KJS

Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(1): 83-91
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.1.83
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Developing an Biomechanical Functional Performance Index for Parkinson's Disease Patients

한국형 파킨슨 환자의 역학적 기능수행지수 개발

Sunghoon Shin[1], Byungin Han[2], Chulmin Chung[1], Yungon Lee[1,2]

[1]School of Kinesiology, Yeungnam University, Gyeongsan, South Korea
[2]Do Neurology Clinic, Daegu, South Korea

Received : 03 February 2020
Revised : 12 March 2020
Accepted : 13 March 2020

Corresponding Author
Sunghoon Shin
School of Kinesiology, College of Human Ecology & Kinesiology, Yeungnam University, 221ho, College of Human Ecology & Kinesiology (annex), 280 Daehak-Ro, Gyeongsan, Gyeongbuk, 38541, South Korea
Tel : +82-10-8940-2406
Fax : +82-53-810-4669
Email : sshin27@ynu.ac.kr

Objective: The study aimed to develop a functional performance index that evaluates the functional performance of Parkinson's patients, i.e., to integrate biomechanical measurements of walking, balance, muscle strength and tremor, and to use multiple linear regression with stepwise methods to identify the most suitable predictors for the progression of disease.

Method: A total of 60 subjects were tested for sub-variables of four factors: walking, balance, isometric strength and hand tremors. Potential independet variables were extracted through correlation analysis of the sub-variables and dependent variables, Hoehn & Yahr scale. And then, a stepwise multiple regression analysis using the potential independent variables was performed to identify predictor of Hoehn & Yahr scale.

Results: First, the results of the study showed that physical composition and gait had a relatively more correlated with the progression of the disease, compared to balance and hand tremor. Second, Parkinson's functional performance is characterized by dynamic pattern of walking, such as foot clearance and turning angle (TA) of walking, and a high-explained regression model is completed.

Conclusion: The study emphasized the importance of walking variables and body composition in minor pathological features compared to Parkinson's patient's balancing ability and hand tremor. Specifically, it revealed that dynamic walking patterns functionally characterize patients. The results are worth considering when assessing functional performance related to the progression of the disease at the site.

Keywords: Hoehn & Yahr score, Gait, Balance, Muscle strength, Tremor

INTRODUCTION

한국에서 파킨슨 환자가 가파르게 증가하고 있는 추세이다. 최근 "국민건강보험공단에 따르면 2010~2014년 파킨슨 진료 환자에 대한 진료비 지급자료에 의하면, 인구 10만 명당 진료 인원이 2010년 127.5명에서 지난해 168.5명으로, 연평균 7.2% 씩 증가하고 있다"고 한다(Lee, 2016 재인용). 파킨슨병은 주로 60대 이상에서 발병하기 때문에 고령화 사회로 접어든 한국에서 해마다 환자수가 급격히 증가할 것을 예상할 수 있다(Diederich, Moore, Leurgans, Chmura & Goetz, 2003; Reeve, Simcox & Turnbull, 2014). Park (2015)에 의하면 "대한파킨슨병 협회가 파킨슨병 환자의 보호자 121명을 대상으로 2016년도 4월 23일부터 6월말까지 실시한 '파킨슨병 환자 보호자 투병 관리조사'에 따르면 3단계 이후의 중증 환자의 경우 환자 개인뿐만 아니라 보호자의 (19.8%)가 직업을 포기하고, 유병기간 10년 이상의 환자 보호자의 미래에 선택의 폭을 제한하며 (60.7%), 70%가 경제적 어려움을 겪고 있다"고 보고하였다 (Park, 2015 재인용). 따라서 파킨슨병은 병의 발병 후 환자의

Copyright 2020 Korean Journal of Sport Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

치료뿐 아니라 보호자의 삶의 질을 유지하기 위해서라도 발병 위험성을 사전에 선재적으로 스크리닝할 수 있는 프로토콜의 개발이 중요하다. 이러한 프로토콜의 개발은 첫째, 사회적비용 감소, 둘째, 개인의 병적증세완화, 셋째, 케어시스템의 효율성 증대 측면에서 개발이 절실하다고 하겠다.

대표적인 운동장애(movement disorders)의 하나로 알려진 파킨슨 질환은 흑질(substantia nigra)의 불완전한 도파민 생성 및 작용으로 운동신경 피질의 자극이 감소되어 일어나는 신경퇴행성 질환이다(Meara & Bhowmick, 2000). 특히, 파킨슨 환자는 대뇌피질의 신경활성화의 수준이 낮아져서 움직임의 패턴이 단순해면서도 일관성을 유지하기에 어려움이 있으며 높은 주파수영역의 예민한 움직임에 한계가 있다(Ridgel, Vitek & Alberts, 2009). 현재 파킨슨병의 진행을 멈추거나 획기적으로 호전시킬 수 있는 약은 드물고, 병의 진행이 느리며 관리가 어렵기 때문에 질환으로서의 병의 치료법 개발 못지않게, 적절한 관리를 통해 병의 진행을 늦추고, 일상에서 운동기능을 유지하기 위해 기능수행의 수준을 정확히 평가하여 적절히 관리하는 것이 환자의 삶의 질을 유지하는데 중요하다(Schrag, Jahanshahi & Quinn, 2000). 또한 파킨슨 환자는 신체기능의 쇠퇴를 지연시키고 기능의 퇴행을 막기 위해 적절한 신체활동을 지속해야 하는데, 무엇보다도 일상생활에서의 기능수행을 평가하고 측정하는 것이 그들을 위한 적절한 운동프로그램을 설계하고 운동강도를 결정하는데 있어서 중요한 요소이다(Brusse, Zimdars, Zalewski & Steffen, 2005).

