

정상성인에 대한 정적 및 동적 자세균형제어의 정량적 분석

신용일*·김연희*·김남균

= Abstract =

A Quantitative Assessment of Static and Dynamic Postural Sway in Normal Adults

Y.I. Shin*, Y.H. Kim*, N.G. Kim

Postural balancing in human is known to be maintained by the complex mechanism coupled with cerebellum, equilibrium organ of ear, proprioception and other various organs.

We developed a Computerized Balance Evaluation and Training system(COBET system) to evaluate postural control and to rehabilitate geriatrics and disabled patients. In addition, 55 normal adults were tested to investigate the influencing factors on balancing posture.

For the analysis of static postural sway, areas of the moving center of pressure were calculated under 8 different positions of subjects. And subjects were also asked to follow the visual targets on monitor for the evaluation of the dynamic postural sway.

In comparison of the first and the second sets of tests, there was test-retest reliability($p < 0.05$). The controllability of the static postural sway was decreased as the ages of subjects increase. When the ages of subjects are over 60, the controllability was significantly decreased. The dynamic postural sway was significantly greater in the age groups of 7th and 8th decade than the younger groups.

It is concluded that COBET system is a reliable system in the evaluation of postural sway. The COBET system is considered to be a valuable training modality for the disabled patients as well as the elderly.

Key words : Postural balance, Force platform, Computerized balance evaluation and training system(COBET system)

서론

균형(balance)은 평형을 유지하는 능력 또는 지지면 위에서 신체의 중심을 유지하는 능력을 말하며, 신체의 자세균형유지(postural balance control)에는 전정기관 및 소뇌의 평형기능, 근골격계의 지지작용, 운동기능 및 감각기능 등이 기여한다[1,2]. 최근 평균 수명의 연장에 따른 노령인구의 증가로 이 연령층에서 자세균형제어력의 저하로 인한 낙상사고의 빈도가 높아지고 있다. 또한 뇌

졸중 및 외상성 뇌손상 등의 중추신경계 손상과 근골격계의 질환에 따른 자세균형제어력의 손실이 환자의 재활치료에 많은 어려움을 초래함에 따라 자세균형제어에 관한 관심이 높아지고 있는 추세이다[3-15].

1982년 Hamrin 등은 뇌졸중 환자에서 근력 및 자세균형의 제어능력저하가 이들의 보행훈련 등의 재활치료에 장애가 된다고 보고하였으며[16], 1985년 Era 등은 자세균형유지에 고령화, 빈약한 신체적 조건 및 위해로운 환경요소가 영향을 준다고 하였다[17]. 1984년 Ruskin 등

전북대학교 의과대학 의공학교실

Dept. of Biomedical Engineering, College of Medicine, Chonbuk National University

*전북대학교 의과대학 재활의학교실

*Dept. of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Chonbuk National University

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구비에 의하여 연구되었음(과제번호 94-0403-13)

통신저자 : 김남균, (561-180) 전북 전주시 덕진구 금암동 산2-20, 전북대학교 의과대학 의공학교실,

Tel. (0652)70-2246, Fax. (0652)70-2247

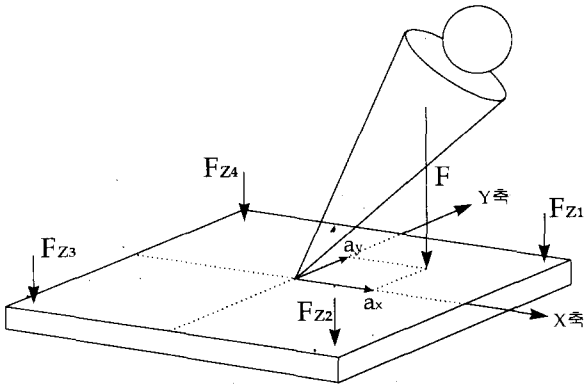


그림 1. 힘판의 측정원리
Fig. 1. The measurement principle of force platform

이 자세균형제어에 대한 임상적 평가지표를 제시한 이래 많은 평가방법이 제안되었는데, 객관성과 정량적 분석의 측면에서 평가해 볼 때 문제점을 내포하고 있다[7,10,14, 18,19]. 최근에는 힘판(force platform)을 이용하여 신체 압력중심(COP:center of pressure)의 변화를 측정함으로써 자세균형제어력을 정량화하고 정적균형과 동적균형을 측정하게 되었으며, 이를 이용한 자세균형제어력을 훈련하는 시스템이 개발되어 임상적 사용과 연구가 현실화되어 있다[3,10,18,20-23].

이에 본 연구에서는 힘판을 이용하여 정상 성인의 정적 및 동적 자세균형제어능력을 다양한 자세에서 평가하기 위한 평가 시스템을 개발하였으며, 이를 이용하여, 연령 및 성별에 따른 데이터를 비교 분석하여, 향후 이를 이용한 자세균형평가 및 훈련에 기초자료로써의 도움을 주고자 본 연구를 실시하였다.

실험장치 및 방법

1. 실험 장치

자세균형제어를 정량적으로 평가하기 위한 파라미터로 본 연구에서는 COP를 설정하였다. 따라서, COP를 정량적으로 측정하고 이를 평가할 수 있는 시스템인 COBET system(computerized balance evaluation and training system)을 본 연구에서 직접 제작하여 사용하였다. COBET system은 크게 두가지로 나뉜다. 신체의 COP를 정량적으로 측정할 수 있는 힘판과, 이를 컴퓨터상에서 계산하고 이를 모니터링해주며 자세균형제어력을 정량적으로 평가하는 자세균형제어 평가 프로그램으로 나누어진다.

