

고령자의 족관절 근육 양측성 수축시의 전운동 반응시간

김지원¹, 권유리¹, 신재남¹, 엄광문^{1,2}, 김철승³, 박병규⁴, 홍정화⁴

¹건국대학교 의학공학부, ²건국대학교 의공학실용기술 연구소, ³영남대학교, ⁴고려대학교

Premotor-time of the Ankle Muscle during Bilateral Contraction in the Elderly

Ji-Won Kim¹, Yu-Ri Kwon¹, Jae-Nam Shin¹, Gwang-Moon Eom^{1,2}, Chul-Seung Kim³, Byung Kyu Park⁴, Junghwa Hong⁴

¹School of Biomedical Engineering, Konkuk University

²Research Institute of Biomedical Engineering, ³Yeungnam University, ⁴Konkuk University

(Received February 22, 2010. Accepted May 12, 2010)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effects of sex and age and their interactions in premotor-time (PMT) of ankle muscle. Forty-eight elderly subjects (aged 65-90 years) and thirty young subjects (aged 19-27 years) participated in this study. Subject were instructed to perform maximal, voluntary, isometric, bilateral contraction of ankle muscle in reaction to auditory stimulus to determine PMT. As analysis variables, PMT, intrasubject variability of PMT and asymmetry of PMT between dominant and nondominant legs were used. As statistical analysis, two-way ANOVA was performed to assess the main effects of age group and sex and also their interactions. All variables showed significant age effects ($p < 0.01$). However, no sex effect and interaction existed in all variables in both dominant and nondominant legs. These results suggest that the PMT of ankle muscle is related to the age-related deterioration in postural control, however, not related to the sex-difference of fall incidence in the elderly population.

Key words : premotor-time, fall, elderly, bilateral contraction, ankle muscle

1. 서론

고령자 낙상(fall)은 65세 이상 노인의 1/3이상이 매년 경험을 하고 있는 심각한 문제로서[1,2], 골절 등의 상해를 유발하고 일상생활의 활동 능력 및 삶의 질을 저하시킨다[3,4]. 특히, 고령자 여성의 낙상은 남성보다 약 10~49% 많은 것으로 알려져 있다[5-7].

고령자 낙상은 주로 보행 시 많이 발생하고[8] 낙상의 44%가 장애물이나 미끄러운 지면 바닥과 같은 환경적 요인에 의한 것이다 [9]. 또한, 고령자는 젊은 성인에 비해 근육의 전운동 반응 시간 (premotor-time:PMT)[10], 운동 반응 시간 (motor time: MT) [11,12] 그리고 전체 반응시간(reaction time: RT)[13]이 유의하게 길다고 하였다.

전체반응시간은 고령자 낙상과도 밀접한 관련이 있으며[14], 장애물이나 미끄러운 지면과 같은 예기치 못한 동요(unexpected perturbation)에 대한 균형 회복시 중요한 역할을 하게 된다[15]. 특히, 전체 반응시간의 구성 요소 중 PMT는 주로 중추 신경 지연 (central process delay)의 결과라 할 수 있으며 고령이 되면서 신경근육 기능 (neuromuscular function)의 퇴화가 대부분 중추신경의 지연에서 발생하기 때문에[16] 낙상과 더 밀접한 관련이 있을 가능성이 있다. Weerdesteyn 등은 예기치 못한 동요에 반응하는 PMT가 길어짐에 의해 고령자 보행시 장애물에 의한 걸려 넘어짐 (tripping)과 미끄러짐(slipping)이 빈번히 발생하게 된다고 보고한 바 있다[10]. 전체 반응시간 중 PMT가 낙상과 밀접한 관련이 있을 가능성이 있기 때문에 고령자 여성과 남성의 낙상 비율 차이도 PMT와 관련이 있을 가능성이 있다.

