 2007; Schmit et al., 2006). Błaszczyk et al.(2007)은 파킨슨병 환자
57 그룹의 자세 불안정 평가를 위하여 Hoehn & Yahr 1-3 단계의 파킨슨병 환자 55 명과 동 연령대의 건강한 그룹
58 55 명을 대상으로 눈뜨고·눈감고 두발 모아서기 시 자세제어 능력을 평가하였으며, 그 결과 파킨슨병 환자
59 그룹이 대조그룹보다 눈감고 두발 모아서기 시 좌우 동요와 동요면적이 유의하게 증가한 것으로 나타났다고
60 보고하였다. 또한, Horak et al.(2005)은 파킨슨병 환자의 자세 불안정에 대한 특이적 방향성을 평가한 결과,
61 파킨슨병 환자 그룹은 모든 방향에서 대조그룹 보다 불안정성이 높게 나타나 자세제어 능력이 낮은 것으로
62 보고하였으며, 나아가 Pelykh et al.(2015)은 파킨슨병 환자 중 보행동결 유무와 시각정보 유무에 따른 자세제어
63 능력을 분석한 결과, 보행동결 유무와 상관없이 파킨슨병 환자 그룹은 건강한 대조군보다 자세제어 능력이 낮은
64 것으로 나타났으며, 보행동결 유무간 차이는 보행동결이 있는 그룹의 시각차단 시 보행동결이 없는 그룹 보다
65 자세제어 능력이 낮은 것으로 나타났다고 보고하였다. 앞서 언급된 바와 같이 파킨슨병 환자의 경우 자세제어
66 능력이 감퇴하는 경향이 있는 것으로 판단되나, 보행동결 유무와 관련된 자세제어 능력 및 그 특성에 대한 연구는
67 부족하다. 따라서 파킨슨병 환자 그룹 내에서 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹의 자세제어 특성과
68 시각정보 차단에 따른 파킨슨병 환자의 자세제어 능력 차이에 대한 연구를 통해 보다 나은 이해가 필요할
69 것으로 판단된다.

70 이 연구의 목적은 파킨슨병 환자 그룹 중에서 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹을 대상으로 두발
71 모아서기 시 보행동결과 시각정보가 정적자세제어 능력에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 이 연구는 연구
72 목적을 달성하기 위하여 다음의 가설을 선정하였다. 파킨슨병 환자의 보행동결은 정적자세제어 능력에 영향을
73 미칠 것이며, 파킨슨병 환자의 보행동결 그룹은 또한 시각정보 차단에 보행동결이 없는 그룹보다 크게 영향을
74 받을 것이다.

75

76 Method

77

78 1. Participants

79

80 이 연구는 D 대학교 의료원 신경과의 외래 환자 중 최근 6 개월 내에 정적자세제어에 영향을 미치는 정형외과,
81 신경외과, 신경생리학적 병력이 없으며, 인지기능평가 점수(Korean Mini-Mental Status Exam, K-MMSE)
82 24 점 이상인 특발성 파킨슨병 환자 총 36 명을 대상으로 하였다. D 대학교 의료원 신경과 전문의와 함께
83 보행동결척도설문지(New Freezing of Gait Questionnaire, NFOGQ)를 이용하여 보행동결 유무를 확인한 결과,
84 보행동결이 있는 그룹 17 명과 보행동결이 없는 그룹 19 명으로 나누어 선발하였다. 이 연구는 D 대학교 의료원
85 임상윤리위원회(IRB)의 심의를 통과하였으며, 모든 연구 대상자들은 실험 동의서에 서명을 하였다(Table 1).

86

Table 1. Physical characteristics of subject

	Freezers (n=17)	Non-freezers (n=19)	t-value
Age (years)	69.29±6.15	71.44±5.62	.830
Height (cm)	159.56±9.00	155.81±7.06	.748
Body weight (kg)	63.36±9.77	57.66±8.60	1.309
Body mass index (kg/m ²)	24.78±2.45	23.71±2.90	1.109

m±sd means mean and standard deviation; independent samples t-test between Freezers and Non-freezers

87
88 이 연구의 실험은 총 2 일간 진행 되었다. 첫째 날은 실험 동의서 작성, 병력질문지 작성, 신체구성 측정, 인지기능
89 평가를 위한 K-MMSE 검사(Kwon & Park, 1989; Lee & Ko, 2010), 보행동결 유무를 확인하기 위한
90 보행동결척도설문지(NFOGQ) 검사(Nieuwboer et al., 2009), 파킨슨병 환자들의 일상생활장애 및 증상의 심한
91 정도를 알아보기 위한 Unified Parkinson's Disease Rating Scale(UPDRS) 검사(Ahn, Ahn, & Park, 2009;
92 Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease, 2003), 파킨슨병 진행
93 정도를 구분하는 설문지인 Hoehn and Yahr Stage(H & Y)검사(Goetz et al., 2004), 두발 모아서기 적응
94 훈련을 실시하였다.

95 (1) NFOGQ 검사

96 NFOGQ 검사는 환자 혹은 보호자에게 보행동결 현상을 담은 간단한 비디오를 환자와 보호자에게 보여준 후
97 보행동결 유무를 확인하고, 보행동결이 발생하는 상황에서 빈도와 지속시간, 그리고 보행동결이 일상생활에
98 미치는 영향을 확인하는 질문으로 구성되어 있으며 점수가 높을수록 보행동결이 심한 것으로
99 판정된다(Nieuwboer et al., 2009).

100 (2) UPDRS 검사

101 UPDRS 검사는 파킨슨병 환자들의 일상생활장애 및 증상의 심한 정도를 알아보기 위한 것으로 1 부는 정신, 행동,
102 정서, 2 부는 일상생활 활동, 3 부는 운동기능검사, 4 부는 약물로 인한 합병증으로 구성되어 있다. 각 단계에서
103 점수가 높을수록 질병의 단계가 심한 것으로 판정된다(Ahn, Ahn, & Park, 2009; Movement Disorder Society
104 Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease, 2003).