파킨슨 환자의 병증적 특징을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 신체이동과 관련하여 움직임이 느리며, 걸음걸이의 불균형, 좌우 비대칭 등이 관찰된다(Park, 2006). 둘째, 신체균형과 관련하여 불규칙적인 흔들림있고, 현기증(dizziness) 등이 나타나면서 자세 제어에 어려움을 겪는다(Park, 2002; Fox et al., 2011). 셋째, 안정시 떨림이 있다(Hallett, 2012; Vaillancourt & Newell, 2000). 넷째, 근력의 저하(Borges et al., 2013; Kakinuma, Nogaki, Pramanik & Morimatsu, 1998) 등이 현저히 드러난다. 이러한 병증적 특징은 과제의 특성에 따라 달라지는 경향이 있기 때문에 적절한 과제를 제시하여 이에 대한 수행 정도를 평가하는 것이 행동주의적 관점에서 효과적인 방법이다(Sheldon & Sheldon, 2000). 일반적인 파킨슨 환자의 운동장애 특징을 고려하여 기능수행을 네 가지 핵심 요소로 나누어보면 신체이동(gait or mobility), 신체균형(balance), 근력(muscle strength), 손떨림(Tremor)으로 나눌 수 있다(Bloem, Hausdorff, Visser & Giladi, 2004).

많은 선행연구들이 위 네 요소에 대해서 다양한 연구를 해왔지만 결과의 편차가 심하고 측정도구의 해상도와 일관성이 부족하여 운동기능의 다양한 레퍼토리를 담고 있지 못하며, 시공간적 측정변인이 별도로 측정되어 일상생활에서의 연속적인 움직임을 예측하는데 한계가 있다. 일반적으로 파킨슨 환자의 병증의 진행 정도는 미국에서 개발된 5점 척도인 Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS; Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease, 2003)이나 Hoehn and Yahr 등급으로 평가되며(Hoehn & Yahr, 1967), 그 외에 운동성 기능에 대한 전통적인 테스트들이 있어왔지만 주관적인 점수화의 한계로 평가의 일관성을 유지하기 어렵고(Post, Merkus, de Bie, de Haan & Speelman, 2005), 기존의 다양한 테스트 결과들이 동일 피험자로부터 측정된 것이 아니기 때문에 동등한 기준에서 종합적인 기능수행지수를 만들기 어렵다. 예를들어 Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS)의 사용은 무엇보다도 평가가 주관적이고 개인차가 있기 때문에 기능수행의 상태를 정확히 평가하거나 병의 진행에 따른 일상생활에서의 운동성 및 조작능력 등을 효과적으로 예측하는 데에 한계가 있으며 병의 진행에 의한 점진적 퇴행 및 약물로부터의 일시적 효과 혹은 단, 장기적인 운동으로부터의 효과 등과 구분짓기가 쉽지 않다. 이러한 한계를 극복하고, 증가추세에 있는 국내 파킨슨 환자의 일상에서의 기능수행과 관련된 삶의 질을 유지, 향상시키는 측면에서도, 환자들의 주요 증상을 기초로 기능수행력을 객관적이고 정확하게 나타낼 수 있는 기능수행지수를 개발하는 것은, 대부분이 고령자에게서 발병하는 특징을 가진 파킨슨병을 효과적으로 관리하는데 매우 중요하다.

파킨슨 환자의 병적증후에 따른 신체기능저하는 운동역학적 측정방법을 통해 쉽게 수치화할 수 있다(Morris, Huxham, McGinley, Dodd & Iansek, 2001). 따라서 파킨슨병에 대한 운동역학적 측정방법을 통한 관리 및 처치는 다른 질환에 비해서 보다 효과적이라고 할 수 있다(Geldenhuys, Guseman, Pienaar, Dluzen & Young, 2015; Xia, 2011). 운동역학적 측정은 주관적 점수화나 관찰에 비해서 훨씬 정밀하고 정확하며, 적절한 장비를 선택할 경우, 비전문가나 간병인도 간단한 측정 장비의 조작만으로도 병증에 대해서 비교적 정확하고 객관적으로 평가할 가능성이 있다. 따라서 요양병원이나 재활기관에서 여건상 의료진의 직접적인 케어를 받기 어려운 파킨슨 환자의 관리에도 도움이 될 수 있다. 하지만 이러한 장점에도 불구하고 측정방법 중 파킨슨 환자의 기능을 평가할 때 가장 필수적인 요소들이 무엇인지는 아직도 명확하지 않을 뿐만 아니라 골드스탠다드(gold standard)라고 할 수 있는 평가지수도 개발되지 않았다. 또한 평가의 내용들이 환자의 특징을 종합적으로 고려하기보다는 각각 독립적이고, 대부분 북미를 중심으로 국외에서 개발되었다.