과거의 연구에서 PMT의 연령효과 (age effect)[10,17]와 활동성이 높은 고령자와 낮은 고령자의 측정을 통한 활동성 효과 (activeness effect)[12]는 조사된바 있으나, 낙상비율이 높은 고

Corresponding Author : 엄광문

충북 충주시 단월동 건국대학교 의료생명대학 516호

Tel : +82-43-852-9890 / Fax : +82-43-852-9890

E-mail : gmeom@kku.ac.kr

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(2009-0075436, 2007-0055291)의 지원을 받아 수행된 연구임

표 1. 피험자 특성

Table 1. Subject characteristics

Subject	number	age [yrs] mean(sd)	height [cm] mean(sd)	weight [kg] mean(sd)	body fat [%] mean(sd)
Young Men	15	24.7 (1.0)	176.0 (5.6)	76.9 (12.0)	21.6 (4.7)
Young Women	15	21.4 (1.2)	161.1 (5.6)	56.9 (6.6)	25.6 (6.2)
Elderly Men	23	74.2 (3.8)	163.0 (5.9)	64.8 (10.8)	26.0 (4.4)
Elderly Women	25	73.7 (6.4)	149.1 (4.8)	55.7 (7.6)	38.6 (2.7)

령자 여성이 고령자 남성에 비해 어떠한 반응시간의 차이가 있는지를 조사한 연구는 없었다. 또한, PMT의 변동성(variability)과 비대칭성(asymmetry)과 같은 다양한 분석 관점에서 연령효과와 성효과(sex effect)를 조사한 연구는 없었다. 따라서, 본 연구에서는 고령자 여성의 다양한 PMT 분석변수들을 고령자 남성과 비교하는 것을 목적으로 젊은 성인 남녀를 대조군으로 하여 분석하고자 한다.

본 연구에서 전운동 반응시간을 측정하기 위한 대상근육으로서, 전경골근(Tibialis Anterior: TA)이 선택되었다. 전경골근은 배측굴곡(dorsiflexion)을 할 때 작용하여 발목의 안정성과 자세균형 유지에 중요한 기능을 담당하나, 나이가 들면서 큰 퇴화를 보이고 [18], 그 결과 낙상으로도 이어질 수 있다[19-21].

따라서, 본 연구에서는 젊은 성인 남녀와 고령자 남녀를 대상으로 청각 자극에 반응하는 전경골근에 대해 다양한 PMT 분석변수들과 고령자 낙상비율의 남녀차와의 관계를 조사하였다.

II. 방법

A. 피험자

30명의 젊은 성인(남:23~27세 15명, 여:19~23세 15명)과 48명의 고령자(남: 68~90세 23명, 여:65~87세 25명)가 본 연구에 참여하였다(표 1). 피험자는 지팡이나 의지 착용 없이 스스로 보행이 가능한 사람으로 선별되었고, 신경계 및 근골격 계통의 질환자나 청각에 이상이 있는 사람은 본 연구에서 제외되었다.

B. 측정 및 분석 방법

그림 1은 전운동 반응시간 측정을 위한 실험 장치를 나타내고 있다. 피험자의 전경골근 근전도를 측정하기 위해 MP100 (Biopac Systems Inc, USA)이 사용되었다. 증폭 이득은 1000배, 대역통과필터의 통과대역은 10~500Hz로 설정하였다.

근전도 신호의 샘플링과 청각 자극 신호 (auditory stimulation beep)의 생성을 위해 랩뷰 8.0과 데이터 수집 보드 (PCI-6221,

