KJSB Korean Journal of Sport Biomechanics 2020; 30(3): 255-264
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2020.30.3.255
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Development of New Balance Evaluation Index through Biomechanical Verification for Healthy Elderly

운동역학적 검증을 통한 건강한 노인의 새로운 균형평가지표 개발

Pyoung-Hwa Choi[1], Sukhoon Yoon[2]

[1]Department of Physical Education, Graduate School of Korea National Sport University, Seoul, South Korea
[2]Department of Community Sport, Korea National Sport University, Seoul, South Korea

Received : 17 August 2020
Revised : 25 August 2020
Accepted : 27 September 2020

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: The purpose of this study is to develop new balance evaluation index that can discriminate fall risk factors and provide effective interventions for healthy elderly. In order to conduct this study, the balance assessment tools (TUG, mCTSIB, OLST, FRT and BBS) currently used in clinic were re-evaluated using biomechanical analysis.

Method: The participants were healthy elderly people over 65 years old, n=26, age: 69.31±3.13 years; height: 154.00±4.12 cm, body weight: 56.13±6.04 kg. The variables are length of CoM-BoS, length of CoP-BoS, range of CoP, mean distance of CoP, mean frequency of CoP, root mean square of CoP, joint angle, ASM (%SL), CoP-CoM angle.

Results: As a result of this study, the following items were included in the list of new balance evaluation index for the healthy elderly, showing differences in the biomechanical evaluation based on the clinical evaluation (Inclusion list: TUG, OLST, 8th assessment item of BBS (reaching forward with outstretched arm), 11th item (turning 360 degrees), 13th item (standing with one foot in front), 14th item (standing on one foot)).

Conclusion: Based on the results, the new balance evaluation index for the healthy elderly determined through this study can be used to prevent the fall by evaluating the balance ability in various situations that can be experienced in the normal daily life of the healthy elderly.

Keywords: Healthy elderly, Fall, Biomechanics, Balance assessment

INTRODUCTION

65세 이상의 노인은 낙상 위험 환경에 노출 시 신체적 노화로 인해 낙상 빈도가 높으며, 이러한 노인 낙상의 주요 원인은 장애물 등에 의한 외부 상황에 대처하지 못하여 나타나는 환경적 요인과 근력약화, 균형감각 손실, 시력저하 등의 내적인 요인 때문이라고 보고되고 있다(Hausdorff, Rios & Edelberg, 2001; Rubenstein, 2006; Jensen, Nyberg, Gustafson & Lundin-Olsson, 2003; CDC, 2018; American Geriatrics Society [AGS], British Geriatrics Society [BGS] & American Academy of Orthopaedic Surgoens [AAOS] Panel on Falls Prevention, 2001). 노인 낙상의 내적 요인들은 주로 노화로 인한 감각체계와 정보처리 과정의 쇠퇴 때문에 발생되며 이러한 결과로 노인들은 균형을 유지하는 것이 어려워지게 되고 환경적인 위험에 직면하였을 때 낙상을 빈번히 발생시킨다고 알려져 있다(Light, 1990; Shumway-Cook & Woollacott, 2001; Teasdale, Stelmach & Breunig, 1991; Woollacott, Shumway-Cook & Nashner, 1986). 균형감각이란 공간상에서 신체의 움직임에 대한 감각정보의 입력과 이에 따른 적절한 근골격계의 반응을 의미하며 감각정보 처리 과정이 포함되는 복잡한 운동조절 작업이다(Kisner, Colby

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.

& Borstad, 2017). 따라서 노화로 인한 균형능력의 소실은 낙상 발생률을 증가시키며, 낙상에 의한 골절, 신체활동 및 낙상의 경험에 따른 보행 시 자신감을 감소시키는 결과를 발생시킨다고 보고되고 있다(Gerdhem, Ringsberg & Åkesson, 2006; Iwamoto et al., 2009; Jansson & Söderlund, 2004). 그러나 노화에 따른 균형능력 소실로 나타나는 낙상은 허약한 노인들뿐만 아니라 독립적인 일상생활이 가능한 건강한 노인들에게도 발생할 수 있기 때문에(Piirtola & Era, 2006) 균형능력 감소의 초기 단계에서 이것을 발견하고 문제를 해결하기 위한 노력은 낙상에 의한 노인들의 상해 예방차원에서 매우 중요하다고 할 수 있다(Pajala et al., 2008; Whitney, Lord & Close, 2005).

현재 노인들의 균형평가를 위하여 임상 현장에서는 다양한 균형평가도구들이 사용되고 있다. 이러한 임상평가도구들은 노인들의 유연성, 근력, 지구력, 감각체계 등을 통한 균형능력을 반영하고 있으며 노인들의 낙상예방 지표로서의 신뢰도와 타당도가 입증되어 왔다. 그러나 대부분의 평가도구들이 독립적 일상생활이 힘든 연약한 노인들을 대상으로 만들어진 도구들이기 때문에 이것들을 건강한 노인들에게 적용할 때 천장효과를 나타내고 있으며 평가 난이도 조절에 대한 문제점들이 제기되고 있다. 또한 임상 평가도구들의 많은 평가요인들이 평가자의 주관적인 판단으로 결정될 뿐만 아니라 하나의 임상 균형평가도구가 다른 평가요인들을 포함하고 있어 하나의 평가도구만을 사용할 경우 그 결과가 정확한 균형평가를 나타내고 있다고 말하는데 어려움이 있을 수 있다(Nardone, Schieppati & Schmid, 2004; Cowley & Kerr, 2003). 예를 들어 TUG (Time up & go), OLST (One leg standing test), DGI (Dynamic gait index)와 mCTSIB (Modified clinical test for sensory interaction in balance) 등과 같은 노인들의 균형을 평가하는 임상평가도구들은 정량적으로는 평가되는 장점은 있으나 평가 준거가 너무 낮아 건강한 노인들의 균형을 평가하기에는 어려움이 있을 것으로 생각된다. 또한 노인들의 균형평가도구로서 가장 많이 사용되고 있는 Berg Balance Test (BBS)의 경우 9번과 10번 항목은 각각 "선 자세에서 바닥의 물건을 집어들기"와 "서 있는 동안 좌우로 고개 돌리기"를 평가하는 것이며 9번 항목의 경우 만점인 4점과 하위 점수인 3점 평가규정은 각각 "안전하고 쉽게 물건을 집어 올릴 수 있다"와 "관리를 요하며 물건을 집어 올릴 수 있다"이다. 이 두 동작의 경우 대상자가 같은 동작을 실시했음에도 불구하고 평가자의 주관적인 판단에 따라 점수의 차이가 유발될 수 있음을 알 수 있으며, 10번 항목의 경우에도 평가의 규정이 "고개를 잘 돌리는지" "고개를 덜 돌리는지" 등으로 결정되어 평가자의 주관성이 크게 작용함을 알 수 있어 객관적인 평가가 힘들다고 생각된다.