따라서 앞에서 언급한 파킨슨 환자의 기능적인 네 가지 요소(보행, 균형능력, 근력, 손떨림)를 포함한 일련의 행동들을 객관적으로 측정 평가하여 기능평가 지수를 만드는 것은 일상생활에서 상대적으로 불편함을 느끼는 파킨슨 환자의 운동능력을 평가하고 일상생활에서의 기능수행을 가늠하여 적절한 운

동프로그램을 구성하거나 신체활동을 권장하는데 중요한 요소이다. 본 연구는 파킨슨 환자의 기능수행을 평가하는 4요소 즉, 보행, 균형능력, 근력, 손떨림의 운동역학적 측정을 통합하고, 중선형회귀모델을 활용하여 각 요소의 변인들 중 병의 진행 상태를 나타내는 Hoehn & Yahr 등급을 가장 잘 예측할 수 있는 기여변인을 반영한 역학적 기능수행지수개발을 목표로 하였다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구에는 앞서, 환자집단(20명)과 비환자집단(40명) 총 60명이 참여하였다. 연구대상자의 인구통계학적 특성은 (Table 1)과 같다. 본 실험은 IRB 승인을 받았으며, 실험참여자는 연구참여 동의서를 작성하였다.

2. 측정변인

1) 보행변인

보행 시 몸통 움직임의 패턴분석에 유용한 보행평가용 가속도계(GaitUp Physiology®5; Renens, Switzerland)를 활용하여 보행변인을 측정하였다. 실험은 30 m 거리를 왕복하며 선호속도로 6분 보행을 실시하였으며, Gaitup 가속도계를 통하여 측정된 변인은 각 보행 조건별로 보행능력(보행수행력) 변인과 보행가변성 변인으로 나누어 분석하였다. Gaitup 가속도계를 통해 수집된 보행수행력 변인은 제조사의 데이터시트에서 제공하는 보폭(step length), 활보장(stride length), 지지기부(support base), 스텝시간(step time), 스윙시간(swing time), 지지시간(stance time), 보간(step width), 스윙 넓이(swing width), 회전각(Turning angle; TA), MaxTC2 등의 평균값을 사용하였고, 위 변수들의 변동계수값(CV: Coefficient variance)을 보행가변성 변인으로 산출하였다. 특히, TA는 보행주기의 시작과 끝 사이의 방위각의 상대적인 변화(즉, 지면 (XY)의 방향 투영)로 정의되었다(Figure 1; Mariani et al., 2010).

$$\mathrm{TA}_n = \theta_n(N) - \theta_n(1) where\ \theta_n = R_{n|XY}$$

MaxTC2는 스윙되는 발의 앞꿈치 들림(toe clearance)의 궤적에서 이지시부터 착지시까지 반복적으로 발생하는 두 번째 피크점을 의미한다(Figure 1; Dadashi et al., 2013).

MtcS는 최소 앞꿈치 들림(일반적으로는 지면으로부터 1~2 cm)에서의 발속도 표준(Foot Speed Norm at minimal toe clearance (m/s))이다. 즉, 스윙되는 발의 발들림이 지면에서 최소일 때 발속도를 의미한다.

Table 1. Participants demographics

	PD group (n=20)	Controls (n=40)	Total (n=60)
Age (year)	71.65±6.83	74.18±5.19	73.33±5.85
Height (cm)	165.09±8.10	159.94±7.46	161.66±8.00
Weight (kg)	65.55±7.67	63.88±7.84	64.44±7.76
Gender (f/m)	7/13	26/14	33/27
BMI (kg/m^2)	24.11±2.84	25.09±3.35	24.76±3.20
Hoehn and Yahr stage	1.70±0.69	0.00±0.00	0.56±0.89
Skeletal muscle mass (kg)	26.28±4.80	23.29+4.01	24.28±4.48
Up and go test (sec)	10.4±2.52	8.78±1.85	9.32±2.21
Percent body fat (%)	26.69±8.97	32.40±8.42	30.50±8.95
WHR (%)	0.87±0.05	0.91±0.05	0.89±0.05
Swing (%)	37.78±2.39	39.62±2.31	39.01±2.48
mtcS (m/s)	3.51±0.53	3.89±0.44	3.76±0.50
TA (degree)	0.41±0.71	-0.20±1.06	0.50±0.55
MaxTC2 (m)	0.12±0.03	0.15±0.02	0.14±0.03

PD: Parkinson's disease

2) 기능적 이동성 검사(Functional mobility)

기능적 이동성을 평가하기 위해 업앤고 테스트(Up and Go Test) 테스트를 실시하였다(Brusse et al., 2005). 대상자가 의자에 앉은 자세에서 실험자가 신호를 주면 일어나서 2.44 m 떨어져 있는 반환점을 최대한 빠르게 돌아와서 의자에 다시 앉도록 지시하였고, 의자에 다시 앉는데 까지 걸린 시간을 측정하였다. 이 테스트는 순발력과 동적 평형성을 동시에 평가하기 위해 실시하였다.

3) 균형능력 분석(Balance analyses)

자세동요는 정지 상태에서의 비자발적인 움직임을 뜻하는 것으로 많은 선행연구에서 젊고 건강한 성인 남성의 압력중심은 움직임의 면적은 작지만 신호의 복잡성(complexity)은 큰 경향을 갖는다고 알려져 있다(Manor et al., 2010). 반면에, 움직임동요는 자발적인 리드미컬한 움직임을 규칙적으로 실시하는 것으로서, 일관적이고 정확하게 똑같은 움직임을 재현할 수 있는지 정도를 측정하여 얼마나 정확하게 체중이동을 제어할 수 있는지를 예상한다. 피험자들은 2대의 지면반력기에 좌우 한발씩 디디고, 2 m 전방에 눈높이를 응시하며, 30초 간 편안한 정적직립 자세를 유지하였다. 구체적인 측정변인은 선행연구를 참조하였다(Shin, Jang, Jang & Park, 2013).