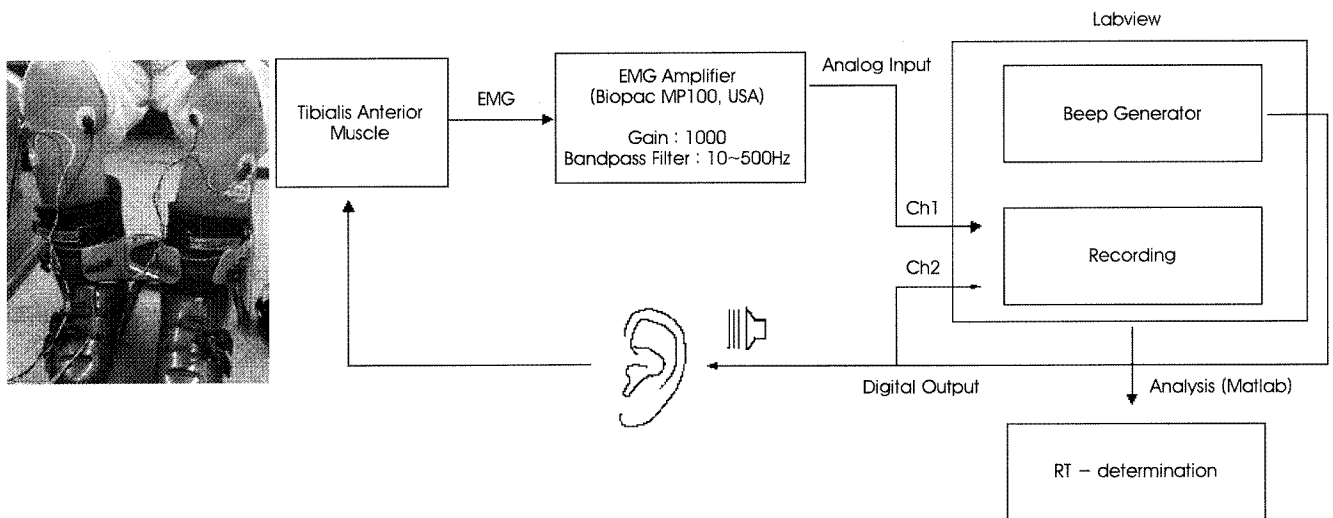


그림 1. 전운동 반응시간 측정을 위한 실험 장치
Fig. 1. Experimental set-up for the measurement of pre-motor time

National Instruments, USA)가 사용되었다. 샘플링 주파수는 1kHz를 사용하였고, 1회의 실험동안 비프(beep)음을 사용한 청각자극을 6회 인가하였다.

피험자가 신호의 패턴에 익숙해져 미리 수축을 하는 것을 방지하기 위해 펄스 지속시간(duration)은 3초와 5초 2가지 패턴이 각각 3번씩 랜덤하게 발생되도록 하였고, 자극간 시간도 3,4,5초가 랜덤하게 삽입되도록 하였다.

피험자는 그림 1과 같이 의자에 앉은 상태에서 양쪽 모두 스키부츠를 착용하였다. 이 때 스키부츠는 등척성 (isometric)을 유지할 수 있도록 앞부분을 고정시켜주었다. 피험자는 자극에 반응하여 등척성 상태에서 발꿈치를 축으로 발을 들어 올리는 배측굴곡 운동을 시행할 수 있었다. 실험자는 피험자의 전경골근에 알코올 소독 후 표면 전극 (Ag/AgCl Monitoring Electrode 2223, 3M, U.S.A)을 부착하고, 피험자가 신호음에 반응하여 최대 힘으로 수축하고 신호음이 중지될 때까지 수축상태를 유지하도록 지시하였다. 실험자는 각 피험자에게 실험 방법의 설명과 함께 약 30초의 연습시간을 주었다. 실험은 주측(dominant)과 부측(nondominant)의 전경골근에서 동시에 양측성 (bilateral) 수축으로 2회씩 시행되었다. 데이터 분석시 주측과 부측을 각각 분석하기 위해 오른발잡이와 왼발잡이를 구별하여 주었다.