최근 임상 현장에서 사용되고 있는 균형평가도구와는 다르게 동작분석과 지면반력분석의 정량적 데이터를 사용하여 노인의 균형을 평가하고 예측하는 연구가 많이 수행되고 있다 (Botolfsen, Helbostad, Moe-Nilssen & Wall, 2008; Mancini & Horak, 2010; Pajala et al., 2008). 정량적 데이터를 가지고 평가하는 실험기반의 균형평가는 임상평가에 비하여 고가의 측정기자재와 넓은 평가장소가 필요한 단점은 가지고 있으나 자세제어의 객관적이고 민감한 분석이 가능할 뿐 아니라 전신 균형제어의 효과 또한 평가가 가능하다고 보고되고 있다(Lawson et al., 2015; Jang, Hsiao & Hsiao-Wecksler, 2008). 이 평가는 임상 균형평가에 비하여 낙상 위험예측 민감도가 높기 때문에 균형제어의 미세한 결함에 대한 중요한 정보를 추가로 제공할 수 있고 따라서 건강한 대상자의 낙상 위험요인을 식별하기 위한 견고한 접근 방법으로 보고되고 있으며(Bhatt, Espy, Yang & Pai, 2011; Granata & Lockhart, 2008; Lockhart & Liu, 2008), 낙상경험의 유무와 관계없이 미래의 낙상 위험을 예측하기 위해 많이 사용되고 있다(Stel, Smit, Pluijm & Lips, 2003; Maki, Holliday & Topper, 1994).

따라서 실험기반의 균형평가는 임상기반 균형평가의 결과를 재평가할 수 있는 명확한 도구라고 생각되며 본 연구의 목적은 현재 임상에서 사용하고 있는 균형평가도구들을 동작분석 및 지면반력 통한 실험기반의 균형평가로 재평가하여 건강한 노인을 대상으로 사용할 수 있는 변별력이 있으며 낙상 위험요인 파악에 효율적인 중재를 제시할 수 있는 새로운 임상 균형평가지표를 개발하는데 있다.

METHOD

1. 참여자

본 연구에서는 65세 이상 독립적 일상생활이 가능하며 TUG 검사 결과가 12초 미만인 한 건강한 노인 여성 26명(나이: 69.31±3.13 yrs, 키: 154.00±4.12 cm, 몸무게: 56.13±6.04 kg)을 연구대상자로 선정하였다. 모든 대상자는 연구의 내용과 목적에 대하여 충분한 설명을 듣고 자발적으로 동의한 자만 연구에 참여하였다. 대상자들에게 연구자의 대학교 생명윤리위원회에 의해 승인(승인번호: 20181214-077)된 연구 참여 동의서를 받아 수행하였으며, 그 후 신장, 체중, 나이에 대한 정보를 수집하였다. 본 연구의 통계적 검증을 확보하기 위하여 대상자 수는 G-Power software (version 3.1.9.3, Universitat Kiel, Germany)를 통해 산출하였다(α=0.05, power=0.80, effect size=0.50, sample size=26).

2. 자료 수집

본 연구의 목적을 수행하기 위하여 임상에서 사용되고 있는 대표적인 5가지 균형평가도구들(Tug, mCTSIB, OLST, FRT, BBS)에 대한 3차원 동작분석이 실시되었다. 3차원 동작분석은 8대

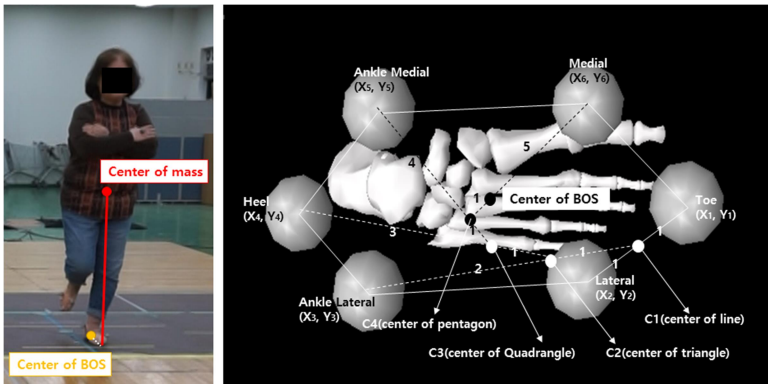

Figure 1. Center of mass & center of BOS (base of support)