4) 손떨림(Tremor) 변인

떨림은 이상운동질환 중 하나로 몸의 일부분 혹은 여러 부분에서 개별적인 근육이 교대로 또는 동시에 수축하여 규칙적으로 일정한 빈도를 가지는 진동성 운동이다(Chung, 2012). 파킨슨 환자의 떨림은 지속적으로 나타나기도 하고 증상이 심해졌다가 완화되는 변동적 양상을 보이기도 하는데, 주로 신체의 편측에서 간헐적으로 나타나고, 4~6 Hz대의 주파수를 가지며, 파킨슨 환자의 50~60%가 경험한다(Park, 2002, 2006; Chung, 2012). 3축 가속도계(356A01; PCB PIEZOTRONICS, NY, USA)를 통해 측정된 세(X, Y, Z) 방향의 가속도신호를 Welchi의 평균화되고 수정된 Periodogram 방법으로 0~40 Hz 범위 내에서 512 데이터점을 가진 Hanning window로 수집하였다. Matlab 2018B 프로그램으로 가속도신호의 파워스펙트럼을 산출하였고, 세 방향의 95%파워 주파수를 독립변인으로 각각 설정하였다(Morrison, Kerr, Newell & Silburn, 2008; Vaillancourt & Newell, 2000).

5) 근력변인

하지근력은 microfet3 (Hoggan Health Industries, West Jordan, UT)를 사용하여 측정하였다. Microfet3는 동력계의 압력 게이지를 기반으로 최대 힘을 측정하는 휴대용 힘 센서이며, 측정된 값은 뉴턴(N) 단위로 최대 890 N의 힘을 나타낼 수 있다(Clarke, DA Mhuircheartaigh, Walsh, Walsh & Meldrum, 2011). 하지근력으로 측정된 동작은 양발의 flexion iliopsoas, extension gluteus, abduction gluteus, flexion hamstring, extension femoris/vastus, plantar flexion, dorsiflexion이었다.

모든 동작은 마사지 침대 위에서 진행되었으며, microfet 제조회사의 매뉴얼에 따라 양쪽 하지의 근력이 측정되었다. 피험자는 각각의 근력을 3초 동안 최대 힘으로 3회씩 측정하는 것을 요청받았다. 측정 간 10초 간의 휴식시간을 두었으며, 3회씩 측정 후 피로를 피하기 위해 30초의 휴식시간으로 각 하지 부분의 측정을 구분하였고 최대값을 하지근력으로 정의하였다.

6) 악력, 손가락 힘, 신체조성 측정

악력계(Jama hand dynamometer, US) 손가락 힘 측정기(Jamar Hydraulic Pinch Gauge, US), 인바디 체성분분석기를 이용하여 악력, 손가락 힘(pinch force), 체지방량(body fat mass), 체지방률(percent body fat), 골격근량(skeletal muscle mass)을 측정하였다.

7) Hoehn & Yhar 점수 등급

환자의 병의 진행 등급에 따라 다음과 같이 전문가(신경과 전문의)에 의해서 등급을 매겼다.

점수	환자 상태
0	질병의 증후가 없음
1	일측성 상하지 장애
1.5	일측성 상하지 장애와 체간 장애가 있음
2	양측성 장애이나 균형장애는 전혀 없음
2.5	양측성 장애이며, 몸을 잡아당기는 검사에서 균형을 잡을 수는 있음
3	경도 및 중등도의 양측성 장애, 균형이 불안정, 그러나 독립적인 활동 가능
4	걷고 서기는 할 수 있으나 심각한 무능력 상태
5	휠체어를 타거나 침대에 누워 있어야만 하는 상태

Table 2. Spearman correlations

	Hoehn	Skeletal muscle mass	Up and go test	Speed	Percent body fat	WHR	Swing	mtcS	TA	maxTC2	TA (CV)	HSP (CV)	maxTC2 (CV)
HoehnHoehn and Yahr score	1												
Skeletal muscle mass	.322*	1											
Up and go test	.337**	-.012	1										
Walking speed	-.319*	.106	-.646**	1									
Percent body fat	-.320*	-.634**	.157	-.252	1								
WHR	-.306*	-.201	.149	-.168	.672**	1							
Swing	-.360**	.147	-.342**	.511**	-.050	.111	1						
mtcS	-.312*	.089	-.599**	.942**	-.151	-.103	.476**	1					
TA	.460**	.087	.015	.002	-.206	-.138	-.085	-.056	1				
maxTC2	-.325*	.164	-.471**	.614**	-.224	-.125	.277*	.510**	-.097	1			
TA (CV)	.351**	.052	.297*	-.250	-.055	-.066	-.175	-.311*	.490**	-.134	1		
HSP (CV)	.446**	.002	.513**	-.602**	.150	-.087	-.237	-.473**	.091	-.758**	.187	1	
maxTC2 (CV)	.398**	-.009	.359**	-.496**	.009	-.041	-.143	-.450**	.176	-.660**	.174	.826**	1

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

3. 통계분석

본 연구의 자료 분석을 위해 SPSS WIN 23.0 프로그램을 사용하였다. 자료처리 방법은 먼저, 빈도분석, 정규성검증과 스피어만 상관관계 분석을 실시하였고, Hoehn & Yhar 점수와 상관관계가 높은 잠재적인 독립변수를 추린 후, 최종적으로 Hoehn & Yhar 점수에 대한 다중회귀분석을 실시하였다. 본 연구에서 유의수준은 $p<.05$로 설정하였다.