데이터 분석을 위해 매트랩 6.5 (Math Works , USA)가 사용되었다. EMG 신호에 대해 전파 정류한 후 50Hz의 차단주파수를 갖는 4차 영위상 Butterworth 저역통과필터로 필터링 하여 포락선을 추출하였다. 근활성 시작시각을 결정하기 위한 역치 (threshold)는 식 (1)과 같이 자극 전 1초 동안의 EMG 신호의 평균값에 표준편차의 3배를 더한 값으로 결정하였다 (mean+3SD)[22]. 식 (1)의 PMT_{th}는 역치, EMG_{amp}는 자극 전 1초 동안의 EMG 신호의 평균크기를 의미한다.

$$PMT_{th} = \overline{EMG_{amp}} + 3 \times \sqrt{\frac{\sum_{k=Beep-1s}^{Beep} (EMG_{amp}(k) - \overline{EMG_{amp}})^2}{n-1}} \quad (1)$$

EMG 포락선의 100ms 동안의 평균값이 문턱치보다 클 때, 그 시작시점을 근전도의 시작시각으로 정의하였다. 청각자극 시작시각과 근전도 시작시각의 차이를 PMT로 정의하였다. 그림 2는 청각 자극 시점, 근전도 신호 그리고 문턱치를 이용하여 PMT를 정의하는 예를 나타내고 있다.

분석 변수 (variables)로서, PMT, 피험자내 PMT값의 표준편차로 정의된 피험자내 변동성 (intrasubject variability), 그리고 주측과 부측의 PMT 차이로 정의된 PMT 비대칭성(asymmetry)이 사용되었다.

통계분석으로, 연령과 성을 독립변수로하고 분석변수들을 종속변수로 한 이원변량분석 (two-way ANOVA)을 시행하여 연령 효과(age effect), 성별 효과(gender effect) 그리고 연령과 성별의 상호작용(interaction)을 조사하였다. 통계분석에는 SPSS 16.0 프로그램이 사용되었고, 비교를 반복 수행하는 것을 고려하여 유의수준을 0.02로 하였다.

III. 결과

그림 3과 표 2는 주측과 부측의 PMT 분석 변수들 중 PMT와 피험자내 변동성을 각 그룹들 간에 비교한 것이고 표 3은 그에 대한 변량분석 결과를 나타내고 있다.

주측의 경우, PMT 값과 피험자내 변동성은 고령자 그룹들이 젊은 성인 그룹들에 비해 유의하게 컸다. 하지만, PMT와 피험자내 변동성 모두 고령자 여성이 젊은 성인에 비해 큰 경향은 있었으나 남녀사이의 유의한 차이와 상호작용 효과는 없었다.