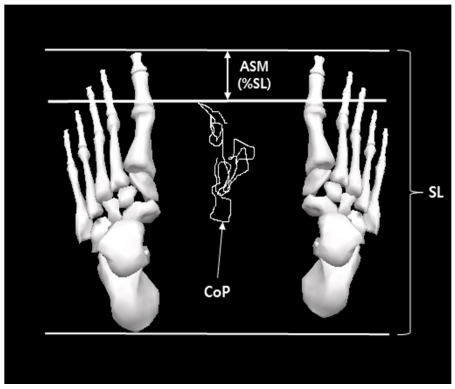

Figure 2. Anterior stability margin

의 적외선 카메라(Oqus 300, Qualisys, Sweden)와 1대의 지면반력기(BP12001200, AMTI, USA)를 사용하여 수행되었으며 이때 샘플링율은 적외선 카메라 100 Hz, 지면반력기는 1,000 Hz로 설정하였다. 자료 수집을 위해 Qualisys Track Manager (QTM, Qualisys, Sweden)이 사용되었으며, 적외선 카메라, 지면반력기의 동조는 A/D board 간 internal trigger 케이블을 연결하여 QTM 프로그램에 의해 통제하였다.

실험에 앞서 모든 연구대상자에게 충분한 웜업이 실시되었으며, 각 연구대상자는 정적 균형평가인 OLST와 mCTISIB 그리고 동적 및 기능적 균형평가인 FRT와 BBS를 수행하였다. 각 평가도구 내 수행 과제가 중복됨으로 인한 천장효과가 나타나지 않도록 동일한 수행 과제는 한 번씩 수행하였으며, 측정 사이 충분한 휴식을 통해 피로하지 않도록 하였다. 또한 임상평가는 결과의 정확성을 확보하기 위하여 1인의 공인 물리치료사가 평가하였다.

동작 중 선택 분절을 규명하기 위하여 정적인 균형평가(OLST, mCTSIB)의 경우 발에 총 12개의 마커를 부착하였으며, 동적 평가 시에는 전신에 총 41개의 마커(marker)와 5개의 클러스터(cluster)를 분절에 부착하였다.

3. 자료분석

3차원 동작분석을 통하여 동작 중 운동학 및 운동역학적 물리량이 취득되었으며, 이것들을 이용해 임상 균형평가의 각 항목별 재평가를 위한 다음의 운동역학적 변인들이 계산되었다.

1) 신체중심(CoM)과 기저면(BoS)중심의 변위(length of CoM-BoS)

지면 지지 동안 BoS 중심과 CoM 사이의 전후/좌우 방향의 변위(Ryu, Yoo, Park & Yoon, 2012, Figure 1).

2) 압력중심점(CoP)과 BoS 중심의 변위(length of CoP-BoS)

지면 지지 동안 BoS 중심과 CoP까지의 전후/좌우 방향의 변위.

3) CoP 범위(range of CoP)

지면 지지 동안 전후/좌우 방향 CoP의 최대값, 최소값의 차이.

4) 압력중심점의 평균이동 변위(mean displacement of CoP, MDIST)

현재의 CoP로부터 지지구간 평균 CoP를 뺀 값의 변위. 즉, 각 프레임에서 위의 Cop 위치를 구할 수 있으며 시간에 따른 다음 프레임과의 차이(Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett & Myklebust, 1996).

5) 전방안전성여유(Anterior Stability Margin, ASM (%SL)

기저면의 전방 경계인 발가락 끝과 CoP 전방 최대 위치 사이의 변위를 발 길이(2nd toe to heel)로 표준화시킨 값(Figure 2).

6) CoP와 CoM의 좌우 기울기 각도(CoP-CoM angle)

CoP와 CoM을 연결한 벡터가 CoP의 수직 축과 만드는 각도(Hof, van Bockel, Schoppen & Pstema, 2007).

4. 통계처리

임상기반 균형평가 시 나타난 결과와 운동역학적 변인 간의 관계를 검증하기 위하여 상관분석(Pearson's *r*)이 실시되었으며, 균형평가의 척도가 범주형 일 때는 Known Group Validity을 활용하였다. Known Group Validity는 one-way ANOVA와 independent *t*-test를 활용하였다. 통계적 유의수준은 모두 α=.05로 설정하였다.

RESULTS

본 연구의 목적을 수행하기 위하여 임상기반 가장 대표적인 균형평가도구인 TUG, mCTSIB, OLST, FRT, BBS 평가를 3차원 동작분석 동시에 실시하였다. mCTSIB의 경우 전체 4가지 항목(1. Eye Open, Firm Surface, 2. Eye Open, Firm Surface, 3. Eye Open, Foam Surface, 4. Eye Closed, Foam Surface)에서 모든 대상자들이 만점인 30초를 기록하여 추후 검증에서 제외되었다.

1. 임상기반 균형평가도구들의 항목별 세부 점수

임상기반 균형평가도구들의 평가 점수는 Table 1과 같다. BBS의 경우 총 14개의 항목 중 10개의 항목(1. Sitting to standing, 2. Standing unsupported, 3. Standing unsupported, 4. Standing to sitting, 5. Transfer, 6. Standing with eye closed, 7. Standing with feet together, 9. Retrieving object from floor, 10. Turning to look behind, 12. Placing alternate foot on stool)에서

Table 1. Mean (SD) of single balance assessment scores and BBS assessment score

Name (unit)	Score	BBS item	Score
TUG (sec)	10.37±0.90	8. Reaching forward with outstretched arm	3.73±0.45
OLST (sec)	32.39±22.51	11. Turning 360 degrees	3.89±0.32
FRT (cm)	27.58±4.20	13. Standing with one foot in front	3.88±0.32
		14. Standing on one foot	3.50±0.89