RESULTS

1. 정규성 검증 및 상관관계 분석

먼저 1차적으로 본 연구에 이용된 연속변수들에 대한 정규성 및 변수들 간의 관련성을 살펴보기 위해 상관관계 분석을 통해 데이터의 1차스트리닝을 실시하였다. 기술분석 결과에 의하면 각 변인들의 첨도는 -0.867에서 1.312였고, 왜도는 -1.363에서 1.700의 범위에 있으므로 정규성을 확인하였다(West, Finch & Curran, 1995). 상관관계 분석에서, 종속변수 Hoehn & Yahr 점수와 유의한 상관관계를 보인 독립변수 12개를 추린 후, 종속변수를 포함한 총 13개의 주요변인에 대한 스피어만 상관관계분석을 실시하였다. 분석결과는 (Table 2)와 같다. 이때 각 독립변인들 간의 상관관계를 확인하여 다중공선성이 발생했을 경우에는 Hoehn & Yahr 점수와 상관이 높은 변인은 남기고, 나머지 변인은 제거하였다.

2. 다중회귀분석

Hoehn & Yhar 점수를 종속변인으로 스크리닝된 독립변수에 대한 최종 단계적회귀분석의 결과는 (Table 3)와 같다. 최종모델은 약 64%의 설명력으로 TA 값과 Max_TC2 (CV) 값이 파킨슨 환자의 기능수행적 특성을 가장 잘 대변하는 측정변인임을 보여주었다.

3. 회귀식 및 기능지수

회귀식 Y=0.726+0.707(TA)+0.371(max_TC2(CV))이 산출되었다. 회귀식에 의해 구해진 기능지수는 그룹 간 유의한 차이가 있었으며(파킨슨: 1.87±.54 vs. 대조군: 1.31±.74, $p<.01$), Hoehn & Yhar 점수와 뚜렷한 상관관계를 나타내었다($r=.51$, $p<.001$).

Table 3. Multiple linear regression

Model	*R*	R^2	*F*	Sig. ΔF	Variables	β	SE
1	.640	.410	11.122**	.004	TA_mean	.640	.942
2	.799	.639	13.264**	.000	TA_mean Max_TC2 (CV)	.525 .492	.761

TA: Turning angle, Max_TC2: Max.2 toe clearance
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

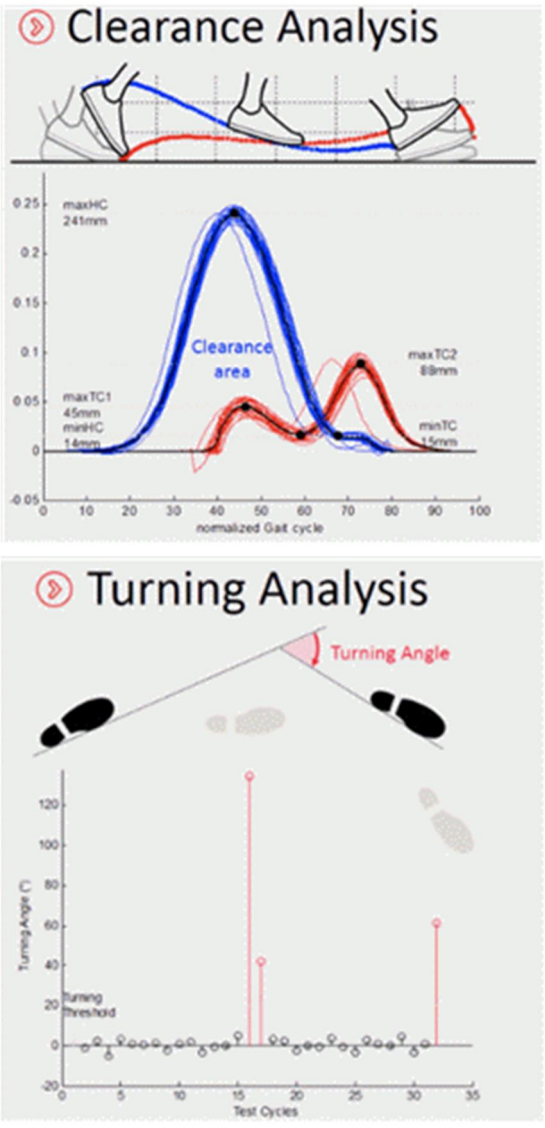

Figure 1. MaxTc2 and TA (copied from Gaitup manuals)

DISCUSSION

본 연구는 파킨슨 환자의 주요 증상을 기초로, 기능수행을 평가하는 4요소(즉, 보행, 균형, 근력, 손떨림)의 운동역학적 하위 측정변인들을 수집하고, 중선형회귀모델을 활용하여 기능수행을 가장 잘 대변하는 예측변인을 산출하여 기능지수를 개발하는 것을 목표로 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