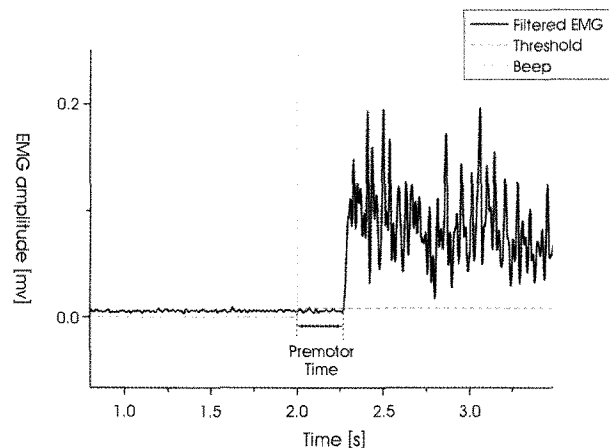


그림 2. 전운동 반응 시간의 정의
Fig. 2 Definition of premotor time

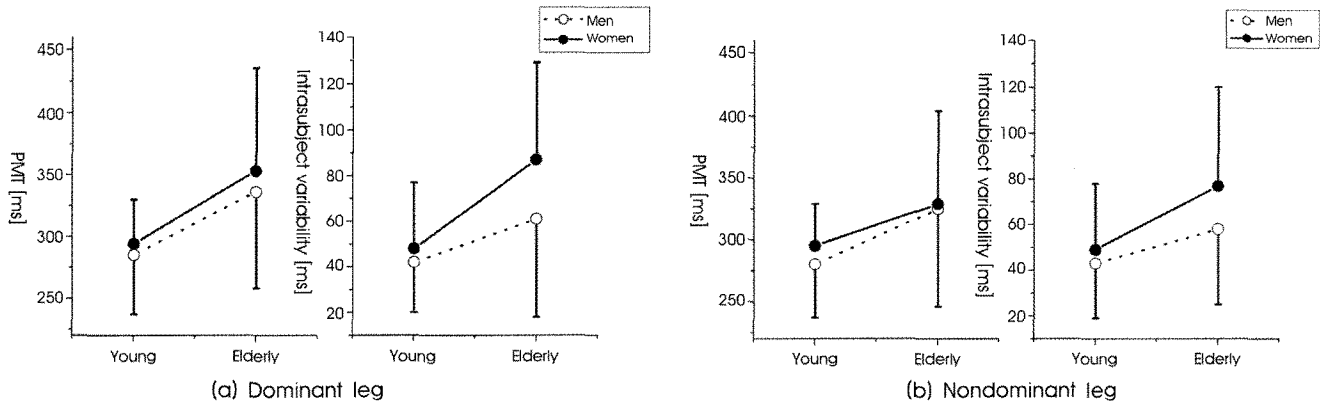


그림 3. 주측(위)과 부측(아래)에서 PMT와 피험자내 변동성의 그룹간 비교 분석
Fig. 3. Comparison analysis of PMT and intrasubject variability among the groups in dominant and nondominant

부측의 경우, PMT 값과 피험자내 변동성은 주측의 경우와 마찬가지로 고령자가 젊은 성인에 비해 유의하게 컸다. 하지만, PMT와 피험자내 변동성 모두 고령자 여성이 젊은 성인에 비해 큰 경향은 있었으나 남녀사이의 유의한 차이와 상호작용 효과는 없었다.

그림 4는 주측과 부측의 비대칭성을 그룹들 간에 비교한 것이다. 고령자가 젊은 성인에 비해 유의하게 컸으나, 남녀사이의 유의한

차이와 상호작용은 없었다. 청각신호에 반응하여 양쪽의 발목을 동시에 수축하였음에도 불구하고 고령자는 젊은 성인에 비해 PMT의 비대칭성이 현저했고($p < 0.01$)(표 3), 고령자 여성이 남성에게 비해 더 높은 비대칭성의 경향을 띄었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

표 2. 각 그룹의 분석변수

Table 2. Analysis variables in each group

Variables [ms]	Individual groups			
	Young Men (n=33)	Young Women (n=33)	Elderly Men (n=35)	Elderly Women (n=35)
	mean (SD)	mean (SD)	mean (SD)	mean (SD)
Dominant				
PMT	285 (48)	294 (36)	336 (78)	353 (83)
Variability	42 (22)	48 (29)	61 (43)	87 (42)
Nondominant				
PMT	280 (43)	295 (34)	325 (79)	329 (75)
Variability	43 (24)	49 (29)	58 (33)	77 (43)
Asymmetry	12 (11)	8 (7)	26 (33)	38 (45)

표 3. 변량분석 결과 (* $p < 0.02$, ** $p < 0.01$)

Table 3. ANOVA results

Variables	ANOVA results		
	Age-group difference	Sex difference	Age group*gender Interaction
	p-value	p-value	p-value
Dominant			
PMT	0.001**	0.412	0.797
Variability	0.001**	0.072	0.269
Nondominant			
PMT	0.011*	0.520	0.723
Variability	0.008**	0.123	0.400
Asymmetry	0.004**	0.549	0.300