Note. Values are mean ± SD

Table 2. Correlation between score and biomechanical variables

Variables (unit)		OLST		FRT	
		Pearson *r.*	*p*	Pearson *r.*	*p*
Range of CoP (cm)	AP	-.217	.297	.665*	.000
	ML	-.355	.082	.456*	.019
MDIST (cm)	AP	-.393	.052	.480*	.013
	ML	-.432*	.031	.403*	.041
	Resultant	-.422*	.035	.513*	.007
Max length of CoM-BoS (cm)	AP	–	–	.702*	.000
	ML	–	–	.083	.694
Mean length of CoP-BoS (cm)	AP	-.253	.233	–	–
	ML	-.617*	.001	–	–
ASM (%)		–	–	-.623*	.001
Shoulder flex. (degree)		–	–	.132	.529
Trunk rot. (degree)		–	–	.293	.146
Hip flex. (degree)		–	–	.447*	.022

Note. *indicates significantly correlate at *α=0.05

Table 3. Mean (SD) of biomechanical variables between points in BBS 11th item

Variables (unit)	3 points	4 points	*p*
Number of step (n)	6.33±1.15	5.52±0.59	.056
Mean of CoP-CoM angle_P1 (degree)	4.97±0.67	5.09±1.64	.902
Mean of CoP-CoM angle_P2 (degree)	3.90±2.16	5.09±1.64	.215
Mean of CoP-CoM angle_P3 (degree)	3.90±2.16	5.09±1.64	.010*
Mean of CoP-CoM angle_P4 (degree)	4.20±1.99	1.88±1.50	.022*
Mean of CoP-CoM angle_P5 (degree)	2.48±2.44	4.41±1.64	.080

Note. *indicates significant differences between points at *α=0.05, P1: 1st foot contct~2nd foot off, P2: 2nd foot contact~3rd foot off, P3: 3rd foot contact~4th foot off, P4: 4th foot contact~5th foot off, P5: 5th foot contact~6th foot off

Table 4. Mean (SD) of biomechanical variables between points in BBS item

Variables (unit)		8th item		13th item		14th item	
		3 points	4 points	3 points	4 points	3 points	4 points
Range of CoP (cm)	AP	7.25±1.93	9.87±1.37*	7.14±1.46	4.80±1.80*	6.47±1.80	5.36±1.31
	ML	3.41±0.93	4.25±1.72	4.43±0.70	4.35±0.75	7.05±4.60	3.69±0.62*
MDIST (cm)	AP	5.93±2.66	8.79±2.73*	5.96±2.29	5.22±1.94	0.73±0.38	0.63±0.21
	ML	2.70±1.30	3.57±2.20	6.10±3.19	5.65±1.68	0.65±0.33	0.59±0.14
	Resultant	6.87±2.89	9.92±3.11*	9.49±4.13	8.61±2.37	1.07±0.54	0.95±0.26
Max length of CoM-BoS (cm)	AP	4.60±2.02	7.23±1.75*	–	–	–	–
	ML	3.38±1.15	2.97±1.63	–	–	–	–

Note. *indicates significant differences between points at *α=0.05

대상자들이 4점 만점을 기록하여 변별력을 나타내지 못하였으며 대상자 간 차이가 나타난 4개의 항목들만 제시되었다. 본 연구에서 건강한 노인그룹을 선별하는 검사로 사용된 TUG는 평균, 표준편차는 10.37±0.90초로 대상자들 모두 선별검사 기준인 12초 이내의 기록이였으며, 따라서 본 연구의 선별검사로 실시하였을 때 제외된 인원은 없었다.

2. 임상기반 균형평가 결과와 운동역학적 변인과의 상관분석

균형평가 시 차이가 나타났던 항목들을 운동역학적 분석 결과와 상관분석을 실시하였다. 이 때, 대상자들이 모든 항목에서 만점을 기록하였던 mCTSIB와 BBS 내 10가지 항목은 통계분석에서 제외하였다.

1) OLST 평가도구

주동발로 지지하는 외발서기를 실시하였으며, OLST 평가 기록과 변인 간의 상관계수는 Table 2와 같다. 연구 결과 OLST 시간 기록은 MDIST와 mean length of CoP-BoS와 통계적으로 유의한 부적 상관관계를 나타내었다(Table 2, $p<.05$).

2) FRT 평가도구

기능적 뻗기 검사는 동적 균형능력 측정을 위한 검사 방법으로 고정된 지지면 위에 양 발을 어깨 너비로 벌려 선 자세에서, 팔을 최대로 뻗은 거리를 재서 처음과 마지막 지점 간의 거리 차를 측정하는 평가이다. 제자리에서 팔을 앞으로 뻗은 거리는 평균 27.58 cm, 표준편차 4.20 cm를 기록하였으며, FRT 평가 시의 거리 기록과 변인 간의 상관계수는 Table 2와 같다. 연구 결과 FRT 거리 기록은 range of CoP, MDIST, max length of CoM-BoS 그리고 hip flex angle과 통계적으로 유의한 정적

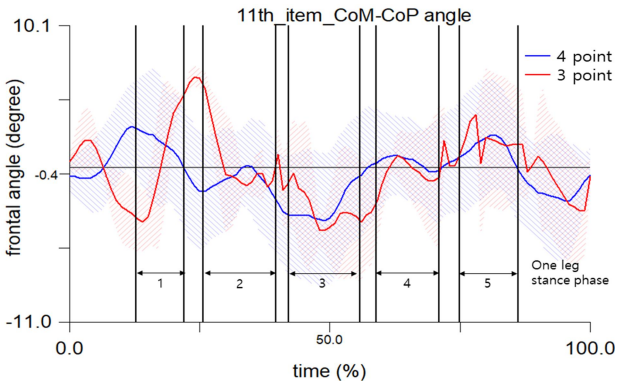

Figure 3. CoM-CoP angle between points at frontal plane

인 상관관계를 나타내었으며, AMS와는 통계적으로 의미 있는 부적인 상관관계를 나타내었다(Table 2, $p<.05$).