105 (3) H & Y 검사

106 H & Y 검사는 파킨슨병 진행정도를 간단히 구분하는 도구로서, 1 단계 편측의 증상, 1.5 단계 편측과 회전의
107 증상, 2 단계 균형 손상 없는 양측의 증상, 2.5 단계 당김 테스트 회복 시 경도의 양측 증상, 3 단계 경도 혹은
108 중도의 양측 증상, 자세불안정, 신체적 독립, 4 단계 심각한 장애, 보조 없이 일어날 수 있으며, 걸을 수 있는 단계,
109 5 단계 휠체어 혹은 누워있는 상태로 보조도구 없이 보행 불가능한 단계로 구분되었다(Goetz et al., 2004).

110 둘째 날은 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기 측정을 실시하였다. 파킨슨병 환자 그룹은 실험 시 약물을 복용하지
111 않은 상태로 12 시간이 지난 후 실험에 참가 하였으며, 대상자들의 임상적 특징은<Table 2>와 같다.

112

Table 2. Clinical characteristics of subject

	Freezers(n=17)	Non-freezers(n=19)	t-value
History (years)	10.7±5.8	5.4±5.4	2.790*
NFOGQ (scores)	12.8±5.9	-	-
UPDRS (scores)	51.8±13.7	47.3±13.9	.979
UPDRS III (scores)	35.0±8.9	34.5±9.0	.195
H & Y (stage)	2.7±0.4	2.4±0.4	2.020
K-MMSE (scores)	27.5±1.9	27.4±2.0	.250

m±sd means mean and standard deviation; independent samples t-test between Freezers and Non-freezers *: $p < .05$

113

114 2. Measurements

115 실험이 이루어지는 공간 내에 지면반력시스템을 설치하고, 좌표계는 대상자의 좌측 후방 지면반력판의 위치를
 116 원점으로 대상자의 좌우 방향을 X 축, 전후 방향을 Y 축, 수직 방향을 Z 축으로 설정하였다(Figure 1).
 117

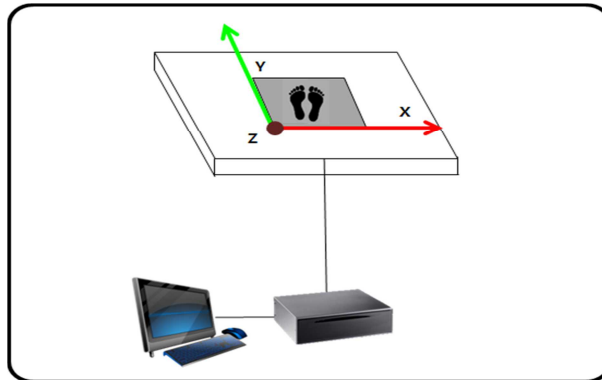


Figure 1. Equipment placement

118
 119
 120
 121 연구 대상자들은 스판 소재의 셔츠와 반바지를 착용하도록 하였으며, 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기 측정은
 122 맨발로 실시하였다. 연구 대상자들의 안전과 상해 예방을 위해 지면반력판 주위로 충격흡수패드를 설치하였으며,
 123 D 대학교 의료원 신경과 전문의, 간호사, 실험 진행자가 대기하였다.

124 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기 방법은 실험 진행자의 지시에 따라 지면반력판 위에 올라가 안정된 자세를
 125 취하게 한 다음, 시각 신호와 동시에 무릎을 곧게 펴고 양쪽 엄지발가락과 뒤꿈치를 최대한 모아서 서게 하였다.
 126 시선은 정면을 주시하도록 하였으며, 최소한의 동요로 가능한 오래 유지하도록 하였다. 대상자가 동작을
 127 유지하기 힘들다고 판단될 때 자세를 멈추도록 지시하였다.

128 3. Data processing

129
 130
 131 이 실험의 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기에 대한 지면반력 자료의 동기화, 수집, 분석은 Nexus software(Vicon,
 132 UK)를 이용하였으며, 분석 시간은 실험 환경에서 발생할 수 있는 초기 동요를 제거하기 위하여 시작 신호로부터
 133 5 초 후부터 60 초 동안의 자료를 분석하였다. 지면반력 자료의 샘플링 주파수 100 Hz로 설정하고, 수집된
 134 자료는 Butterworth low-pass filter 2 차, 차단주파수 6 Hz로 필터링 하였다(Dolye, Hsiao-Wecksler, Ragan,
 135 & Rosengren, 2007; Raymakers, Samson, & Verhaar, 2005; Oh, Youm, & Kim, 2011).

136 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기에 대한 지면반력 분석 변수는 자세제어 능력을 판별하는 주요 변수인
 137 압력중심점의 궤적을 시간 영역변수, 주파수 영역변수, 비선형(non-linear)영역 변수로 나누어 좌우 요인, 전후
 138 요인, 통합 요인을 분석하였다. 좌우 요인과 전후 요인은 범위, 속도, RMS(root mean squared) 거리, 총파워
 139 주파수(total power frequency), 95% 주파수(edge frequency), 50% 주파수(edge frequency), 최대
 140 리아푸노프 지수(lyapunov exponent), 통합요인은 평균속도, 95% 신뢰구간 타원면적, 압력중심점 전후
 141 평균위치로 구분하였다.

142 압력중심점의 전후·좌우 범위는 압력중심점의 전후·좌우 위치 자료의 최댓값과 최솟값의 차이를 의미한다.
 143 압력중심점의 전후·좌우 속도는 압력중심점의 전후 방향과 좌우 방향으로 나누어 계산하였으며, 전후·좌우
 144 방향으로 움직인 총 거리를 분석시간(T = 60 s)으로 나눈 값이다. 압력중심점 평균 속도는 압력중심점의 방향과
 145 상관없이 움직인 총 거리를 분석시간(T=60 s)으로 나눈 값이다. 압력중심점의 전후·좌우 RMS 거리는 각 방향의
 146 거리를 제곱하여 평균한 값의 제곱근을 의미하며, 식(1)과 식(2)와 같이 계산한다.