1) 힘판

신체의 COP를 측정하기 위하여 4개의 로드셀(load cell)을 사각형의 모서리에 배치한 정사각형 모양의 힘판

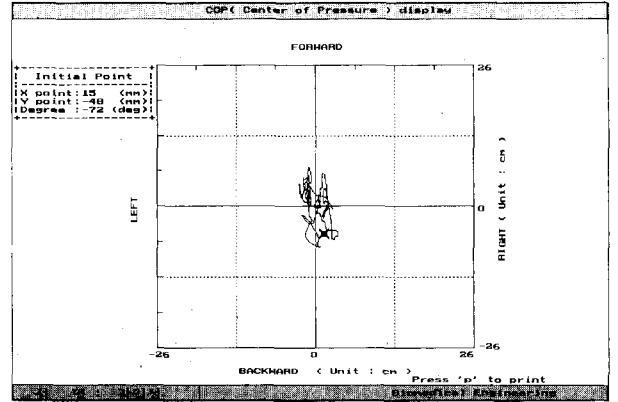


그림 2. 정적 자세균형제어력 평가를 위한 Migration of COP의 예

Fig. 2. A migration of COP for evaluating the static postural control

을 제작하였다. 힘판위에 피험자가 기립하여 있을 때, 피험자의 COP를 측정하기 위해서는 힘판의 각각의 모서리에 위치한 로드셀에 분산되어 가해지는 힘을 측정하여 계산함으로써 가능하다. 그 측정원리는 다음과 같다.

그림 1에서 보는 바와 피험자의 신체가 균형을 잃고 신체가 경사져있을 때, 힘판에 가해지는 힘은 F이며, 작용점은 힘판위의 절대좌표를 기준으로 x방향으로 a_x , y방향으로 a_y 만큼 떨어진 위치에 있다. 이 값(a_x , a_y)가 그 순간에 있어서의 COP값이 된다. 로드셀로부터 측정된 힘이 각각 Fz_1 , Fz_2 , Fz_3 , Fz_4 라 할 때, 힘의 평형조건과 모멘트의 평형조건을 사용하면, 피험자의 COP의 위치(a_x , a_y)는 식(1), (2)에 의하여 구할 수 있다.

$$a_x = a \cdot (Fz_1 + Fz_2 - Fz_3 - Fz_4) / F \quad (1)$$

$$a_y = b \cdot (Fz_1 - Fz_2 - Fz_3 + Fz_4) / F \quad (2)$$

$$F = Fz_1 + Fz_2 + Fz_3 + Fz_4$$

여기에서, F는 피험자의 몸무게에 상당하며, a, b는 각각 로드셀간의 가로길이의 1/2, 세로길이의 1/2이다. 힘판에 위치한 각각의 로드셀로부터의 데이터를 증폭하여 sampling rate 40Hz로 A/D변환한 후, 식(1), (2)를 이용하여 COP값을 계산한다.

본 힘판의 크기는 가로 세로 각각 60cm($a=b=30cm$)이며, 각 로드셀간의 간격은 52.9cm이다. 또한, 제작한 힘판의 분해능은 0.015cm/cm이다.

2) 자세균형제어력 평가 프로그램

본 프로그램은 피험자의 데이터베이스 입력부, 정적 자세균형제어력 평가부, 동적 자세균형제어 평가부로 크게 나눌 수 있다.

피험자의 데이터베이스 입력부는 피험자의 성명, 나이, 신장, 환자등록번호, 병상기록 및 테스트 횟수 등을 입력

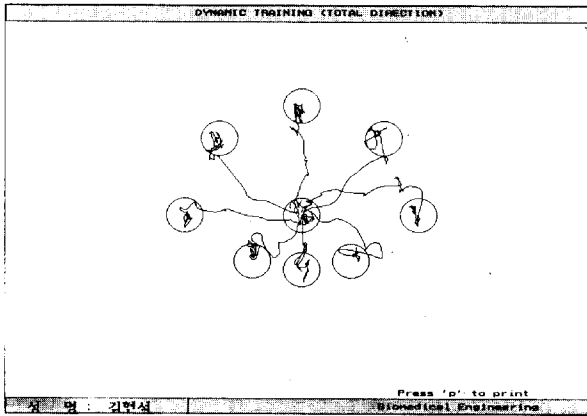


그림 3. 동적 자세균형제어력의 측정과 한 예
Fig. 3. A measurement of dynamic postural sway

하도록 되어 있다.

정적자세균형제어력 평가부는 피험자를 힘판위에 기립하여 움직이지 않도록 지시한 후, 그림 2와 같이 측정된 COP의 변화량을 기초로 하여 COP변화의 sway area, X-Y축상의 시간에 따른 분포 및 변화율, radial방향의 시간에 따른 분포 및 변화율, 힘판 전체에 3차원적 분포도, radial방향의 시간에 따른 변화의 전력 스펙트럼 등을 그래픽적으로 나타낼 수 있도록 되어 있다.

동적자세균형제어력 평가부에서는 그림 3과 같이 중심에 피험자가 현재 서있는 지점을 중심으로 8개의 목표물을 피험자의 신장에 따른 안정한계(LOS:limit of stability)의 75%이내의 범위안에 표시하여 순차적으로 점멸하도록 하는데, 점멸상태에 있는 목표물을 향하여 피험자가 스스로 자신의 몸의 중심을 이동시켜 목표물에 도달하도록 하는 동작을 수행하도록 한다. 그림 3에 8개의 목표물을 대상으로 동적 자세균형제어력을 측정한 대표적인 예를 나타낸다. 그림 중의 원은 목표물의 위치를 나타내고, 실선은 피험자의 압력중심의 궤적(軌跡)을 나타내고 있다.

이 테스트를 수행한 후, 궤적데이터를 기초로 하여 다음과 같은 평가 파라미터를 도출하여 동적 자세균형제어

력을 평가하도록 하였다.