3) BBS 평가도구

버그균형척도는 일상생활 동작을 응용한 14개의 항목으로 구성되어 있으며 앉기, 서기, 자세변화 3가지로 나누어져 최소 0점에서 최고 4점을 적용해 총 56점 만점이다. 이 중에 대상자 간 차이가 나타났던 8번째, 11번째, 13번째, 14번째 항목들을 임상 점수를 기준으로 통계분석을 실시한 결과는 Table 3과 Table 4와 같다. BBS 내 검사 목록 중 11번째인 Turning 360 degrees의 경우 만점인 4점 집단과 3점 집단 사이에서 3국면과 4국면에서 통계적으로 유의한 평균 CoP-CoM angle 차이가 나타났다(Table 3, $p<.05$).

BBS 내 검사 목록 중 13번째인 Standing with one foot in front (tandem standing)의 경우 점수 별 집단 평균값에서는 전후 range of CoP에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(Table 4, $p<.05$).

DISCUSSION

균형능력의 확보는 노인들의 삶의 질을 위해 중요한 부분이나, 노인들의 경우 적절한 감각정보 입력의 부족과 근골격계의 반응인 감각정보 처리능력 감소로 인해 균형조절능력이 떨어져 낙상 발생률이 높아지게 된다. 당연히 이러한 노화로 인한 균형능력의 소실은 독립적인 일상생활이 가능한 건강한 노인에게도 나타나기 때문에, 초기 단계에서 균형문제를 식별하여 조기 발견하는 것이 중요하다. 그러나 현재 건강한 노인들의 균형조절능력의 상태를 변별하고, 원인을 규명할 수 있는 평가지표는 마련되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구는 주로 노인들을 대상으로 이루어지고 있는 임상기반 균형평가도구들의 동작분석을 통해 건강한 노인에게도 적용 가능한 낙상 위험 평가지표를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 임상기반 균형평가도구 5가지에 포함된 총 19개의 동작 중 건강한 노인 대상자 간 차이가 나타난 12개의 동작에 대한 동작분석 및 지면반력분석을 실시하였으며, 압력중심점(center of pressure)을 중심으로 한 균형평가 분석이 이루어졌다.

본 연구에서는 임상기반 가장 대표적인 균형평가도구인 TUG, mCTSIB, OLST, FRT, BBS 평가를 실시하였다. 선별검사로 사용된 TUG 평가는 일어서기(sit to stand), 걷기(gait), 회전(turn), 앉기(stand to sit)의 여러 동작이 복합된 포괄적인 평가로 시간에 따른 기능변화를 보여주는 객관적인 수단이며 주로 하위그룹을 식별하기 위한 선별검사로 유용하다고 보고되고 있어 본 연구에서도 동일하게 사용하였다(Podsiadlo & Richardson, 1991). Shumway-Cook, Brauer & Woollacott (2000)의 연구를 통해 수정되어진 TUG 평가지와 미국의 STEADI 프로그램의 하위그룹 선별기준에 의하면 각각 13.5초, 12.0초 이상을 기록할 때 낙상의 위험이 높다고 보고하였다. 이를 기준으로 하였을 때 본 연구의 대상자들은 모두 12.0초 미만을 기록하였으며 평균 10.37±0.90초로 낙상의 고위험군에 속하지는 않은 것으로 판명되었다.

외다리서기 검사인 OLST는 선 자세에서 정적 균형능력을 측정하는 도구로써 검사장소에 제한을 받지 않으며 특별한 장비 없이 간단하게 평가할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 보건소 및 대학병원 건강검진 시 균형능력평가에서 주로 사용되고 있다(Jeong, Park, Choi, Lee & Kim, 2011). 본 연구를 수행한 결과 양 발로 균형을 평가하는 mCTSIB의 경우 모두가 만점을 받은 반면 OLST 평가는 피험자의 30%만이 만점을 기록하여 건강한 노인들 사이에서 변별력이 있는 도구임을 증명하였다. 특히 본 연구에서 사용한 mCTSIB 평가 도구의 경우 감각입력을 통제하였음에도 불구하고 건강한 노인들의 불안정성에 영향을 미치지 못하고 있었으며 평가도구의 난이도 때문에 건강한 노인들을 대상으로 한 낙상 예측지표로는 적합하지 않다고 생각된다. 본 연구에서는 임상평가와 더불어 OLST의 기록과 운동역학적 변인들과의 상관관계 검증을 수행하였는데 OLST의 기록이 좋을수록 지지구간에서 CoP의 좌우 평균이동거리(MDIST_ML)와 CoP와 BoS 중심까지의 좌우 변위가 작아지는 것을 알 수 있었다(Table 2, $p<.05$). 이러한 본 연구의 결과는 건강한 노인들 중 균형능력이 좋은 노인들이 외발서기의 시작과 동시에 좌우 체중이동전략을 사용하며 관련근육인 엉덩관절의 모음근, 벌림근을 계속 반응한 결과로 보여지며, Sefton et al. (2009)이 그들의 연구에서 밝힌 자세 조절능력이 좋을수록 CoP의 좌우 속도가 느려진다는 결과와 Hof et al. (2007) 등이 밝힌 동적안정성을 유지하기 위해서는 엉덩관절의 모음근, 벌림근의 신경근 반응이 민감하게 계속 반응하게 하는 전략을 사용해야 한다는 결과와 유사한 형태를 보인다. 그리고 신체