147
 148
$$RM S_{AP} = \left[\frac{1}{N} \sum_{N=1}^N (x_{AP(n)} - \bar{x}_{AP})^2 \right]^{\frac{1}{2}} (1)$$

149 $RM S_{ML} = \left[\frac{1}{N} \sum_{N=1}^N (x_{ML(n)} - \overline{x_{ML}})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ (2)

150

151 압력중심점 95% 신뢰구간 타원 면적은 압력중심점 궤적들의 95%를 포함하고 장축과 단축의 반지름을 가지는
152 타원으로 이루어진 압력중심점의 면적을 말한다(식 3).

153

154 $Area = \pi ab$ (3)

155

156 압력중심점의 주파수 영역은 노이즈가 필터링 된 시계열 데이터를 비선형 데이터 분석 프로그램인 Complexity
157 version 2.0 프로그램(Laxtha, Korea)을 이용하여 총주파수, 95% 구간 주파수, 50% 구간 주파수로
158 분석하였다. 주파수 영역은 초(s)당 신호가 얼마나 빠르게 진동하는 지를 나타내며, 압력중심점 총주파수는 파워
159 스펙트럼 분석 후 적분된 면적을 말하며, 95% 구간 주파수는 파워 스펙트럼 분석 후 총주파수의 95% 아래에
160 있는 주파수 값이며, 50% 구간 주파수는 파워 스펙트럼 분석 후 총 주파수의 50% 아래에 있는 주파수 값을
161 말한다(Youm, Park, & Seo, 2008).

162 비선형 분석을 위한 각 데이터의 지연시간과 매립차원을 결정하여 위상공간을 재구축하고 최대 리아푸노프
163 지수를 계산하였다. 최대 리아푸노프 지수는 위상공간에서 시계열 점의 궤적이 시간에 따라 발산하는 정도를
164 나타낸 값을 말하며(Park, Son, & Kim, 2007; Grassberger & procaccia, 1983), 리아푸노프를 계산하기 위한
165 알고리즘(Wolf et al, 1985)은 식(4)과 같다.

166

167 $\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{nt} \sum_{t=1}^n \log_2 \frac{d'(t_i)}{d(t_{i-1})}$ (4)

168

169 여기서 λ 는 최대 리아푸노프 지수, t 는 시간 간격, n 은 전체 시간 간격의 수, d 는 두 점의 거리를 의미한다(Park,
170 Son, & Kim, 2007). 리아푸노프 지수를 측정하기 위해 카오스 전문 분석 프로그램인 Chaos Data Analyzer
171 software(professional version, Physics Academic Software, Sprott and Rowlands, 1998)를 사용하여
172 국부안정성을 측정하였다.

173

174 4. Statistical analysis

175

176 통계 처리는 SPSS (version 21.0, SPSS Inc, Chicago, IL)를 이용하여 각 변수들의 평균과 표준편차를 산출
177 하였으며, 모든 자료의 정규성 검정을 위해 *Shapiro-wilk test*를 실시한 다음, 그룹 간(보행동결이 있는 그룹,
178 보행동결이 없는 그룹)과 시각 정보 유무 간 주효과 및 상호작용 효과를 알아보기 위하여 반복측정에 의한 *two-*
179 *way ANOVA* 를 실시하였다. 그룹 간 사후검정을 위하여 독립표본 *t-test* 이용하였으며, 시각정보 유무간
180 사후검정을 위하여 대응표본 *t-test*를 이용하였다. 통계적 유의수준은 .05로 설정하였다.

181

182 **Results**

183

184 1. The results of Mediolateral variables

185 압력중심점 궤적의 좌우 요인에 대한 결과는 <Table 3>와 같다. 좌우 속도의 경우, 시각정보 유·무 간
186 주효과($F=28.511, p=.000$)와 시각정보 유·무와 그룹 간 상호작용 효과($F=5.089, p=.031$)가 나타났다.
187 시각정보 유·무 간 사후검정 결과, 보행동결이 있는 그룹($t=2.618, p=.019$)과 보행동결이 없는 그룹($t18=4.838,$
188 $p=.000$) 모두 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다.

189 좌우 95% 주파수의 경우, 시각정보 유·무 간 주효과($F=10.334, p=.003$)가 나타났다. 시각정보 유·무 간 사후
190 검정 결과, 보행동결이 있는 그룹에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 보행동결이 없는 그룹($t=3.149,$
191 $p=.006$)에서 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다. 좌우 리아푸노프 지수의 경우, 시각정보 유·무 간

192 주효과($F=13.013, p=.001$)가 나타났다. 시각정보 유·무 간 사후검정 결과, 보행동결이 있는 그룹은 유의한
 193 차이가 나타나지 않았으나, 보행동결이 없는 그룹($t=4.516, p=.000$)에서 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로
 194 나타났다.
 195

Table 3. Mediolateral variables of center of pressure

		Eyes open	Eyes closed	F^a	f
Range (cm)	Freezer(n=17)	3.51±1.26	3.25±1.05	.000(V)	.726
	Non-freezer(n=19)	3.05±0.73	3.30±1.26	.506(G)	.975
	t^b	1.369	.705	1.385(V×G)	
Velocity (cm/s)	Freezer(n=17)	0.91±0.21	1.06±0.28	28.511(V)*	2.618*
	Non-freezer(n=19)	0.92±0.26	1.28±0.53	1.051(G)	4.838*
	t^b	.007	1.505	5.089(V×G)*	
RMS distance (cm)	Freezer(n=17)	0.66±0.26	0.61±0.24	.008(V)	.966
	Non-freezer(n=19)	0.56±0.18	0.60±0.16	.789(G)	1.035
	t^b	1.405	.088	2.001(V×G)	
Total power frequency (cm ²)	Freezer(n=17)	0.47±0.35	0.38±0.34	.461(V)	1.312
	Non-freezer(n=19)	0.34±0.22	0.38±0.19	.669(G)	.681
	t^b	1.372	.049	2.207(V×G)	
95% edge frequency (Hz)	Freezer(n=17)	0.72±0.33	0.82±0.32	10.334(V)*	1.453
	Non-freezer(n=19)	0.79±0.24	0.99±0.33	1.702(G)	3.149*
	t^b	.745	1.551	1.189(V×G)	
50% edge frequency (Hz)	Freezer(n=17)	0.11±0.06	0.13±0.10	2.376(V)	.961
	Non-freezer(n=19)	0.12±0.08	0.15±0.13	.292(G)	1.250
	t^b	.225	.581	.208(V×G)	
Lyapunov exponent	Freezer(n=17)	0.06±0.02	0.06±0.02	13.013(V)*	1.083
	Non-freezer(n=19)	0.06±0.02	0.07±0.02	.478(G)	4.516*
	t^b	.029	1.209	3.395(V×G)	

m±sd: mean and standard deviation; ^a: two-way ANOVA with repeated measures; ^b: independent sampl
 t-test between Freezers and Non-freezers; ^c: paired samples t-test between Eyes-open and Eyes-closed,
 V: Main effect of vision; G: Main effect of group; V×G: Interaction effects of vision×group; *: $p<.05$