먼저 Hoehn & Yhar 점수를 종속변인으로한 상관분석결과, 골격근량(kg), 체지방률(%), WHR (%) 등의 체성분변인들이 Hoehn & Yhar 등급과 높은 상관을 보임으로써 파킨슨 환자의 기능지수에서 신체조성을 함께 고려해야 한다는 사실을 확인하였다. 하지만 골격근량이 높을 때, Hoehn & Yarh 점수가 높은 점(점수가 높을 수록 중증도가 높음)과 체지방이 높은 경우에도 Hoehn & Yarh 낮은 점은 일반적으로 예상했던 결과와는 다소 차이가 있었다. 실제로 두 그룹 간 골격근량은 파킨슨 환자군이 26.28±4.80 vs. 23.29±4.01 kg (mean ± SD), $p<.05$)로 다소 높게 나타났으며, 반대로 체지방량은 26.69±8.97 vs. 32.40 ±8.42% ($p<.05$)로 다소 낮게 나타났다. 이러한 원인은 본 연구에 참여한 파킨슨 환자가 Hoehn & Yhar 등급, 1.7±0.69 (mean ± SD)의 비교적 경증 환자였기 때문에, 초기 발병 후 병의 급격한 진행을 막기 위한 운동 및 신체활동참여가 상대적으로 높았기 때문으로 판단된다. 본 연구에서 피험자들의 운동프로그램에 참여는 완전히 통제하지 못하였다. Cano-de-la-Cuerda, Pérez-de-Heredia, Miangolarra-Page, Munoz-Hellín & Fernández-de-las-Penas (2010)의 리뷰연구에 의하면 파킨슨 환자에게서 isokinetic muscle strength가 감소되었음을 밝혔으나 체성분의 변화가 기능수행의 직접적인 원인인지는 명확히 알 수 없다고 하였다.

본 연구에서 주목할만한 결과는, Hoehn & Yarh 등급과 높은 상관을 보이는 하위변수 중 50% 이상이 보행관련 변수라는 점과 최종회귀모델에서 보행, 균형, 근력, 손떨림 4요소의 하위변수 중 대부분의 잠재적 예측변인은 제거되고 파킨슨 환자의 병의 진행과 관련한 기능수행의 실제 예측변인은 보행의 하위변인인 TA와 Max_TC2 (CV)였다는 점이다(Figure 1). 두 변인이 포함된 최종모델이 상대적으로 비교적 큰 64%의 설명력을 가지고 파킨슨 환자의 기능수행을 대변하고 있다는 사실로부터 초기 파킨슨 환자의 기능을 예측하는 방법으로 보행을 통한 진단프로토콜이 효과적일 수 있다는 사실을 암시한다. 특히, cadence 또는 step length 등의 일반적으로 잘 알려진 변수가

아니라 회전각이나 일반적인 스윙 시 발들림(foot clearance) 등의 공간변수들이 파킨슨 환자를 건강한 노인들과 보다 확연히 구분짓고 있다. 따라서 파킨슨 환자의 기능평가 중 보행능력 평가가 보다 강조되어야 하며, 방향전환이나 이동 중 이지, 착지 시의 안정성과 관련된 변수 등의 중요성을 감안하여 평가 프로토콜의 내용이 보다 세분화되어야 할 것이다.

본 연구에서 회전 각(TA)은 보행주기의 시작과 끝 사이의 방위각의 상대적인 변화(즉, 지면(XY)의 방향 투영)로 정의되었다(Mariani et al., 2010). Mariani et al. (2010)는 젊은 성인과 노인의 6분 보행연구에서 6축 가속도계를 통해 수집된 보행변인을 비교한 결과, 두 집단 간 보행 중 회전각에서 확연한 차이(노인: 1.9±4.7 vs 젊은 성인: 1.3±7.4(°))를 보인다고 밝히면서, 회전각을 통한 보행능력 평가의 필요성을 강조하였다. Mariani et al. (2010)는 Gaitup의 초기버전을 활용한 연구에서 8자턴 보행을 통해 영상분석(vicon 카메라)을 활용한 데이터와 높은 급내상관계수값(R=0.99)을 갖는다는 점을 보여주었는데, 이 방법은 stride length(활보장, R=0.96), Foot clearance(발들림, R=0.92), Stride velocity(보행속도, R=0.97) 보다 높은 수치로서 파킨슨 환자의 보행연구에서 안정적이고 신뢰도 높은 측정방법으로 여겨진다. 하지만 Mariani et al. (2010)의 연구에서 "U-trun"과 "8-turn"의 복합적인 프로토콜의 사용을 통해 얻어진 결과를 본 연구의 결과와 직접 비교할 수는 없다. 본 연구에서는 30 m 주로를 왕복하는 과제를 수행했기 때문에 그들의 프로토콜과 차이가 있다.