중심의 움직임을 반영하는 CoP와 BoS 중심까지의 좌우 변위가 균형능력이 좋을수록 짧게 나타나 CoP를 BoS 중심에서 좌우로 크게 벗어나지 않게 유지하여 몸의 흔들림(동요)이 작게 발생하였음을 보여주고 있다고 생각된다. 더불어 OLST와 동일한 동작인 BBS의 14번째 평가항목(Standing on one foot)의 경우에도 점수가 높을수록 압력중심점의 좌우 방향 움직임 범위가 작게 나타났다(Table 4, $p<.05$). 그러나 BBS 내에서의 외발서기 평가는 시간 기록이 평가기준이 10초로 OLST의 60초 기준보다 낮게 설정되어 OLST의 경우 30%가 만점을 기준에 도달한 반면 BBS 14번째 평가항목에서는 70%가 만점을 기록하여 평가의 난이도가 다름을 보여주고 있다. 따라서 본 연구에서 밝혀진 외발서기동작은 건강한 노인들의 균형평가에 대한 변별력을 가지고 있는 것으로 보여지며 건강한 노인을 위한 적절한 난이도 설정이 필요할 것으로 생각된다.

기능적 팔 뻗기 검사인 FRT 평가는 팔을 앞으로 뻗어 도달하는 거리를 측정하는 임상평가로서 도달하는 거리와 동적 안정성은 양적 상관관계를 나타낸다고 알려져 있다. 본 연구 결과 건강한 노인들은 FRT 평가에서 거리의 차이를 나타내었으며(Table 1), FRT 평가 기록과 운동역학적 변인들 사이에서도 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내었다(Table 2, $p<.05$). Range of CoP, max length of CoM-BoS, 그리고 MDIST는 FRT 평가의 기록이 좋을수록 큰 결과를 나타내었는데, 이러한 이유는 건강한 노인들이 전방으로 팔을 멀리 뻗으려고 했기 때문이라고 생각되어진다. 특히 본 연구에서 FRT 평가 결과와 엉덩관절 굽힘각도는 양적 상관관계를 나타내었는데(Table 2, $p<.05$), 이것은 연구대상자들이 팔을 더 뻗기 위하여 엉덩관절 굽힘 각도를 증가시켜 신체중심을 전방으로 이동시키는 전략을 사용한 것으로 생각되어진다. 엉덩관절을 굽히면서 팔을 뻗게 되면 신체중심이 전방으로 이동함에 따라 회전하려는 토크가 발현되고 이로 인한 흔들림이나 불안정이 발생하게 된다. 그러나 본 연구에서 건강한 노인 연구대상자들은 넘어짐이 없이 평가를 수행하였고 이러한 결과는 엉덩관절 굽힘전략을 사용할 때 발생하는 흔들림이나 불안정함을 하지와 엉덩이 근육의 활성화로 제어하고 자세를 유지하면서 움직임을 진행한 것으로 생각된다. 본 연구에서 FRT 평가 시 ASM을 계산하였다. ASM은 기저면의 전방 경계와 CoP 전방 최대 위치 사이의 변위를 정량화 한 값으로 본 연구 결과 팔을 뻗는 길이가 길어질수록 통계적으로 유의하게 짧아지는 ASM을 나타내었다(Table 2, $p<.05$). Portnoy, Reif, Mendelboim & Rand (2017)과 Row & Cavanagh (2007)은 압력중심점과 기저면의 ASM이 작을수록 균형조절능력이 좋고 클수록 동작을 끝까지 수행하기 위한 움직임의 불안함을 나타내게 된다고 보고하고 있으며 본 연구의 결과로 볼 때 ASM의 값은 대상자의 균형에 대한 자신감 정도를 반영할 수 있다고 생각되어진다. 따라서 동적인 움직임이 일어나는 FRT 평가는 전후 방향의 균형조절과 엉덩관절의 각도에 따른 하지의 근력 정도의 차이를 볼 수 있어 움직인 거리 기록에 따라 건강한 노인들의 낙상 위험 평가지표에 포함될 수 있을 것이라고 판단되어진다.

BBS 평가는 총 14가지의 평가항목으로 구성되어 있으며 일상생활 속에서의 정적 및 동적 균형 모두를 평가할 수 있는 도구이다. 이 평가는 각각 측정 점수의 총점을 통해 측정되며, 각 평가항목은 쉼 없이 측정되기 때문에 연속적인 움직임이 요구되었을 때의 균형유지 능력을 평가하는데 용이하다고 알려져 있다(Berg, Maki, Williams, Holliday & Wood-Dauphinee, 1992). 본 연구에서 14가지 평가항목 중 10가지 항목은 모든 대상자들이 만점을 획득하여 본 연구의 분석에서 제외되었다. 또한 변별력을 보인 4가지 평가항목 중 8번째와 14번째 항목은 노인대상 단일 균형평가인 OLST 평가와 FRT 평가와 동일한 동작이었으며, 본 연구 결과 건강한 노인들을 대상으로 할 때 BBS 평가 보다는 단일 평가동작이 보다 변별력을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다(Table 2 & 4).