①이동시간(movement time) : COP가 중심에서 목표물까지 도달되는데 소요되는 시간을 초(sec)로 표시.

②진로오차(path error) : COP의 주행경로가 중심에서 목표물까지 직선경로를 벗어나서 움직인 실제 경로의 거리를 직선경로 거리에 대한 %로 나타낸 값.

③주변자세동요(peripheral path sway) : COP가 목표물에 도달된 후 동요된 정도를 면적으로 나타낸 값.

2. 실험 방법

1) 정적 자세균형제어력 측정(measurement of static postural sway)

피험자의 성명, 신장 등을 기록한 후, 맨발로 힘판위에 기립하게 하였다. 양손은 각각 반대편 주관절부에 편하게 대도록 한 다음 아래와 같은 8가지 자세를 취하게 하여 각각 20초간 서 있게 하였다. 이 때 COP는 컴퓨터 화면상에 표시되며 20초가 지나 더 이상 컴퓨터로의 입력이 없으면, COP의 전체 분포를 보여주며 동요상태를 면적(cm²)으로 나타내었다. 각 자세에 따른 평가사이에 충분히 휴식을 하게 하여 전신의 힘의 약화에 따른 변화를 최대한 적게 하였다. 8가지의 자세는 표 1과 같다.

2) 동적 자세균형제어력 측정(measurement of dynamic postural sway)

COP를 목표지점까지 정확하게 이동시킬 수 있는 능력을 파악하기 위한 실험이다. 피험자의 COP가 모니터 화면의 중심에 위치한 후 8개의 주변 목표물 중 어느 하나가 밝게 반짝거리면 피험자가 자신의 COP를 표시된 목표지점으로 이동하도록 명령한다. 목표지점에 도달한 후 7초동안 그 위치에 머무르도록 한 다음, 피험자의 COP를 다시 중심부로 되돌아오게 한다. 주변의 목표물을 시계방향으로 하나씩 옮겨가며 8개의 목표물에 대한 이동을 모두 수행하도록 한다. 앞에서 언급했듯이 각 실험에서 이동시간, 진로오차, 주변자세동요 등을 측정한다.

표 1. 정적 자세균형제어력 측정시 8가지 자세

Table 1. The eight stance for measuring in static postural balance control

자세의 종류		설 명
안정기립자세(comfortable stance)	개안(eyes opened)	눈을 뜨고 양발사이의 간격을 18cm 벌린 후 서 있는 자세.
안정기립자세(comfortable stance)	폐안(eyes closed)	눈을 감고 양발사이의 간격을 18cm 벌린 후 서 있는 자세.
불안정기립자세(narrow stance)	개안(eyes opened)	눈을 뜨고 양발을 모은 상태로 서 있는 자세.
불안정기립자세(narrow stance)	폐안(eyes closed)	눈을 감고 양발을 모은 상태로 서 있는 자세.
우편측기립자세(one-legged, right)	개안(eyes opened)	눈을 뜨고 오른쪽 한발로 서 있는 자세.
우편측기립자세(one-legged, right)	폐안(eyes closed)	눈을 감고 오른쪽 한발로 서 있는 자세.
좌편측기립자세(one-legged, left)	개안(eyes opened)	눈을 뜨고 왼쪽 한발로 서 있는 자세.
좌편측기립자세(one-legged, left)	폐안(eyes closed)	눈을 감고 왼쪽 한발로 서 있는 자세.

표 2. 성별 분포도
Table 2. Age and sex distribution

Age(yrs)	Group	Male (No.)	Female (No.)	Total (No.)
20 - 29		5	5	10
30 - 39		5	5	10
40 - 49		5	5	10
50 - 59		5	5	10
60 - 69		5	5	10
70 - 79		3	2	5
Total		28	27	55

3. 실험 및 재실험의 신뢰도 검사

실험에 대한 신뢰도의 여부를 확인하기 위해 13명의 피험자에 대한 1차로 검사를 시행하고 2-3주가 지난 후 2차 검사를 시행하여 검사에 대한 신뢰도를 구하였다.

4. 자료의 분석

20대, 30대, 40대, 50대, 60대 및 70대에서 나이와 성별에 따른 정적 및 동적 자세동요의 정도를 ANOVA를 이용하여 비교하였고 검사에 대한 신뢰도는 paired t-test를 이용하여 검증하였다.

실험 결과

1. 피험자의 연령 및 성별분포

피험자는 20대에서 60대까지 각 연령대별로 10명(남자 5명, 여자 5명) 및 70대 5명(남자 3명, 여자 2명)으로 전체 55명(남자 28명, 여자 27명)이었으며(표 2), 연령분포는 22세에서 79세까지 고르게 분포되었고 전체 평균연령은 47.56 ± 15.93세였다.

2. 검사기구에 대한 검사-재검사 신뢰도

정상성인 13명에 대한 검사-재검사(1차 및 2차 검사)

표 3-1. 정적 자세 동요의 실험-재실험 측정치의 비교
Table 3-1. Comparison of test-retest measurements in static path sway

Position		First trial(㎝)	Second trial(㎝)	95% Confidence interval	P value
Comfortable stance	Eyes opened	2.28 ± 2.20	1.61 ± 0.67	0.91 - 2.40	0.85
	Eyes closed	3.20 ± 4.11	2.09 ± 0.95	1.24 - 2.69	0.20
Narrow stance	Eyes opened	5.23 ± 6.31	3.58 ± 1.48	2.29 - 4.66	0.67
	Eyes closed	7.74 ± 6.09	6.89 ± 3.70	4.14 - 9.08	0.45
One-legged, right	Eyes opened	12.46 ± 13.28	6.99 ± 3.40	4.91 - 9.19	0.85
	Eyes closed	71.56 ± 90.25	43.02 ± 19.01	30.88 - 58.25	0.58
One-legged, left	Eyes opened	13.42 ± 12.16	8.52 ± 3.48	5.18 - 14.48	0.43
	Eyes closed	77.13 ± 101.67	39.63 ± 17.61	23.52 - 69.55	0.45

비교에서 정적 자세균형제어 및 동적 자세균형제어 검사 모두에서 유의한 차이가 없었다(표 3-1, 3-2).