본 연구에서 파킨슨 환자의 기능수행에서 일반인과 가장 두드러진 차이는 방향전환 시의 회전각과 함께 maxTC2로 나타났다. 따라서 파킨슨 환자의 보행상의 어려움은 하지원위부의 조절능력 저하 및 다이나믹한 운동방향의 변화와 관련이 있다는 것을 알 수 있다. Dadashi et al. (2014)은 1,400명의 노인으로부터 수집된 2,011개의 데이터 샘플을 활용한 foot clearance 연구에서 maxTC1(스윙되는 발의 앞꿈치 들림(toe clearance)의 궤적에서 이지시부터 착지 시에 발생하는 첫 번째 피크)과 maxTC2에서 남녀 간의 차이가 확연하다는 것을 밝혔다. 그들은 일반적인 보행분석에서 가장 중요한 변인으로 여겨지는 gait speed와 별개로 foot clearance의 하위변인인 maxTC1와 maxTC2 변인이 각각 anklle dorsiflexsion과 장애물 통과와 밀접하게 관련이 있으며, 특히 maxTC2는 최대 발꿈치 높이와도 높은 상관관계가(r=0.68) 있기 때문에 장애물 넘기 시 안전한 발의 궤적을 계획하는데 필수적이라고 강조하였다. 최근에 Alcock, Galna, Lord & Rochester (2016)은 파킨슨 환자의 건강한 노인들의 비교연구에서 foot clearence의 뚜렷한 차이가 관찰되었다고 밝혔는데, 본 연구에 참여한 파킨슨 환자들의 Hoehn & Yhar 점수가 비교적 낮은 경증의 환자임에도 불구하고 그들의 foot clearnce의 감소와 불안정성(증가된 CV)을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 파킨슨 환자의 병의 진행과 관련된 기능적 상태 특성을 가장 잘 나타내는 변인은 보행관련 변수임을 밝혔는데, 이는 초기 환자의 병적증후를 판단하는데 중요한 의미를 담고 있으며 향후 보행능력 개선을 통해 병의 진행에 따른 근신경계의 쇠퇴를 늦추는 운동프로그램을 구상하는데 중요한 근거를 제공하리라 판단된다. 특히 초기 파킨슨 환자는 이동 중 안전을 도모하는 여러 가지 조치가 필요할 것으로 판단되며, 안전성 확보방안으로 방향전환이나 발들림을 안전하게 유도하는 장비의 개발 등을 고려해 볼 수 있을 것이다. 하지만 상대적으로 적은 수의 경증환자를 대상으로 한 본 연구결과를 독립적인 거동이 거의 불가능한 중증 환자를 포함한 모든 파킨슨 환자에 확대 적용하기는 어렵다. 또한 본 연구에서 이중과제 수행 여부는 고려하지 않았다. 실생활에서 장애물 넘기, 핸드폰 통화 등과 같이 이중과제 수행으로 과제수준이 높아질 때, 안정적인 foot clearance가 확보되지 않은 파킨슨 환자가 위험에 처할 가능성은 더욱 높아질 것으로 예상된다. 따라서 파킨슨 환자의 보행특성을 명확히 이해하기 위해서는 이중과제 수행 여부가 foot clearance에 영향을 미친다고 가정하면, 이에 따른 foot clearance에 변화에 의해 회귀모델의 설명력이 얼만큼 커지는지에 대한 후속연구도 필요하리라 판단된다.

CONCLUSION

본 연구는 파킨슨 환자의 네 가지 기능 요소, 즉, 신체이동(gait or mobility), 신체균형(balance), 근력(muscle strength), 손떨림(Tremor)의 하위 변인들을 활용하여 다중회귀분석을 통해 환자의 병의 진행과 관련하여 기능적 상태 특성을 가장 잘 특징지을 수 있는 기능지수를 개발하는 것이었다. 연구가설을 검증한 결과로부터 얻어진 결론은 다음과 같다. 경증 파킨슨 환자의 병적증후는 연구결과 얻어진 회귀식 (Y=0.726+0.707 (TA)+0.371 (max_TC2(CV)))으로부터 구해진 기능지수를 통해 나타낼 수 있으며, 이 때, 기능지수는 보행의 다이나믹한 변수들로 특징 지어졌다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-S1A5A2A201722255).

REFERENCES

Alcock, L., Galna, B., Lord, S. & Rochester, L. (2016). Characterisation of foot clearance during gait in people with

early Parkinson? s disease: Deficits associated with a dual task. *Journal of Biomechanics*, *49*(13), 2763-2769.

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

Borges, E. D., Silva, M. S., Bottaro, M., Lima, R. M., Allam, N. & Oliveira, R. J. D. (2013). Isokinetic muscle strength of knee extensors in individuals with Parkinson's disease. *Fisioterapia em Movimento*, *26*(4), 803-811.

Brusse, K. J., Zimdars, S., Zalewski, K. R. & Steffen, T. M. (2005). Testing functional performance in people with Parkinson disease. *Physical Therapy*, *85*(2), 134-141.

Cano-de-la-Cuerda, R., Pérez-de-Heredia, M., Miangolarra-Page, J. C., Munoz-Hellín, E. & Fernández-de-las-Penas, C. (2010). Is there muscular weakness in Parkinson's disease? *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 89*(1), 70-76.

Chung, S. J. (2012). Diagnosis and treatment of hand tremor. *Journal of Korean Medical Association, 55*(10), 987-995.

Clarke, M. N., DA Mhuircheartaigh, N., Walsh, G. M., Walsh, J. M. & Meldrum, D. (2011). Intra-tester and inter-tester reliability of the MicroFET 3 hand-held dynamometer. *Physiotherapy Practice and Research*, *32*(1), 13-18.

Dadashi, F., Mariani, B., Rochat, S., Bula, C. J., Santos-Eggimann, B. & Aminian, K. (2013). Gait and foot clearance parameters obtained using shoe-worn inertial sensors in a large-population sample of older adults. *Sensors*, *14*(1), 443 -457.