BBS의 11번째 평가항목인 Turning 360 degrees는 제자리에서 360도 회전하는 상태의 동적 균형능력 시간으로 평가하는 것으로 본 연구에서는 이마면에서의 좌우 CoP-CoM angle을 분석하였다. 본 연구 결과 항목의 만점인 4점을 받은 집단이 3점을 받은 집단에 비하여 3국면에서는 통계적으로 유의하게 큰, 4국면에서는 통계적으로 유의하게 작은 좌우 기울기 각도를 나타내었다(Table 3, $p<.05$). CoP-CoM angle을 개발한 Lee & Chou (2006)에 의하면 노인들에 있어서 좌우 기울기 각도가 클수록 보행 시 안정성이 감소해 낙상의 위험성을 높이며, 이 기울기 각도는 보행 평형성 평가에 효과적이라고 제시하였다. 그러나 본 연구의 3국면과 4국면에서는 다른 결과를 나타내었는데, 이러한 결과는 보행구간의 지지면만을 분석한 Lee & Chou (2006)의 연구와는 상황이 다르기 때문이라고 생각된다. 즉, BBS 평가의 11번째 항목은 제자리에서 360도를 회전하는 동작으로 빠르게 동작을 수행하기 위해서는 연속적인 회전이 부드럽게 연결되며 이루어져야 하는데, 만점 그룹은 동작을 수행하는 동안 (+) 방향인 반대편으로 기울이는 동작으로 부드럽게 동작이 이어져 3국면에서 각도가 크게 증가한 반면, 3점을 받은 그룹은 다음 발을 딛기 위한 체중이동이 적절히 이루어지지 않았기 때문에 3국면에서 정적 안정성은 증가하였으나 이러한 정적 안정으로 인하여 연속적으로 이루어지는 4국면에서 각도의 변화가 나중에 급격하게 일어나는 양상을 보였다. 이러한 결과는 시간을 표준화한 그래프에서 점수에 따른 그룹의 차이가 확연히 드러났다(Figure 3). 이러한 결과로 볼 때 균형조절능력이 떨어질수록 회전 시 신체중심의 움직임을 예측하기 어렵고 안정성이 감소해 낙상의 위험 가능성이 높다고 판단된다. BBS의 13번째 평가항목인 Standing with one foot in front는 발을 앞뒤로 놓아 일직선이 된 상태에서의 정적 균형능력을 평가하는 것으로 만점 집단에 비하여 3점 집단이 더

큰 CoP 움직임을 나타내었다(Table 4, $p<.05$). 즉, 이 항목의 평가 시 균형조절능력이 좋은 대상자일수록 움직임에 대한 발목의 굽힘, 폄 근육에 대한 빠른 신경근 반응 때문에 적은 압력 중심점의 전후 움직임 범위가 나타난 것으로 생각되며(Winter, 2009), 건강한 노인들의 전후 방향 균형조절능력을 평가하기에 적절한 것으로 생각된다. 결론적으로 임상에서 노인 균형평가로 가장 많이 사용되는 BBS 평가도구는 신체에 특별한 질환이 없고 독립적인 일상생활이 가능한 건강한 노인의 경우, 평가동작 자체의 난이도가 낮아 본 연구의 모든 대상자들의 점수가 52~56점에 분포하고 있어 천장효과가 나타남을 증명하였다. 따라서 건강한 대상자의 평가를 위해서는 기록의 차이가 있었고 단일 평가와 중복되지 않는 11번째, 14번째 동작만이 대상자들의 균형능력의 차이를 변별할 수 있을 것이라 생각되어 진다.

CONCLUSION

본 연구는 현재 임상에서 가장 많이 사용되는 5가지의 노인 균형평가도구들이 독립적인 일상생활이 가능한 건강한 노인에게도 변별력을 가지는지 알아보고, 운동역학적 검증을 통해 건강한 노인들에게 적용 가능한 새로운 임상 균형평가지표를 개발하는데 그 목적이 있었다. 본 연구의 수행 결과 선별검사로서 TUG, 평가검사로서 OLST, FRT, BBS 11번째, 13번째 항목들이 건강한 노인들을 위한 새로운 낙상 위험 평가지표 목록에 포함되었다. 본 연구를 통해 결정된 건강한 노인들을 위한 새로운 낙상 위험 평가지표는 건강한 노인들의 일반적인 일상생활에서 경험할 수 있는 여러 상황에서의 균형능력을 평가하여 낙상 예방에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 이러한 항목에 대한 세밀한 평가규정에 대한 완성이 추후 연구에서 필요하다고 생각된다. 또한 mCTSIB 평가의 경우 건강한 노인들을 대상으로 평가하였을 때, 감각 입력을 통제하였음에도 불안정성에 영향을 끼치지 못하여 본 지표에서 제외되었다. 그러나 mCTSIB 평가는 노화와 함께 나타나는 노인들의 감각시스템의 손상 정도를 파악할 수 있는 유일한 평가도구이다. 따라서 발을 앞뒤로 놓아 일직선이 된 상태 등의 자세로 mCTSIB를 수정하여 평가가 이루어진다면 건강한 노인들을 위한 새로운 낙상 위험 평가지표로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is extracted from Pyoung-hwa Choi's Doctoral Dissertation.

REFERENCES

American Geriatrics Society, British Geriatrics Society & American Academy of Orthopaedic Surgeons Panel on Falls Prevention (2001). Guideline for the prevention of falls in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, *49*(5), 664-672.

Berg, K. O., Maki, B. E., Williams, J. I., Holliday, P. J. & Wood-Dauphinee, S. L. (1992). Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *73*(11), 1073-1080.

Bhatt, T., Espy, D., Yang, F. & Pai, Y. C. (2011). Dynamic gait stability, clinical correlates, and prognosis of falls among community-dwelling older adults. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *92*(5), 799-805.

Botolfsen, P., Helbostad, J. L., Moe-Nilssen, R. & Wall, J. C. (2008). Reliability and concurrent validity of the Expanded Timed Up-and-Go Test in older people with impaired mobility. *Physiotherapy Research International*, *13*(2), 94-106.

CDC (2018). http://health.cdc.go.kr/health/mobileweb/content/group_view.jsp?currentPage=4&CID=3C7D749993, Accessed May 03.

Cowley, A. & Kerr, K. (2003). A review of clinical balance tools for use with elderly populations. Critical *Reviews in Physical and Rehabilitation Medicine*, *15*(3), 167-205.