3. 정적 자세균형제어

COBET system을 이용하여 정적 자세동요를 연령에 따라 비교한 결과, 모든 자세에서 연령의 증가와 함께 동요의 정도가 커지는 양상을 보였으며 개안시에 비하여 폐안시의 동요의 정도가 더 심한 것을 알 수 있었다(표 4). 안정기립위 개안시 60대는 20대에 비해 의의있게 높은 값을 보였으며, 70대는 20대, 30대, 40대에 비해 의의있게 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 폐안시 60대는 20대에 비해 의의있게 높은 값을 보였으며 70대는 모든 연령군에 비해 의의있게 높은 값을 보여($p < 0.05$) 동요의 정도가 상대적으로 더 심함을 알 수 있었다.

불안정기립위 개안 및 폐안시 70대는 모든 연령군에 비해 의의있게 높은 값을 보였으며, 폐안시 50대는 20대에 비해 의의있게 높은 값을 보였다($p < 0.05$).

우편족기립위 개안 및 폐안시 70대는 모든 연령군에 비해 의의있게 높은 값을 보였으며, 폐안시 60대는 20대에 비해 의의있게 높았다($p < 0.05$).

좌편족기립위 개안 및 폐안시도 70대는 모든 연령군에 비해 의의있게 높았으며, 60대도 낮은 연령군에 비해 의의있게 높은 값을 보였다($p < 0.05$).

4. 동적 자세균형제어

동적 자세균형제어의 정도를 알기 위해 이동시간, 진로오차, 주변자세동요를 측정하였다.

1) 이동시간(movement time)

제시된 목표지점까지 압력중심을 이동시키는데 소요된 시간을 측정한 이동시간에서 연령의 증가에 따라 8가지 모든 방향으로 이동시간이 길어지는 양상을 보였다(표 5). 특히 전방으로의 이동시간은 60대와 70대 모두 20대, 30대, 40대, 50대에 비해 의의있게 길어지는 소견을 보였으며, 우전방의 경우 70대가 20대에 비해 의의있게

표 3-2. 동적 자세 동요의 실험-재실험 측정치의 비교

Table 3-2. Comparison of test-retest measurements in dynamic postural control

Parameter	Direction	First trial	Second trial	95% Confidence interval	p value
Movement time (sec)	Forward	4.28 ± 1.61	3.86 ± 1.13	3.04 - 5.05	0.43
	Right forward	3.75 ± 1.16	3.78 ± 1.01	3.05 - 4.45	0.91
	Rightward	4.46 ± 1.95	3.42 ± 1.64	2.97 - 4.58	0.88
	Right backward	3.07 ± 1.67	2.91 ± 1.38	2.06 - 4.08	0.21
	Backward	2.79 ± 1.95	2.63 ± 1.26	1.87 - 3.33	0.81
	Left backward	3.20 ± 1.72	3.09 ± 1.34	2.17 - 4.24	0.68
	Leftward	3.31 ± 1.36	3.02 ± 0.82	2.51 - 3.45	0.42
	Left forward	3.41 ± 0.87	3.44 ± 0.91	2.89 - 3.94	0.91
Path error (%)	Forward	237.94 ± 107.74	203.86 ± 58.76	164.78 - 264.98	0.43
	Right forward	225.31 ± 47.58	228.38 ± 59.41	196.55 - 254.06	0.78
	Rightward	280.40 ± 122.74	231.97 ± 44.10	210.34 - 263.23	0.53
	Right backward	300.76 ± 126.53	290.42 ± 104.31	224.29 - 377.23	0.30
	Backward	326.98 ± 166.32	271.44 ± 84.78	207.49 - 350.39	0.71
	Left backward	302.15 ± 107.28	295.83 ± 76.39	237.31 - 366.98	0.74
	Leftward	209.43 ± 53.54	180.69 ± 46.83	167.00 - 205.27	0.41
	Left forward	205.61 ± 44.51	201.22 ± 48.49	178.71 - 232.51	0.68
Peripheral sway area (cm ²)	Forward	33.58 ± 26.68	28.64 ± 29.18	9.60 - 39.85	0.60
	Right forward	20.47 ± 17.16	22.15 ± 20.98	10.10 - 30.84	0.58
	Rightward	42.22 ± 52.30	25.10 ± 16.83	11.95 - 34.31	0.84
	Right backward	29.98 ± 25.03	31.95 ± 13.40	14.85 - 45.10	0.70
	Backward	38.81 ± 50.92	16.00 ± 4.24	11.31 - 19.38	0.63
	Left backward	32.18 ± 23.75	32.66 ± 22.54	17.82 - 46.53	0.83
	Leftward	35.74 ± 28.23	25.31 ± 12.36	15.26 - 33.08	0.53
	Left forward	22.95 ± 15.32	24.18 ± 15.60	13.69 - 32.21	0.56

표 4. 연령에 따른 정적 자세 동요의 비교

Table 4. Comparison of static path sway according to age group

(unit : cm²)