Diederich, N. J., Moore, C. G., Leurgans, S. E., Chmura, T. A. & Goetz, C. G. (2003). Parkinson Disease With Old-Age Onset: A Comparative Study With Subjects With Middle-Age Onset. *Archives of Neurology*, *60*(4), 529-533.

Fox, S. H., Katzenschlager, R., Lim, S. Y., Ravina, B., Seppi, K., Coelho, M. ... & Sampaio, C. (2011). The Movement Disorder Society Evidence-Based Medicine Review Update: Treatments for the motor symptoms of Parkinson's disease. *Movement Disorders*, *26*(S3), S2-S41.

Geldenhuys, W. J., Guseman, T. L., Pienaar, I. S., Dluzen, D. E. & Young, J. W. (2015). A novel biomechanical analysis of gait changes in the MPTP mouse model of Parkinson' disease. *PeerJ*, *3*, e1175.

Hallett, M. (2012). Parkinson's disease tremor: pathophysiology. *Parkinsonism & Related disorders*, *18*, S85-S86.

Hoehn, M. M. & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: onset, progression, and mortality. *Neurology*, *17*(5), 427-442.

Kakinuma, S., Nogaki, H., Pramanik, B. & Morimatsu, M. (1998). Muscle weakness in Parkinson' disease: isokinetic study of the lower limbs. *European neurology*, *39*(4), 218-222.

Lee, H. J. (2016). Parkinson's disease patients, suicide risk, twice as many healthy people... "You have to take care of your heart and health". http://health.chosun.com/site/data/html_dir/2016/10/04/2016100401378.html

Manor, B., Costa, M. D., Hu, K., Newton, E., Starobinets, O., Kang, H. G. ... & Lipsitz, L. A. (2010). Physiological complexity and system adaptability: evidence from postural control dynamics of older adults. *Journal of Applied Physiology*, *109*(6), 1786-1791.

Mariani, B., Hoskovec, C., Rochat, S., Büla, C., Penders, J. & Aminian, K. (2010). 3D gait assessment in young and elderly subjects using foot-worn inertial sensors. *Journal of Biomechanics*, *43*(15), 2999-3006.

Meara, J. & Bhowmick, B. K. (2000). *Parkinson's disease and parkinsonism in the elderly: introduction.* In: Meara J, Koller WC, eds. Parkinson's Disease and Parkinsonism in the Elderly. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press; 22-53.

Morris, M. E., Huxham, F., McGinley, J., Dodd, K. & Iansek, R. (2001). The biomechanics and motor control of gait in Parkinson disease. *Clinical Biomechanics*, *16*(6), 459-470.

Morrison, S., Kerr, G., Newell, K. M. & Silburn, P. A. (2008). Differential time-and frequency-dependent structure of postural sway and finger tremor in Parkinson's disease. *Neuroscience Letters*, *443*(3), 123-128.

Movement Disorder Society Task Force on Rating Scales for Parkinson's Disease (2003). The Unified Parkinson's Di-sease Rating Scale (UPDRS): Status and recommendations. *Movement Disorders*, *18*(7), 738-750.

Park, H. S. (2015). Patients and families with Parkinson's disease, severe financial and mental burden. Healthy life. https://www.hidoc.co.kr/healthstory /news/C0000106236

Park, K. W. (2002). Hand Tremor and Parkinson's Disease. *Journal of Korean Medical Association*, *45*(9), 1137-1146.

Park, K. W. (2006). Parkinsonism vs. Parkinson's disease, *Korean Journal of Clinical Geriatrics*, *7*(3), 327-334.

Post, B., Merkus, M. P., de Bie, R. M., de Haan, R. J. & Speelman, J. D. (2005). Unified Parkinson's disease rating scale motor examination: are ratings of nurses, residents in neurology, and movement disorders specialists interchangeable? *Movement disorders*, *20*(12), 1577-1584.

Reeve, A., Simcox, E. & Turnbull, D. (2014). Ageing and Parkinson's

disease: why is advancing age the biggest risk factor? *Ageing Research Reviews*, *14*(100), 19-30.

Ridgel, A. L., Vitek, J. L. & Alberts, J. L. (2009). Forced, not voluntary, exercise improves motor function in Parkinson's disease patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *23*(6), 600-608.

Schrag, A., Jahanshahi, M. & Quinn, N. (2000). What contributes to quality of life in patients with Parkinson's disease?. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *69*(3), 308-312.

Sheldon, B. & Sheldon, B. (2000). *Cognitive-behavioural therapy: Research, practice, and philosophy.* London: Routledge.

Shin, S., Jang, D. G., Jang, J. G. & Park, S. H. (2013). The effect of age and dual task to human postural control, *Korean Journal of Sports Biomechanics*, *23*(2), 169-177.

Vaillancourt, D. E. & Newell, K. M. (2000). The dynamics of resting and postural tremor in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*, *111*(11), 2046-2056.

West, S. G., Finch, J. F. & Curran, P. J. (1995) Structural Equation Models with Non Normal Variables: Problems and remedies. In: Hoyle, R.H., Ed., Structural Equation Modeling: Concepts, Issues, and Applications, Sage, Thousand Oaks, 56-75.

Xia, R. (2011). Physiological and biomechanical analyses of rigidity in Parkinson's disease. Etiology and Pathophysiology of Parkinson's Disease. Vienna, Austria: InTech, 485-506.