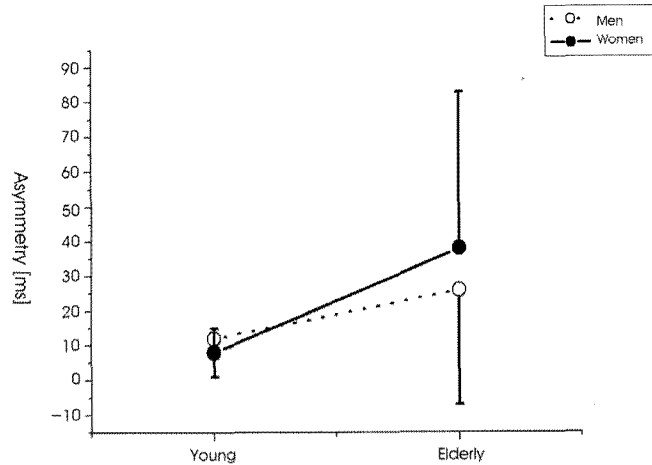


그림 4. 그룹간 비대칭성 비교 분석
Fig. 4. Comparison analysis of asymmetry among the groups

IV. 고찰

본 연구에서도 이전 연구들[10,17]과 같이 PMT에서 연령효과를 확인할 수 있었다(표 3). 고령자에서 PMT가 길어졌던 것은 청각과 관련된 뇌 부위의 퇴화[23], 흑질, 소뇌, 피각 그리고 피질 부위에서의 신경들의 퇴화[24,25]로 인해 중추 신경의 지연이 길어졌기 때문일 가능성이 있다. 본 연구에서는 PMT에서의 연령효과 뿐 아니라, 여러 번 반복 측정하였을 때의 각 피험자 내 PMT의 변동성 또한 고령자가 젊은 성인에 비해 현저히 높은 것을 새롭게 발견했다. 이것은 보행시 장애물 등과 같은 외력에 여러 번 반응할 때 마다 PMT의 변동이 심한 것을 의미하며, 이러한 불안정한 반응은 낙상과도 직결될 가능성이 높다. 또한, 부측에서 고령자와 젊은 성인 사이에 유의한 차이의 정도가 낮았던 것은, 나이가 들수록 중추 신경의 퇴화로 인해 근육이 반응하는 능력의 감소가 부측에 비해 주측에서 주로 나타날 가능성을 시사한다.

고령자 여성이 남성에 비해 낙상비율이 높음에도 불구하고 본 연구에서 모든 PMT 분석 변수들은 고령자 여성과 남성 사이에는 유의한 차이를 볼 수가 없었다. 이것은 전경골근의 PMT가 고령자 여성이 고령자 남성에 비해 높은 낙상비율을 설명할 수 없음을 의미한다. 또한, 이와 같은 결과는 다음 두 가지의 가능성을 시사한다.

첫째, 전후방향 운동에 관여하는 전경골근이 낙상과 관련된 고령자 남녀의 자세제어능력의 차이와는 무관할 가능성이 있다. 전경골근은 자세 제어시 전후(anterior-posterior) 방향에 대하여 관여를 하는 근육이다[26]. 젊은 성인과 고령자를 대상으로 압력중심(COP:center of pressure)을 분석한 결과 고령자가 젊은 성인에 비해 자세 제어 능력이 낮은 것을 확인할 수 있었으나, 전후 방향의 자세균형제어능력은 남녀 사이에는 유의한 차이와 상호작용 효과가 없었다[27,28]. 반면에 좌우(medio-lateral) 방향에서는

연령효과 뿐 아니라 고령자 여성이 남성에 비해 유의하게 자세제어 능력이 낮은 것을 볼 수 있었다[27,28]. 이것은 고령자에서의 남녀 차이는 전경골근보다 좌우 방향의 자세제어와 관련이 있는 고관절의 내전근(adductor)과 외전근(abductor)에서 있을 가능성을 의미한다.