196
 197 2. The results of Anteroposterior variables
 198

199 압력중심점 궤적의 전후 요인에 대한 결과는 <Table 4>와 같다. 전후 범위의 경우, 시각정보 유·무 간 및 그룹 간
 200 주효과와 상호작용 효과가 나타나지 않았으나, 그룹 간 사후검정 결과, 눈뜨고 두발 모아서기 시 보행동결이 있는
 201 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 유의하게 크게 나타났다($t=2.240, p=.032$). 전후 속도의 경우, 시각정보
 202 유·무 간 주효과($F=25.734, p=.000$)가 나타났다. 시각정보 유·무 간 사후검정 결과, 보행동결이 있는
 203 그룹($t=2.625, p=.018$)과 보행동결이 없는 그룹($t=4.537, p=.000$) 모두 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로
 204 나타났다. 전후 95% 주파수의 경우, 시각정보 유·무 간 주효과($F=11.175, p=.002$)가 나타났다. 시각정보 유·무
 205 간 사후검정 결과, 보행동결이 있는 그룹은 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 보행동결이 없는 그룹($t=2.758,$
 206 $p=.013$)에서 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다.
 207

Table 4. Anteroposterior variables of center of pressure

		Eyes open	Eyes closed	F^a	f
--	--	-----------	-------------	-------	-----

Range (cm)	Freezer(n=17)	3.78±1.32	3.32±0.81	0.056(V)	1.418
	Non-freezer(n=19)	2.99±0.72	3.19±0.99	2.942(G)	.909
	t^b	2.240*	.431	2.956(Vx G)	
Velocity (cm/s)	Freezer(n=17)	1.00±0.26	1.17±0.18	25.734(V)*	2.625*
	Non-freezer(n=19)	0.88±0.25	1.20±0.44	.249(G)	4.537*
	t^b	1.391	.256	2.327(Vx G)	
RMS distance (cm)	Freezer(n=17)	0.70±0.28	0.67±0.15	.000(V)	.568
	Non-freezer(n=19)	0.57±0.13	0.60±0.19	3.423(G)	.859
	t^b	1.892	1.103	.945(Vx G)	
Total power frequency (cm ²)	Freezer(n=17)	0.41±0.19	0.46±0.21	2.623(V)	1.112
	Non-freezer(n=19)	0.33±0.16	0.40±0.24	1.522(G)	1.203
	t^b	1.313	.865	.030(Vx G)	
95% edge frequency (Hz)	Freezer(n=17)	0.62±0.16	0.72±0.23	11.175(V)*	1.980
	Non-freezer(n=19)	0.70±0.20	0.86±0.38	2.254(G)	2.758*
	t^b	1.416	1.369	.592(Vx G)	
50% edge frequency (Hz)	Freezer(n=17)	0.09±0.06	0.10±0.08	2.542(V)	.606
	Non-freezer(n=19)	0.09±0.07	0.13±0.07	.391(G)	1.644
	t^b	.066	.889	.571(Vx G)	
Lyapunov exponent	Freezer(n=17)	0.07±0.02	0.07±0.02	.091(V)	.590
	Non-freezer(n=19)	0.06±0.02	0.07±0.03	.352(G)	.036
	t^b	.447	.529	.058(Vx G)	

m±sd: mean and standard deviation; ^a: two-way ANOVA with repeated measures; ^b: independent sample *t-test* between Freezers and Non-freezers; c: paired samples *t-test* between Eyes-open and Eyes-closed, V: Main effect of vision; G: Main effect of group; Vx G: Interaction effects of vision×group; *: $p < .05$

208

209 3. The results of Integration variables

210

211 압력중심점 궤적의 통합 요인에 대한 결과는 <Table 5>와 같다. 평균 속도의 경우, 시각정보 유·무 간
212 주효과($F=32.491, p=.000$)와 시각정보 유·무와 그룹 간 상호작용 효과($F=4.238, p=.047$)가 나타났다. 시각정보
213 유·무 간 사후검정 결과, 보행동결이 있는 그룹($t=2.995, p=.009$)과 보행동결이 없는 그룹($t=5.017, p=.000$)
214 모두 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다.

215 95% 신뢰구간 타원면적의 경우, 그룹 간 주효과($F=4.411, p=.043$)가 나타났다. 그룹 간 사후검정 결과, 눈뜨고
216 두발 모아서기 시 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 유의하게 크게 나타났다($t=2.392, p=.022$).
217 압력중심점 전후평균위치의 경우, 그룹 간 주효과($F=4.882, p=.034$)가 나타났다. 그룹 간 사후검정 결과 눈뜨고
218 두발 모아서기 시 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 유의하게 크게 나타났다($t=2.401, p=.022$)
219 (Figure 2).