Parameter	Age(yrs)	Age(yrs)					
		20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
Comfortable stance	Eyes opened	1.22±1.03	1.58±1.04	1.85±0.89	2.42±1.22	2.55*±1.40	3.92**±3.20
	Eyes closed	1.43±0.84	2.26±1.70	2.41±1.15	3.03±1.53	3.26*±2.29	6.31***±3.87
Narrow stance	Eyes opened	2.47±1.34	4.59±2.09	3.49±0.87	4.99±1.61	5.97±3.98	20.89***±29.04
	Eyes closed	4.81±2.79	6.43±3.01	6.27±2.29	9.93*±5.30	7.11±3.30	14.74***±8.18
One-legged, right	Eyes opened	5.56±3.70	7.42±4.19	11.86±7.10	12.79±3.42	16.95±18.39	349.58***±282.50
	Eyes closed	34.64±22.91	46.44±34.64	79.65±56.54	80.93±57.80	116.16±177.44	690.00***±82.16
One-legged, left	Eyes opened	6.71±2.90	6.75±4.86	16.66±11.84	12.50±4.72	18.94±12.62	251.58***±257.39
	Eyes closed	33.54±14.15	49.82±34.23	51.99±32.48	64.89±34.29	179.79***±192.59	690.00***±134.16

* $p < 0.05$: difference between 3rd decade and other age groups
 # $p < 0.05$: difference between 4th decade and other age groups
 @ $p < 0.05$: difference between 5th decade and other age groups
 \$ $p < 0.05$: difference between 6th decade and other age groups
 + $p < 0.05$: difference between 7th decade and other age groups

길었다($p < 0.05$). 또한 우측방의 경우 70대가 30대, 40대, 30대, 40대에 비해 유의있게 길게 나타났다($p < 0.05$).
 대, 50대, 60대에 비해 길었으며, 좌전방에선 70대가 20

표 5. 연령에 따른 이동시간의 비교

Table 5. Comparison of movement time according to age group

(Unit:sec)

Age(yrs) \ Direction	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
Forward	3.36 ± 1.41	3.57 ± 0.66	4.19 ± 1.24	4.41 ± 1.76	5.90 ^{*#@\$} ± 1.64	6.52 ^{*#@\$} ± 2.08
Right forward	4.16 ± 1.38	4.59 ± 1.30	4.52 ± 1.18	5.00 ± 1.86	5.23 ± 1.57	5.91 [*] ± 1.43
Rightward	4.84 ± 1.34	3.91 ± 2.19	4.13 ± 1.11	4.21 ± 1.49	4.31 ± 2.47	6.78 ^{*#@\$+} ± 2.43
Right backward	3.67 ± 1.58	3.28 ± 2.74	2.91 ± 1.06	3.36 ± 1.70	3.19 ± 1.31	3.62 ± 1.79
Backward	2.93 ± 2.44	3.39 ± 3.17	2.72 ± 0.65	3.16 ± 1.51	3.07 ± 0.50	3.61 ± 2.13
Left backward	2.89 ± 1.22	3.50 ± 2.49	2.90 ± 0.67	3.86 ± 1.72	4.19 ± 2.08	4.04 ± 3.12
Leftward	3.00 ± 1.04	3.07 ± 1.75	3.47 ± 1.48	3.83 ± 1.67	3.18 ± 0.64	3.64 ± 1.41
Left forward	3.52 ± 0.94	3.48 ± 1.51	3.83 ± 1.27	3.99 ± 1.30	3.97 ± 1.39	5.37 ^{*#} ± 2.03

* $p < 0.05$: difference between 3rd decade and other age groups
 # $p < 0.05$: difference between 4th decade and other age groups
 @ $p < 0.05$: difference between 5th decade and other age groups
 \$ $p < 0.05$: difference between 6th decade and other age groups
 + $p < 0.05$: difference between 7th decade and other age groups

표 6. 연령에 따른 진로오차의 비교

Table 6. Comparison of path error according to age group

(Unit: %)

Age(yrs) \ Direction	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
Forward	167.52 ± 42.29	202.73 ± 101.48	235.34 ± 75.10	252.04 ± 120.42	322.31 ^{*#} ± 114.05	363.35 ^{*#@\$} ± 193.83
Right forward	247.96 ± 66.69	291.03 ± 129.75	300.30 ± 62.59	286.81 ± 107.51	340.82 ± 91.76	409.16 ^{*\$} ± 217.72
Rightward	250.04 ± 36.88	246.04 ± 81.01	271.85 ± 79.55	280.73 ± 57.96	343.35 ± 218.04	366.05 ± 129.63
Right backward	329.53 ± 105.41	420.48 ± 333.75	323.49 ± 93.01	393.54 ± 159.02	473.02 ± 338.52	575.84 ± 404.38
Backward	286.45 ± 238.70	355.83 ± 189.06	326.43 ± 78.55	380.14 ± 146.98	286.07 ± 149.57	502.42 ± 355.46
Left backward	295.94 ± 188.76	386.35 ± 189.66	319.03 ± 97.83	418.61 ± 208.76	578.57 ^{*#} ± 317.14	713.49 ^{*#@\$} ± 673.62
Leftward	179.66 ± 29.97	211.59 ± 73.27	210.96 ± 16.10	217.84 ± 58.97	202.23 ± 37.70	232.42 [*] ± 37.76
Left forward	196.79 ± 51.18	252.63 ± 159.50	239.73 ± 33.47	240.15 ± 71.56	313.31 [*] ± 199.01	310.56 ± 150.20

* $p < 0.05$: difference between 3rd decade and other age groups
 # $p < 0.05$: difference between 4th decade and other age groups
 @ $p < 0.05$: difference between 5th decade and other age groups
 \$ $p < 0.05$: difference between 6th decade and other age groups
 + $p < 0.05$: difference between 7th decade and other age groups

2) 진로오차(path error)

COP의 주행경로가 중심에서 목표물까지 실제경로의 거리를 직선경로거리로 나타낸 진로오차의 검사에서 연령의 증가에 따라 진로오차값이 커지는 양상을 보였으며, 특히 60대 이후 큰 폭으로 커지는 양상을 보였다(표 6).