둘째, 전경골근에서의 전체 반응시간 중 PMT보다는 MT에서 남녀차이가 있을 가능성이 있다. 전체 반응시간은 중추 신경의 지연 결과인 PMT와 말초 신경의 지연 결과인 MT의 합으로 정의된다. 비록 자극에 반응하는 전경골근의 전체반응시간을 측정하는 것은 아닐지라도, Der과 Deary는 젊은 성인과 고령자의 단순반응시간(simple reaction time)이 연령 효과를 가질 뿐 아니라 여성이 남성에 비해 유의하게 길다는 것을 확인하였다[29]. PMT에서 남녀 차이가 없고 단순반응시간에서 유의한 차이가 있었던 것은 중추 신경의 지연보다 말초신경의 지연이 고령자 여성의 높은 낙상 비율을 설명 해 줄 수 있는 분석 요소일 가능성을 의미한다.

따라서, 앞으로의 연구에서는 첫 번째 가능성에 대한 실험으로서 전경골근 뿐 아니라 내전근과 외전근의 측정도 추가적으로 필요할 것이고, 두 번째 가능성에 대한 실험으로서 PMT뿐 아니라 MT의 분석도 필요할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구에서는 고령자 남녀와 젊은 성인 남녀를 대상으로 전경골근의 전운동 반응시간을 측정하였다. PMT와 피험자 내 변동성은 주측과 부측 모두에서 고령자가 젊은 성인에 비해 유의하게 길었다. 또한, PMT의 비대칭성도 고령자가 젊은 성인보다 유의하게 컸다. 모든 분석변수에서 남녀사이의 유의한 차이와 상호작용 효과는 발견하지 못했다.