Table 6. Integration variables of center of pressure

		Eyes open	Eyes closed	F^a	t^b
Averaged velocity (cm/s)	Freezer(n=17)	1.51±0.33	1.76±0.32	32.491(V)*	2.995*
	Non-freezer(n=19)	1.42±0.35	1.96±0.74	.137(G)	5.017*
	t^b	.789	1.013	4.238(VxG)*	
95% confidence ellipse	Freezer(n=17)	7.72±5.86	6.64±4.07	.003(V)	.834

area (cm ²)	Non-freezer(n=19) <i>p</i>	4.21±2.46 2.392*	5.38±3.88 .950	4.411(G)* 1.901(V×G)	1.148
COP anteroposterior mean position (cm)	Freezer(n=17) Non-freezer(n=19) <i>p</i>	1.82±0.68 1.40±0.31 2.401*	1.72±0.43 1.51±0.60 1.188	.002(V) 4.882(G)* 1.011(V×G)	.640 .789

m±sd: mean and standard deviation; ^a: two-way ANOVA with repeated measures; ^b: independent sample *t*-test between Freezers and Non-freezers; ^c: paired samples *t*-test between Eyes-open and Eyes-closed, V: Main effect of vision; G: Main effect of group; V×G: Interaction effects of vision×group; *: $p < .05$

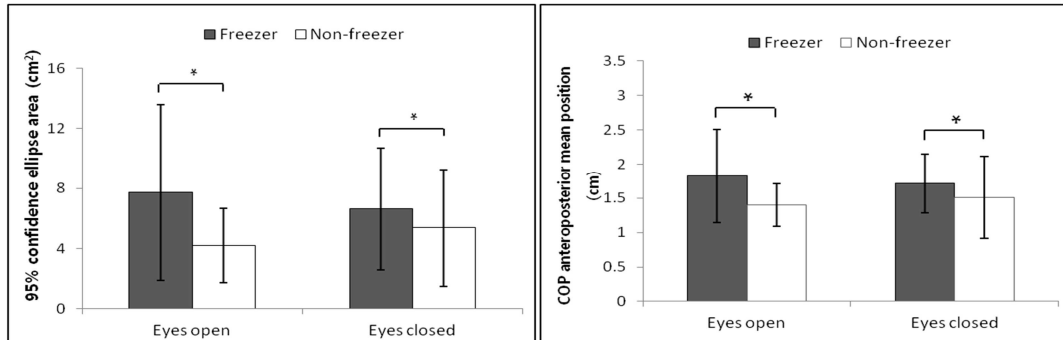


Figure 2. 95% confidence ellipse area (cm²) and COP anteroposterior mean position (cm); *: $p < .05$

220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246

Discussion

이 연구의 목적은 파킨슨병 환자 그룹 중에서 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹을 대상으로 두발 모아서기 시 보행동결과 시각정보가 정적자세제어 능력에 미치는 영향을 분석하는 것이었다. 그 결과, 파킨슨병 환자의 보행동결은 정적자세제어 능력에 영향을 미쳤으며, 파킨슨병 환자는 보행동결 유무와 상관없이 시각정보 차단에 영향을 받는 것으로 나타났다.

1. 시각정보 효과

이 연구의 압력중심점 좌우 요인의 경우, 좌우 속도에서 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹 모두 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났으며, 압력중심점 전후 요인의 경우, 전후 속도에서 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹 모두 시각정보 차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다. 또한 압력중심점 통합요인을 분석한 결과, 평균 속도는 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹 모두 시각 정보차단 시 유의하게 큰 것으로 나타났다. 따라서 시각정보 차단은 파킨슨병 환자의 보행동결 유무와 상관없이 자세제어 능력을 감소시키는 것으로 나타났다.

선행연구보고에 의하면, Błaszczyk et al.(2007)은 파킨슨병 환자 그룹 55명(H & Y stage: I=12, II=33, III=10)과 동 연령대의 건강한 그룹 55명을 대상으로 편안한 보폭으로 30 초 동안 두발 모아서기 시 시각정보 유무에 따른 자세제어 능력을 분석하였으며, 그 결과 시각정보 차단 시 파킨슨병 환자 그룹과 대조군 모두에서 압력중심점의 총 거리, 전후 거리, 전후 범위, 좌우 거리가 증가한 것으로 나타났으며, 파킨슨병 환자 그룹에서는 압력중심점의 동요 면적, 좌우 범위, 압력중심점 평균전후위치가 증가한 것으로 나타났다. Horak et al.(2005)은 특발성 파킨슨병 환자 그룹 7명과 동 연령대의 건강한 그룹 7명을 대상으로 파킨슨병 환자가 좁게 서기와 넓게 서기 동안 어떤 특정 방향의 동요에서 더 큰 자세불안정성을 나타내는지 연구한 결과, 시각정보 차단 시 파킨슨병 환자 그룹과 대조군 모두 안정성 마진(Stability margin)이 증가한 것으로 나타났다고 보고하였다. Chastan et al.(2008)은 초기 파킨슨병 그룹 9명(H & Y stage: 1.22)과 동 연령대의 건강한 그룹 18명을 대상으로 발의 위치를 표준화하여 두발 모아서기 시 정적 자세제어 능력을 비교하였으며, 시각정보 차단 시 파킨슨병 환자 그룹과

247 대조군 모두 전후 거리, 총 거리가 유의하게 증가한 것으로 나타났다고 보고하였다. Pelykh et al.(2015)은
248 파킨슨병 환자 중에서 보행동결이 있는 그룹 15명, 보행동결 없는 그룹 17명, 동 연령대의 건강한 그룹 24명을
249 대상으로 두발 모아서기 시 보행동결 유무와 시각정보 유무에 따른 자세제어 능력을 분석한 결과, 시각정보 차단 시
250 모든 그룹에서 동요경로가 증가하는 것으로 나타났다. 위에서 언급된 선행 연구 결과와 유사하게, 이 연구의
251 보행동결이 있는 그룹과 보행동결이 없는 그룹 모두 시각정보 차단에 따라 영향을 받으며, 자세제어 능력에서
252 감소가 나타났다. 이 연구 결과에서도 마찬가지로 시각정보 차단 시 좌우속도, 전후속도, 평균속도에서 유의한
253 증가가 나타나 속도 변수는 권장할 수 있는 변수이며, 또한 파킨슨병 환자 그룹은 보행동결 유무에 상관없이
254 시각정보 차단에 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 파킨슨병 환자가 생활하는 임상적 환경뿐만 아니라
255 생활환경하에서도 낙상 위험 요인은 제거되어야 하며, 빛의 밝기를 적절하게 조절하여 낙상에 대한 안전조치를
256 취해야 할 것으로 제안될 수 있으며, 또한 자세제어 능력 향상을 위한 중재 프로그램이 요구된다.