70대는 전방과 좌후방에서 20대, 30대, 40대에 비해 유의있게 큰 진로오차를 보였으며, 우전방에서 20대와 50대에 비해 큰 진로오차를 보였고 좌측방향에서 20대에 비해 유의있게 큰 진로오차를 보였다($p < 0.05$).

60대는 전방에서 20대와 30대, 좌후방에서 20대와 40대, 좌전방에서 20대에 비해 유의있게 큰 진로오차를 보

였다($p < 0.05$).

3) 주변자세 동요(peripheral path sway)

COP가 목표물에 도달된 후 동요된 정도를 면적(cm^2)으로 표시한 주변자세 동요의 측정에서도 연령의 증가에 따라 동요의 정도가 커지는 양상을 보였으며, 특히 70대에서 큰 동요가 있는 것으로 나타났다(표 7). 70대는 좌후방을 제외한 나머지 모든 방향에서 70대 이하의 모든 연령층에 비해 유의있게 동요의 증가를 보였으며, 전방에서는 50대와 60대 모두 20대, 30대, 40대에 비해 유의있게 증가되었다($p < 0.05$). 또한 후방에서 60대는 20대에 비해, 좌전방에서 60대는 20대와 30대에 비해 유의있게 증

표 7. 연령에 따른 주변자세 동요의 비교

Table 7. Comparison of peripheral sway area according to age group

(Unit:cm²)

Age(yrs) \ Direction	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79
Forward	12.32 ± 5.99	24.96 ± 16.78	30.88 ± 20.63	58.49 ^{*#@} ± 31.88	61.62 ^{*#@} ± 20.08	118.77 ^{*#@\$\$+} ± 65.14
Right forward	20.95 ± 9.66	56.05 ± 17.34	24.75 ± 21.51	24.63 ± 18.04	54.31 ± 31.85	141.72 ^{*#@\$\$+} ± 91.45
Rightward	26.04 ± 21.07	52.65 ± 19.56	55.40 ± 44.78	31.42 ± 22.20	45.56 ± 29.84	115.42 ^{*#@\$\$+} ± 37.87
Right backward	20.96 ± 15.94	41.22 ± 39.94	36.67 ± 31.16	48.82 ± 69.61	58.78 ± 44.11	117.27 ^{*#@\$\$+} ± 47.27
Backward	14.17 ± 5.86	23.50 ± 23.94	32.67 ± 14.71	34.69 ± 25.84	71.14 [*] ± 94.45	134.30 ^{*#@\$\$+} ± 118.68
Left backward	34.07 ± 36.70	47.96 ± 50.44	47.91 ± 27.98	50.64 ± 55.51	83.25 ± 104.21	92.37 ± 58.23
Leftward	28.43 ± 17.40	42.89 ± 43.17	42.88 ± 31.31	28.93 ± 11.49	43.38 ± 23.33	123.53 ^{*#@\$\$+} ± 69.27
Left forward	28.50 ± 18.49	30.93 ± 31.47	44.71 ± 19.22	47.51 ± 33.40	74.06 ^{*#} ± 62.92	127.45 ^{*#@\$\$+} ± 89.77

* $p < 0.05$: difference between 3rd decade and other age groups
 # $p < 0.05$: difference between 4th decade and other age groups
 @ $p < 0.05$: difference between 5th decade and other age groups
 \$ $p < 0.05$: difference between 6th decade and other age groups
 + $p < 0.05$: difference between 7th decade and other age groups

가된 값을 보였다($p < 0.05$).

고 찰

자세균형제어력은 근골격계의 지지작용, 운동기능 및 시각, 전정기관 및 체성감각기관으로부터 받는 감각유입에 달려있다[2,19]. 시각기관은 주변환경속에서 자신과 다른 대상사이의 위치관계에 대한 감각유입으로 자세균형유지에 기여하고, 체성감각기(somatosensory system)의 기여도는 근방추(muscle spindle), 관절 및 피부감각기(cutaneous receptor)로부터 받은 자신과 자신 또는 자신과 다른 대상사이의 정보를 제공한다는 점이다. 전정기관(vestibular system)은 위의 두 감각기관사이의 부조화를 해결하는 역할을 하고 있다[24].

1982년 Nashner 등에 의하면 정적 자세균형제어에서 체성감각기관의 역할이 가장 크며, 체성감각과 시각적 정보유입이 박탈된 경우에는 자세균형유지에 큰 동요를 보인다고 보고하였다[25]. 또한, 1985년 Era 등은 자세균형제어에 영향을 주는 것이 고령화, 빈약한 신체적 조건 및 위험로운 환경요소라고 하였는데, 자세에 따른 동요의 정도를 평가한 실험에서 폐안시 개안시에 비해 2-3배의 동요가 있었으며, 개안상태의 안정기립위에 비해 편측기립위시 8배의 동요가 있었다고 보고하였고, 비만(obesity), 소음(noise) 및 고령화에 따라 동요의 정도가 커졌다고 하였다[17].

본 연구에서도 안정기립위에 비해 체성감각적 감각유입이 적은 편측기립위시 동요의 정도가 의의있게 컸으며, 개안시에 비해 폐안시에 동요의 정도가 의의있게 큰 것으로 나와 Nashner와 Era 등의 연구결과와 일치하였다

[17,25].