참고문헌

- [1] A.J. Campbell, J. Reinken, B.C. Allan, and G.S. Martinez, "Falls in old age: a study of frequency and related clinical factors," *Age Ageing*, vol. 10, no.4, pp.264-270, 1981.
- [2] S. Kojima, T. Furuna, N. Ikeda, M. Nakamura, and Y. Sawada, "Falls among community-dwelling elderly people of Hokkaido, Japan," *Geriatr Gerontol Int*, vol. 8, no.4, pp.272-277, 2008.
- [3] M.J. Gibson, R.O. Andres, T.E. Kennedy, L.C. Coppard, "The prevention of falls in later life. A report of the Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly," *Dan Med Bull*, vol. 34 Suppl 4, pp.1-24, 1987.
- [4] T. Masud, and R.O. Morris, "Epidemiology of falls," *Age Ageing*, vol. 30 Suppl 4, pp.3-7, 2001.
- [5] K. Aoyagi, P.D. Ross, J.W. Davis, R.D. Wasnich, T. Hayashi, and T. Takemoto, "Falls among community-dwelling elderly in Japan," *J Bone Miner Res*, vol. 13, no.9, pp.1468-1474, 1998.
- [6] C.Y. Cho, and G. Kamen, "Detecting balance deficits in frequent fallers using clinical and quantitative evaluation tools," *J Am Geriatr Soc*, vol. 46, no.4, pp.426-430, 1998.
- [7] R.W. Sattin, "Falls among older persons: a public health perspective," *Annu Rev Public Health*, vol. 13, pp.489-508, 1992.
- [8] W.P. Berg, H.M. Alessio, E.M. Mills, and C. Tong, "Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults," *Age Ageing*, vol. 26, no.4, pp.261-268, 1997.
- [9] M.E. Tinetti, M. Speechley, and S.F. Ginter, "Risk factors for falls among elderly persons living in the community," *N Engl J Med*, vol. 319, no.26, pp.1701-1707, 1988.
- [10] V. Weerdesteyn, B. Nienhuis, A.C. Geurts, and J. Duysens, "Age-related deficits in early response characteristics of obstacle avoidance under time pressure," *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, vol. 62, no., pp.1042-1047, 2007.
- [11] D. Bunce, S.W. MacDonald, and D.F. Hultsch, "Inconsistency in serial choice decision and motor reaction times dissociate in younger and older adults," *Brain Cogn*, vol. 56, no.3, pp.320-327, 2004.
- [12] D.P. Laroche, C.A. Knight, J.L. Dickie, M. Lussier, and S.J. Roy, "Explosive force and fractionated reaction time in elderly low- and high-active women," *Med Sci Sports Exerc*, vol. 39, no.9, pp.1659-1665, 2007.
- [13] Tang PF, Woollacott MH. Balance control in the elderly. In: Bronstein AM, Brandt T, Woollacott M, editors. Clinical disorders of balance, posture and gait. New York: Arnold, pp. 186-267, 1996.
- [14] L. Larsson, G. Grimby, and J. Karlsson, "Muscle strength and speed of movement in relation to age and muscle morphology," *J Appl Physiol*, vol. 46, no.3, pp.451-456, 1979.
- [15] D.G. Thelen, A.B. Schultz, N.B. Alexander, and J.A. Ashton-Miller, "Effects of age on rapid ankle torque development," *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, vol. 51, no.5, pp.M226-232, 1996.
- [16] E.R. Lassau-Wray, and A.W. Parker, "Neuromuscular responses of elderly women to tasks of increasing complexity imposed during walking," *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, vol. 67, no.5, pp.476-480, 1993.
- [17] A. Nardone, R. Siliotto, M. Grasso, and M. Schieppati, "Influence of aging on leg muscle reflex responses to stance perturbation," *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 76, no.2, pp.158-165, 1995.
- [18] R.H. Whipple, L.I. Wolfson, and P.M. Amerman, "The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study," *J Am Geriatr Soc*, vol. 35, no.1, pp.13-20, 1987.
- [19] D. Manchester, M. Woollacott, N. Zederbauer-Hylton, and O. Marin, "Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult," *J Gerontol*, vol. 44, no.4, pp.M118-127, 1989.
- [20] M.H. Woollacott, A. Shumway-Cook, and L.M. Nashner, "Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination," *Int J Aging Hum Dev*, vol. 23, no.2, pp.97-114, 1986.
- [21] A.J. van den Bogert, M.J. Pavol, and M.D. Grabiner, "Response time is more important than walking speed for the ability of older adults to avoid a fall after a trip," *J Biomech*, vol. 35, no.2, pp.199-205, 2002.
- [22] P.W. Hodges, and B.H. Bui, "A comparison of computer-based methods for the determination of onset of muscle contraction using electromyography," *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, vol. 101, pp.511-519, 1996.
- [23] D.O. Smith, "Reduced capabilities of synaptic transmission in aged rats," *Exp Neurol*, vol. 66, no.3, pp.650-666, 1979.
- [24] S.J. Buell, and P.D. Coleman, "Dendritic growth in the aged human brain and failure of growth in senile dementia," *Science*, vol. 206, no.4420, pp.854-856, 1979.
- [25] N. Vijayashankar, and H. Brody, "A quantitative study of the pigmented neurons in the nuclei locus coeruleus and subcoeruleus in man as related to aging," *J Neuropathol Exp Neurol*, vol. 38, no.5, pp.490-497, 1979.
- [26] B.E. Maki, P.J. Holliday, and A.K. Topper, "A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population," *J Gerontol*, vol. 49, no.2, pp.M72-84, 1994.
- [27] V.P. Panzer, S. Bandinelli, and M. Hallett, "Biomechanical assessment of quiet standing and changes associated with aging," *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 76, no.2, pp.151-157, 1995.
- [28] J.W. Kim, G.M. Eom, C.S. Kim, D.H. Kim, J.H. Lee, B.K. Park, and J. Hong, "Sex differences in the postural sway characteristics of young and elderly subjects during quiet natural standing," *Geriatr Gerontol Int*, 2010 (in print).
- [29] G. Der, and I.J. Deary, "Age and sex differences in reaction time in adulthood: results from the United Kingdom Health and Lifestyle Survey," *Psychol Aging*, vol. 21, no.1, pp.62-73, 2006.