257

258 2. 보행동결 효과

259

260 이 연구의 압력중심점 전후 요인을 분석한 결과, 전후 범위는 눈뜨고 두발 모아서기 시 보행동결이 있는 그룹이
261 보행동결이 없는 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났으며, 압력중심점 전후평균위치는 눈뜨고 두발 모아서기 시
262 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다. 이 연구의 압력중심점 통합
263 요인을 분석한 결과, 95% 신뢰구간 타원면적은 눈뜨고 두발 모아서기 시 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는
264 그룹보다 유의하게 큰 것으로 나타났다.

265 파킨슨병 그룹의 자세제어 특성에 대한 선행 연구 결과에 의하면, Duncan et al.(2015)은 보행동결이 있는 그룹
266 32명, 보행동결 없는 그룹 46명을 대상으로 BESTest, Mini-BESTest, BBS를 이용하여 보행동결 유무에 따른
267 자세제어 능력을 분석한 결과, 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹 보다 자세제어 능력이 감소된 것으로
268 나타났다고 보고하였으며, 이러한 결과는 보행 중 여러 가지 과제를 동시에 수행하는 과업에서 보행동결이 있는
269 그룹이 보다 모든 방향에서 반작용성 자세반응 능력의 감소에 의한 것으로 보고하였다. Vervoort et al.(2013)은
270 보행동결이 있는 그룹 9명, 보행동결이 없는 그룹 10명, 동 연령대의 건강한 그룹 10명을 대상으로
271 감각구조화검사, 운동제어검사, 율동적 체중 이동 검사를 이용하여 보행동결 유무에 따른 자세제어 능력의 차이를
272 분석한 결과, 율동적 체중 이동 검사에서 수의적 체중 이동 시 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹과
273 대조군 보다 방향 제어 능력 수준이 감소된 것으로 나타났다고 보고하였으며, 특히 좌우 방향보다 전후 방향에서
274 감소가 나타난 것으로 보고하였다. 위에서 살펴본 바와 같이 기능성 균형 검사 시 보행동결이 있는 그룹이
275 보행동결이 없는 그룹보다 자세제어 능력이 감소된 것으로 판단되며, 방향에 따라 다소 차이가 있으나, 전후 방향의
276 자세제어 능력이 감소한다는 Vervoort et al.(2013)의 연구결과는 이 연구와 유사한 것으로 판단된다.

277 Błaszczuk et al.(2007)은 파킨슨병 환자 그룹이 동 연령대 건강한 그룹보다 압력중심점 전후평균위치가 전방으로
278 유의하게 이동된 것으로 나타났다고 보고하였다. Schieppatti & Nardone(1991)는 파킨슨병 환자 그룹과 동 연령대
279 건강한 그룹을 대상으로 눈뜨고와 눈감고 두발 모아서기 시 압력중심점 측정을 통해 분석한 결과, 파킨슨병
280 환자들에게서 발견된 중요한 변수는 압력중심점 전후평균위치라고 보고하였으며, 파킨슨병 환자 그룹이 동 연령대
281 건강한 그룹에 비해 영향을 덜 받는 환자들은 뒤로 이동했고, 영향을 더 많이 받는 환자들은 앞으로 이동하였다고
282 보고하였다. 이러한 전후 방향의 감퇴된 제어능력은 보행동결 시 낙상과 같은 2차 손상을 초래할 수 있다(Bloem,
283 Hausdorff, Visser, & Giladi, 2004; Vervoort et al, 2013). 이러한 결과는 이 연구 결과에서도 유사하게
284 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 압력중심점 전후평균위치가 크게 나타나 보행동결은 전후방향
285 자세제어 능력의 감소에 따른 동적 안정성 및 파킨슨병 심각도와와의 상관관계를 알아보는 추가의 연구가 제안된다.

286 파킨슨병 환자 그룹 내에서 보행 동결 유무에 따른 정적 자세제어 능력을 비교한 선행연구에 의하면, Pelykh et
287 al.(2015)은 파킨슨병 환자 중에서 보행동결이 있는 그룹 15명, 보행동결 없는 그룹 17명, 동 연령대의 건강한
288 그룹 24명을 대상으로 두발 모아서기 시 보행동결 유무와 시각정보 유무에 따른 자세제어 능력을 분석한 결과,
289 파킨슨병 환자 그룹이 대조군보다 눈뜨고 두발 모아서기와 눈감고 두발 모아서기 모두에서 압력중심점 면적의 평균
290 반경(mean radius)이 유의하게 큰 것으로 나타났으며, 파킨슨병 환자 중 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는