연령의 증가에 따른 자세균형제어력의 저하에 대한 보고는 1994년 장 등[5]과 1995년 김 등[3]이 정상성인의 정적 및 동적 자세균형제어력은 20대나 40대에 비해 60대에서 현저히 저하되어 40대 이후부터 균형반응의 저하가 있었다고 하였으며 1994년 Lord 등은 65세 이상의 341명의 정상 여성을 대상으로 한 정향성연구(one-year prospective study)에서 39.3%의 대상자가 1년동안 한번 이상의 낙상의 경험이 있었다고 보고하였다[26]. 본 연구에서는 연령의 증가에 따라 동요의 정도가 커지는 양상을 보이다가 60대이후부터 보다 큰 폭으로 커지며 70대에서 다른 연령층에 비해 현저한 차이를 보였다. 이는 고령화에 따라 시력, 진동감각(vibration sense), 고유수용감각(proprioception) 및 하지근력의 상대적인 저하와 반응시간 지연 등에 따른 균형장애에 의한 것으로 보인다[17, 27,28].

자세균형제어의 평가에 대한 연구는 오래 전부터 지속되어왔는데 크게 임상적인 평가와 공학적인 평가로 구분될 수 있다. 임상적 평가는 1984년 Ruskin이 좌우균형 및 기립위균형의 유지정도를 4등급으로 구분하여 제시하였으며[14], 1986년 Shumway-Cook 등은 기립위 정도를 동요의 정도에 따라 4등급으로 구분하여 제시하였다[29]. 1988년 Fisher 등은 자세균형제어의 평가를 질적인 평가와 양적인 평가로 구분하여 질적인 평가를 위해 지지하는 고정점으로부터 몸을 움직이게 하여 COP가 이동할 때 나타나는 체중의 중심선의 반응을 보았고 양적인 평가를 위해 균형판(balance board)위에 피험자를 올려 놓고 한발로 서서 자세를 유지하는 시간을 측정한 바 있다[30].

한편, 공학적인 평가는 최근들어 구미를 중심으로 많이 사용되고 있는데 이는 임상적 평가에 비해 동요의 정도를 정량화할 수 있고 객관적이라는 장점을 지니고 있으며, 최근 들어 시·청각적 바이오피드백을 이용한 자세균형제어훈련에 사용되고 있다. Drowatzky 등은 정상인에서 [31], Shumway-Cook 등[15]과 Lehmann 등[32]은 뇌기능장애 환자에서, Norr 등[13]은 전정기능장애 환자에서 힘판을 이용한 자세균형제어의 측정방법에 대한 신뢰도를 입증하였다. 우리나라에서도 1995년 김 등[3]이 힘판을 이용한 정량적 평가와 임상적 평가사이에 높은 상관관계를 보인다고 보고하였다.

본 연구에서 사용한 COBET system은 자세균형제어력의 평가와 훈련을 할 수 있도록 프로그램되어 있는데; 이를 통하여 자세균형제어에 영향을 미치는 여러 가지 복합적인 인자의 평가와 분석이 가능해지고 이를 토대로 한 보다 과학적인 균형훈련을 통하여 각종 질환에 의한 장애 환자의 균형회복과 노년층 사고의 예방에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

결 론

정상 성인 55명을 대상으로 COBET system을 이용한 정적 및 동적 자세균형제어력의 정량적 평가를 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 본 검사기구를 이용한 1차 및 2차 검사값의 비교에서 유의한 차이가 없어 검사-재검사 신뢰도가 있었다.
2. 정적 자세균형제어력의 측정에서 동요의 정도는 연령에 따라 증가되는 양상을 보였으며, 60대 이후부터 현저히 높은 값을 보였고 특히 폐안시에 그 값이 높았다.
3. 동적 자세균형제어력의 평가치중 이동시간, 진로오차, 주변자세 동요 모두 60대와 70대에서 낮은 연령층에 비해 유의있게 높았으며, 특히 70대에서 전방으로 움직일 때 변화의 폭이 컸다($p < 0.05$).

이상의 결과로 볼 때 이러한 정적 및 동적 자세균형제어력의 저하는 60대이후의 노인에서 낙상사고 등 노년층 사고와 장애의 유발에 관련이 있을 것으로 보이며, 이를 예방하기 위해서는 균형유지능력의 향상을 위한 재활훈련이 필요할 것이다.

COBET system은 노인성질환 및 각종 장애환자에 대한 자세균형제어력의 정량적 평가에 유용하며, 앞으로 균형훈련 및 치료에도 큰 도움이 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Carvell GE and Van Swearingen JM: "Neuromuscular analysis", Physical Therapy, 1st ed., J.

B. Lippincott comp., philadelphia, pp. 489, 1986.

2. Duncan PW, Studenski S, Chandler J, Bloomfield R and LaPointe LK: "Electromyographic analysis of postural adjustments in two methods of balance testing", Physical Therapy, vol. 70, pp. 88-96, 1990.

3. 김연희, 김남균, 차은중, 김형일, 신용일, 이경부: "힘판을 이용한 자세균형제어력의 정량적 평가와 임상균형지수와의 비교연구", 대한재활의학회지, 19권, 4호, 782-792, 1995.

4. 김유철, 장순자, 박미연, 박시운: "뇌졸중 환자의 보행에 영향을 미치는 인자", 대한재활의학회지, 16권, 4호, 443-451, 1992.

5. 장기언, 서경배, 이숙자: "균형지수를 이용한 균형반응의 정량적 평가", 대한재활의학회지, 18권, 3호, 561-569, 1994.

6. Anderson TP, *Rehabilitation of patient with complete stroke*, Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation, 4th ed., WB saunders, philadelphia, pp. 656-678, 1990.

7. Cass SP, Kartush JM and Graham MD: "Clinical assessment of postural stability following vestibular nerve section", Laryngoscope, vol. 101, pp. 1056-1059, 1991.

8. Dettmann MA, Linder MT and Sepic SB: "Relationships among walking performance, postural stability, and functional assessments of the hemiplegic patient", Am. J. Phys. Med., vol. 66, pp. 77-90, 1987.