Gerdhem, P., Ringsberg, K. A. & Åkesson, K. (2006). The relation between previous fractures and physical performance in elderly women. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *87*(7), 914-917.

Granata, K. P. & Lockhart, T. E. (2008). Dynamic stability differences in fall-prone and healthy adults. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *18*(2), 172-178.

Hausdorff, J. M., Rios, D. A. & Edelberg, H. K. (2001). Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *82*(8), 1050-1056.

Hof, A. L., van Bockel, R. M., Schoppen, T. & Postema, K. (2007). Control of lateral balance in walking: experimental findings in normal subjects and above-knee amputees. *Gait & Posture*, *25*(2), 250-258.

Iwamoto, J., Suzuki, H., Tanaka, K., Kumakubo, T., Hirabayashi, H., Miyazaki, Y. ... & Matsumoto, H. (2009). Preventative effect of exercise against falls in the elderly: a randomized controlled trial. *Osteoporosis International*, *20*(7), 1233-1240.

Jang, J., Hsiao, K. T. & Hsiao-Wecksler, E. T. (2008). Balance (per-

ceived and actual) and preferred stance width during pregnancy. *Clinical Biomechanics*, *23*(4), 468-476.

Jansson, S. & Söderlund, A. (2004). A new treatment programme to improve balance in elderly people--an evaluation of an individually tailored home-based exercise programme in five elderly women with a feeling of unsteadiness. *Disability and Rehabilitation*, *26*(24), 1431-1443.

Jensen, J., Nyberg, L., Gustafson, Y. & Lundin-Olsson, L. (2003). Fall and injury prevention in residential care—effects in residents with higher and lower levels of cognition. *Journal of the American Geriatrics Society*, *51*(5), 627-635.

Jeong, T. G., Park, J. S., Choi, J. D., Lee, J. Y. & Kim, J. S. (2011). The effects of sensorimotor training on balance and muscle activation during gait in older adults. *The Journal of Korean Physical Therapy*, *23*(4), 29-36.

Kisner, C., Colby, L. A. & Borstad, J. (2017). Therapeutic exercise: foundations and techniques. Fa Davis.

Lawson, T., Morrison, A., Blaxland, S., Wenman, M., Schmidt, C. G. & Hunt, M. A. (2015). Laboratory-based measurement of standing balance in individuals with knee osteoarthritis: A systematic review. *Clinical Biomechanics*, *30*(4), 330-342.

Lee, H. J. & Chou, L. S. (2006). Detection of gait instability using the center of mass and center of pressure inclination angles. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *87*(4), 569-575.

Light, K. E. (1990). Information processing for motor performance in aging adults. *Physical Therapy*, *70*(12), 820-826.

Lockhart, T. E. & Liu, J. (2008). Differentiating fall-prone and healthy adults using local dynamic stability. *Ergonomics*, *51*(12), 1860-1872.

Maki, B. E., Holliday, P. J. & Topper, A. K. (1994). A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *Journal of Gerontology*, *49*(2), M72-M84.

Mancini, M. & Horak, F. B. (2010). The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, *46*(2), 239.

Nardone, A., Schieppati, M. & Schmid, M. (2004). Chapter 7: *Assessment of posture and balance in aging and disease. Advances in rehabilitation*, Maugeri Foundation Books-I libri della fondazione Maugeri.

Pajala, S., Era, P., Koskenvuo, M., Kaprio, J. Törmäkangas, T. & Rantanen, T. (2008). Force platform balance measures as predictors of indoor and outdoor falls in community-dwelling women aged 63~76 years. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *63*(2), 171-178.

Piirtola, M. & Era, P. (2006). Force platform measurements as predictors of falls among older people - a review. *Gerontology*, *52*(1), 1-16.

Podsiadlo, D. & Richardson, S. (1991). The timed "Up &Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*, *39*(2), 142-148.

Portnoy, S., Reif, S., Mendelboim, T. & Rand, D. (2017). Postural control of individuals with chronic stroke compared to healthy participants: Timed-Up-and-Go, Functional Reach Test and center of pressure movement. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, *53*(5), 685-693.

Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G. & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *43*(9), 956-966.

Row, B. S. & Cavanagh, P. R. (2007). Reaching upward is more challenging to dynamic balance than reaching forward. *Clinical Biomechanics*, *22*(2), 155-164.

Rubenstein, L. Z. (2006). Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age and Ageing*, *35*(suppl_2), ii37-ii41.

Ryu, J. S., Yoo, S. H., Park, S. K. & Yoon, S. H. (2012). Comparisons between skilled and less-skilled players' balance in hakdariseogi. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *22*(1), 55-63.

Sefton, J. M., Hicks-Little, C. A., Hubbard, T. J., Clemens, M. G., Yengo, C. M., Koceja, D. M. & Cordova, M. L. (2009). Sensorimotor function as a predictor of chronic ankle instability. *Clinical Biomechanics*, *24*(5), 451-458.

Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. (2001). Theory and Practical Applications.

Shumway-Cook, A., Brauer, S. & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, *80*(9), 896-903.

Stel, V. S., Smit, J. H., Pluijm, S. M. & Lips, P. (2003). Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. *Journal of Clinical Epidemiology*, *56*(7), 659-668.

Teasdale, N., Stelmach, G. E. & Breunig, A. (1991). Postural sway characteristics of the elderly under normal and altered visual and support surface conditions. *Journal of Geron-*

tology, *46*(6), B238-B244.

Whitney, J. C., Lord, S. R. & Close, J. C. (2005). Streamlining assessment and intervention in a falls clinic using the Timed Up and Go Test and Physiological Profile Assessments. *Age and Ageing*, *34*(6), 567-571.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.

Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A. & Nashner, L. M. (1986). Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *The International Journal of Aging and Human Development*, *23*(2), 97-114.