291 그룹 보다 눈감고 두발 모아서기 시 평균 반경이 유의하게 큰 것으로 나타났다고 보고하였다. 이러한 결과는 이
 292 연구의 압력중심점 95% 신뢰구간 타원면적 결과와 유사하게 나타났음을 알 수 있다. 선행 연구에서 나타난 바와
 293 같이 다양한 과업을 통한 파킨슨병 환자 혹은 보행동결 유무에 따른 정적 안정성에 관련된 연구가 진행되고 있으나,
 294 다소 부족한 것으로 판단된다. 그러나 이 연구 결과, 보행동결이 있는 그룹이 보행동결이 없는 그룹보다 정적
 295 자세제어 능력이 감소된 것으로 나타나 압력중심점 전후 범위, 전후평균위치, 95% 신뢰구간 타원면적 변수는
 296 보행동결 유무에 따른 판별 변수로서 권장될 수 있는 것으로 판단된다.
 297 또한 위에서 언급된 선형 분석은 신호의 수량에 대한 정보를 제공할 뿐 시간을 수반하는 움직임의 가변성을
 298 나타내지 못하는 단점을 가지고 있다(Harbourne, & Stergiou, 2009). 가변성은 환경에 대한 유연한 적응 전략을
 299 제공함으로써 움직임에 대한 다양한 선택을 가능하게 하며, 이러한 가변성의 부족은 운동 기능을 방해하는 감각
 300 피질의 비정상적인 매핑(mapping)을 야기하고, 이 신경 매핑(감각과 운동)은 움직임 가변성이 존재할 때 더
 301 복잡하게 나타나며 가변성이 감소될 때 덜 복잡하게 나타난다 (Byl, Nagarajan, Merzenich, Roberts, &
 302 McKenzie, 2002); Harbourne & Stergiou, 2009; Nudo, Milliken, Jenkins, & Merzenich, 1996; Merzenich &
 303 Jenkins, 1993). 최적의 가변성을 가진 움직임은 비정상적인 매핑을 피하고 기능적인 수행력을 유지하거나
 304 성취하는데 필요한 신경유연성에 중요하게 기여한다(Harbourne & Stergiou, 2009). 이러한 가변성의 구조는
 305 비선형 분석을 통해 설명된다. 비선형 분석은 여러 변수를 통해 이루어 지며, 그 중 리아푸노프 지수(Lyapunov
 306 exponent)는 동역학계의 국부안정성을 측정하는 비선형 분석 척도의 하나로서, 시계열 위상공간 내 초기에 인접한
 307 궤도의 발산(divergence)과 수렴성(convergence)을 수량화하여 나타낸다. 국부안정성이란 자세유지 동안
 308 발생하는 자연적인 동요에 대한 민감도를 말한다(Abarbanel, Gills, Liu, & Roy, 1996; Donker, Roerdink,
 309 Greven, & Beek, 2007; Lee & Youm, 2015.) 선행연구에 의하면, Pelykh et al.(2015)는, 보행동결이 있는
 310 파킨슨병 그룹, 보행동결이 없는 파킨슨병그룹과 대조군을 대상으로 비선형 분석 방법의 하나인 샘플
 311 엔트로피(Sample entropy)를 분석하였다. 샘플 엔트로피는 값이 낮을수록 더 규칙적인 움직임을 나타내며, 반면
 312 값이 높을수록 복잡성(complexity)를 나타낸다. 연구 결과 파킨슨병 그룹이 대조군 보다 눈뜨고와 눈감고 두발
 313 모아서기 모두에서 샘플 엔트로피 값이 유의하게 낮게 나타나 파킨슨병 환자의 자세제어 능력이 경직성과 낮은
 314 적응성을 반영하여 파킨슨병 환자의 높은 낙상 위험을 나타낸다고 보고하였다. 이 연구의 결과, 두 그룹 간
 315 리아푸노프 지수에서 유의한 차이가 나타나진 않았으나 모든 그룹의 리아푸노프 지수가 0.1보다 낮게 나타났으며,
 316 이러한 결과는 파킨슨병의 특징인 경직으로 인한 가변성이 감퇴한 것으로 판단되며, 이는 곧 정적 자세제어 능력
 317 감소로 이어질 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 보행 동결과 정적 자세제어 능력은 유의한 관계가 있는 것으로
 318 판단되며, 이러한 결과는 임상적 심각도 판단기준과 중재 프로그램의 방향성을 제시할 수 있는 기초 자료가 될 수
 319 있을 것이며, 나아가 보행 혹은 방향 회전과 관련된 다양한 동적 안정성 평가에 대한 추가의 연구가 제안된다.

320

321 Conclusion

322

323 결론적으로 파킨슨병 환자는 보행동결 유무와 상관없이 시각정보 차단 시 정적자세제어 능력의 감소가
 324 나타났으며, 압력중심점 전후속도, 좌우속도, 평균속도 변수는 시각정보 차단 효과를 검정할 수 있는 변수인 것으로
 325 판단된다. 또한 눈뜨고 두발 모아서기 시 압력중심점 전후 범위, 전후평균위치, 95% 신뢰구간 타원면적 변수에서
 326 는 보행동결 유무간 유의한 차이가 나타나 보행동결 유무를 판별할 수 있는 변수인 것으로 제안된다.

327

328 References

329 Abarbanel, H. D., Gills, Z., Liu, C., & Roy, R. (1996). Nonlinear-time-series analysis of chaotic laser
 330 dynamics. *Physical Review A*, 53(1), 440.

331 Ahn, W. H., Ahn, J. S., & Park, E. K. (2009). The functional effect of multidirectional exercise program in
 332 Parkinson disease patients. *Journal of Sport and Leisure Studies* 35(2), 791-799.

333 Bartels, A. L., & Leenders, K. L. (2009). Parkinson's disease: the syndrome, the pathogenesis and
 334 pathophysiology. *Cortex*, 45(8), 915-921.

335 Błaszczyk, J., Orawiec, R., Duda-Kłodobowska, D., & Opala, G. (2007). Assessment of postural instability in
336 patients with Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 183(1), 107-114.

337 Bloem, B. R., Hausdorff, J. M., Visser, J. E., & Giladi, N. (2004). Falls and freezing of gait in Parkinson's
338 disease: a review of two interconnected, episodic phenomena. *Movement Disorders*, 19(8), 871-
339 884.

340 Byl, N. N., Nagarajan, S. S., Merzenich, M. M., Roberts, T., & McKenzie, A. (2002). Correlation of clinical
341 neuromusculoskeletal and central somatosensory performance: variability in controls and patients
342 with severe and mild focal hand dystonia. *Neural plasticity*, 9(3), 177-203.

343 Centers for Disease Control & Prevention. (2008). *Prevalence and research of Parkinson's disease*. Centers
344 for Disease Control & Prevention.

345 Chastan, N., Debono, B., Maltête, D., & Weber, J. (2008). Discordance between measured postural
346 instability and absence of clinical symptoms in Parkinson's disease patients in the early stages of the
347 disease. *Movement Disorders*, 23(3), 366-372.

348 Dauer, W., & Przedborski, S. (2003). Parkinson's disease: mechanisms and models. *Neuron*, 39(6), 889-909.

349 de Lau, L.M., & Breteler, M. (2006). Epidemiology of Parkinson's disease. *The Lancet Neurology*, 5(6), 525-
350 535.

351 Dolye, R. J., Hsiao-Weckler, E. T., Ragan, B. G., & Rosengren, K. S. (2007). Generalizability of center of
352 pressure measures of quiet standing. *Gait & Posture*, 25, 166-171.

353 Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories
354 depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain
355 Research*, 181(1), 1-11.