9. Di Fabio RP and Badke MB: "Relationship of sensory organization to balance function in patients with hemiplegia", Physical Therapy, vol. 70, pp. 542-548, 1990.

10. Goldie PA, Matyas TA, Spencer KI and McGinley RB: "Postural control in standing following stroke: Test-retest reliability of some quantitative clinical tests", Physical Therapy, vol. 70, pp. 234-243, 1990.

11. Kottke FJ and Lehmann JF, *Krusen's handbook of physical medicine and rehabilitation*, 4th ed., WB saunders, philadelphia, pp. 116-666, 1989.

12. Nashiner LM: "Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance", Exp. Brain Res., vol. 30, pp. 13-24, 1977.

13. Norre ME and Forrez G: "Posture testing (posturography) in the diagnosis of peripheral vestibular pathology", Arch. Otorhinolaryngol., vol. 243, pp. 186-189, 1986.

14. Ruskin AP, *Current therapy in physiatry*, WB saunders, philadelphia, pp. 26-27, 1984.
15. Shumway-cook A, Anson D and Haller S: *Effect of postural sway biofeedback on reestablishing stance stability in hemiplegic patients*. Arch. Phys. Med. Rehabil. 69: 395-400, 1988
16. Hamrin E, Eklund G, Hillgren A-K, Borges O, Hall J and Hellstrom O: "Muscle strength and balance in post-stroke patients", Ups. J. Med. Sci., vol. 87, pp. 11-26, 1982.
17. Era P and Heikkinen. E: "Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random samples of men of different ages", J. Gerontol., vol. 40, pp. 287-295, 1985.
18. Hamman RG, Mekjavic I, Mallinson AI and Longride NS: "Training effects during repeated therapy sessions of balance training using visual feedback", Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 73, pp. 738-744, 1992.
19. Horak FB: "Clinical measurement of postural control in adults", Physical Therapy, vol. 67, pp. 1881-1885, 1987.
20. Goldie PA, Bach TM and Evans OM: "Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity", Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 70, pp. 510-517, 1989.
21. Hamid MA, Hughes GB and Kinney SE: "Specificity and sensitivity of dynamic posturography", Acta Otolaryngol(Stockh); vol. 481, pp. 596-600, 1991.
22. Hocherman S, Dickstein R and Pillar T: "Platform training and postural stability in hemiplegia", Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 65, pp. 588-592, 1984.
23. Jackson RT, Epstein CM and Boyette JE: "Enhancement of posturography testing with head tilt and energy measurements", Am. J. Otolaryngol, vol. 12, pp. 420-425, 1991.
24. Crutchfield CA, Shumway-Cook A and Horak FB, Balance and coordination training, Physical therapy, 1st ed., J.B. Lippincott company, philadelphia, vol. 489, 1986.
25. Nashner LM: "Adaptation of human movement to altered environments", Trends in Neuroscience, vol. 5, pp. 351, 1982.
26. Lord SR, Ward JA, Williams P and Anstey KJ: "Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women", JAGS, vol. 42, no. 10, pp. 1110-1117, 1994.
27. Iverson BD, Gossman MR, Shaddeau SA and Turner ME: "Balance performance, force production, and activity levels in noninstitutionalized men 60 to 90 years of age", Physical Therapy, vol. 70, pp. 348-355, 1990.
28. Means KM: "Functional obstacle course performance in elderly subjects: a pilot study", Official program, American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 160, abstract, 1992.
29. Shumway-Cook A and Horak FB: "Assessing influence of sensory interaction on balance. Suggestion from field", Physical Therapy, vol. 66, pp. 1548-1550, 1986.
30. Fisher AG, Wietlisbach SE and Wilbarger JL: "Adult performance on three tests of equilibrium", Am. J. Occupational Therapy, vol. 42, no. 1, pp. 30-35, 1988.
31. Drowatzky JN and Zuccato FC: "Interrelationships between selected measures of static and dynamic balance", Research Q, vol. 38, pp. 509-510, 1967.
32. Lehmann JF, Boswell S, Price R, Burleigh A, deLateur BJ, Jaffe KM and Hertling D: "Quantitative evaluation of sway as an indicator of functional balance in post traumatic brain injury", Arch. Phys. Med. Rehabil., vol. 70, pp. 955-962, 1990.

= 국문초록 =

인체의 자세균형유지에는 소뇌의 평형기능 및 전정기관, 근골격계의 지지작용, 운동기능 및 감각기능 등이 기여한다. 중추신경계 손상과 근골격계의 질환에 따른 균형제어력의 소실이 있는 환자의 재활치료에 있어 균형제어력의 평가가 필요하다. 이에 저자들이 개발하여 제작한 힘판(Computerized Balance Evaluation and Training system, COBET system)을 이용하여 정상성인의 정적 및 동적 자세균형제어력을 평가·분석하여 균형평가 및 훈련의 기초자료를 얻고자 하였다.

2주간의 간격으로 실시한 정적 및 동적 자세균형제어력의 평가에서 실험-재실험 신뢰도를 얻을 수 있었으며 정적 자세균형제어력의 평가에서는 연령의 증가에 따라 균형제어력의 저하를 보였고, 특히 60세 이상의 대상자에서 유의있는 저하를 보였다. 동적 자세균형제어력의 평가에서는 60대·70대의 대상자가 이들보다 낮은 연령층의 대상자보다 유의있는 제어력의 소실이 있었다.

COBET system은 임상적으로 유용하게 사용될 수 있는 균형평가 기구로 생각되며 향후 중추신경계 손상 및 근골격계 질환자들과 같은 균형장애를 가진 환자들의 평가 및 균형제어에 영향을 미치는 요인의 분석을 통한 재활치료에 도움을 줄 수 있는 방법의 개발이 이루어져야 할 것으로 사료된다.