356 Duncan, R. P., Leddy, A. L., Cavanaugh, J. T., Dibble, L. E., Ellis, T. D., Ford, M. P., ... & Earhart, G. M. (2015).
357 Balance differences in people with Parkinson disease with and without freezing of gait. *Gait &
358 posture*, 42(3), 306-309.

359 Giladi, N., Shabtai, H., Simon, E.S., Biran, S., Tal, J., Korczyn, A.D.(2000). Construction of freezing of gait
360 questionnaire for patients with Parkinsonism. *Parkinsonism and Related Disorders*, 6(3), 165-170.

361 Goetz, C. G., Poewe, W., Rascol, O., Sampaio, C., Stebbins, G. T., Counsell, C., & Seidl, L. (2004).
362 Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: status and
363 recommendations the Movement Disorder Society Task Force on rating scales for Parkinson's
364 disease. *Movement Disorders*, 19(9), 1020-1028.

365 Grassberger, P. & Procaccia, I. (1983). Characterization of strange attractor. *Physical Review Letters*, 50,
366 346-349.

367 Harbourne, R. T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to
368 guide physical therapist practice. *Physical therapy*, 89(3), 267-282.

369 Horak, F. B., Dimitrova, D., & Nutt, J. G. (2005). Direction-specific postural instability in subjects with
370 Parkinson's disease. *Experimental neurology*, 193(2), 504-521.

371 Jankovic, J. (2007). *Pathophysiology and assessment of parkinsonian symptoms and signs*. In: Pahwa R,
372 Lyons K, Koller WC, eds. Handbook of Parkinson' disease. New York: Taylor and Francis Group, LLC,
373 79-104.

374 Kim, C. H., Kim, M. Y., & Lim, B. O. (2015). A Literature Review of Parkinson's Disease Rating, Balance, Fall
375 and Gait Scales. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 25(4), 441-451.

376 Kwon, Y. C., & Park, J. H. (1989). Standardization of korean version of the Mini-Mental State
377 Examination(MMSE-K) for Use in the Elderly. Part II. Diagnostic Validity. *The Korean
378 Neuropsychiatric Association*, 28(3), 508-513.

379 Lee, D. J., & Ko, T. S. (2010). Relationships between symptoms of depression and cognitive function,
380 physical functions, and activities of dailyliving in stroke patients. *Journal of Special Education &
381 Rehabilitation Science*, 49(4), 159-178.

382 Lee, K. H., & Youm, C. H., (2015). Comparison of Taekwondo Levels and Gender Differences on Postural
383 Control Ability in the Elementary Students Using Nonlinear Analysis. *The Korean Journal of Physical*
384 *Education-Natural science*, 54(3), 551-562.

385 Merzenich, M. M., & Jenkins, W. M. (1993). Reorganization of cortical representations of the hand
386 following alterations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience.
387 *Journal of Hand Therapy*, 6(2), 89-104.

388 Moore, O., Peretz, C., & Giladi, N. (2007). Freezing of gait affects quality of life of peoples with Parkinson's
389 disease beyond its relationships with mobility and gait. *Movement Disorders*, 22(15), 2192-2195.

390 Moore, D. J., West, A. B., Dawson, V. L., & Dawson, T. M. (2005). Molecular pathophysiology of Parkinson's
391 disease. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 57-87.

392 Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease. (2003). The Unified
393 Parkinson's Disease Rating Scale(UPDRS): status and recommendations. *Movement disorders*, 18(7),
394 738.

395 Nieuwboer, A., Rochester, L., Herman, T., Vandenberghe, W., Emil, G. E., Thomaes, T., & Giladi, N. (2009).
396 Reliability of the new freezing of gait questionnaire: agreement between patients with Parkinson's
397 disease and their carers. *Gait & posture*, 30(4), 459-463.

398 Nussbaum, R. L., & Ellis, C. E. (2003). Alzheimer's disease and Parkinson's disease. *New England Journal of*
399 *Medicine*, 348(14), 1356-1364.

400 Oh, H. J., Youm, C. H., & Kim, T. H. (2011). Effects of Exercise-Induced Fatigue and Blocked Vision on
401 Postural Control during Upright Stance. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 21(3), 353-359.

402 Parkinson, J. (2002). An Essay on the Shaking Palsy. *Journal of Neuropsychiatry*, 14(2), 223-236.

403 Park, J. H., Son, K., & Kim, K. H. (2007). Chaos Analysis of Major Joint Motions for Young Males During
404 Walking. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, 31(8), 889-895.

405 Pelykh, O., Klein, A. M., Bötzel, K., Kosutzka, Z., & Ilmberger, J. (2015). Dynamics of postural control in
406 Parkinson patients with and without symptoms of freezing of gait. *Gait & posture*, 42(3), 246-250.

407 Raymakers, J. A., Samson, M. M., & Verhaar, H. J. J. (2005). The assessment of body sway and the choice of
408 the stability parameter(s). *Gait & Posture*, 21(1), 48-58.

409 Schaafsma JD., Balssh Y., Gurevich T., Bartels AL., Hausdorff JM., & Giladi N. (2003). Characterization of
410 freezing of gait subtypes and the response of each to levodopa in Parkinson's disease. *European*
411 *Journal of Neurology*, 10(4), 391-398.

412 Sturnieks, D. L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiologie*
413 *Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38(6), 467-478.

414 Schmit, J. M., Riley, M. A., Dalvi, A., Sahay, A., Shear, P. K., Shockley, K. D., & Pun, R. Y. (2006).
415 Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease.
416 *Experimental Brain Research*, 168(3), 357-367.

417 Vervoort, G., Nackaerts, E., Mohammadi, F., Heremans, E., Verschueren, S., Nieuwboer, A., & Vercruyse, S.
418 (2013). Which aspects of postural control differentiate between patients with Parkinson's disease
419 with and without freezing of gait?. *Parkinson's Disease*, 2013.

420 Wolf, A., Swift, J. B., Swinney, H. L., & Vastano, J. A. (1985). Determining Lyapunov exponents from a time
421 series. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 16(3), 285-317.

422 Youm, C. H., Park, Y. H., & Seo, K. W. (2008). Assessment of Single-leg Stance Balance Using COP 95%
423 Confidence Ellipse Area. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(2), 19-27.

424