

## 고령자 남녀의 발목관절 근육 반응시간의 비교

김지원<sup>1</sup> · 정홍영<sup>1</sup> · 김효희<sup>1</sup> · 권유리<sup>1</sup> · 엄광문<sup>1,2</sup> · 이정환<sup>1,2</sup> · 김경섭<sup>1,2</sup> · 전재훈<sup>1,2</sup> · 박병규<sup>3</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 의학공학부

<sup>2</sup>건국대학교 의공학실용기술 연구소

<sup>3</sup>고려대학교 병원 재활의학과

## Comparison of Reaction Times of Ankle Joint Muscles in the Elderly Men and Women

Ji-Won Kim<sup>1</sup>, Hong-Young Jeong<sup>1</sup>, Hyo-Hee Kim<sup>1</sup>, Yu-Ri Kwon<sup>1</sup>, Gwang-Moon Eom<sup>1,2</sup>,  
Jeong-Whan Lee<sup>1,2</sup>, Kyung-Seoup Kim<sup>1,2</sup>, Jae-Hoon Jun<sup>1,2</sup> and Byung Kyu Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Biomedical Engineering, Konkuk University

<sup>2</sup>Research Institute of Biomedical Engineering, Konkuk University

<sup>3</sup>Department of Neurology, Korea University College of Medicine

(Received May 10, 2012. Accepted October 19, 2012)

**Abstract:** Elderly women are reported to have greater risk of falls. The purpose of this paper was to investigate the possible gender differences in the reaction performance of ankle joint muscles, which have dominant role in the control of sagittal plane balance. Twenty-six elderly men and women with comparable mean age participated in this study. Reaction times to the audible beeps were measured in the tibialis anterior muscle and gastrocnemius muscle. Reaction time variables included premotor time, electromechanical delay and total reaction time. Gender difference in each reaction time was investigated by independent t-test. In both muscles, premotor time was longer in men but the electromechanical delay was longer in women ( $p < 0.05$ ). Resulting total reaction time was longer in men in tibialis anterior muscle ( $p < 0.01$ ) and it tended to be longer in men also in gastrocnemius muscle ( $p = 0.25$ ). The results demonstrates that the overall reaction performances of elderly women is better than or comparable to those of elderly men in ankle joint muscles. This suggests that the reaction performance of ankle muscles is hardly the cause of the greater risk of falls in elderly women.

**Key words:** Reaction time, Ankle joint, Gender difference, Risk of falls

### I. 서 론

고령자 낙상은 일상생활 활동의 삶의 질을 저하시키는 심각한 문제로서[1-2], 고령화 시대로 인해 그 비율은 급격히 증

가하고 있다. 특히, 고령자 여성이 남성에 비해 10~49% 더 많은 것으로 보고되고 있다[3-5].

이러한 고령자 낙상은 반응시간과 밀접한 관련이 있다. 반응시간(reaction time: RT)은 외부 자극에 반응하여 동작 하는데 까지 걸리는 시간을 의미하며 근육의 반응속도를 정량적으로 평가하기 위한 대표적인 지표로 사용되어 왔다[6]. 예를 들어, 예상하지 못한 외란에 대한 균형 회복시 근육의 빠른 반응속도는 중요한 역할을 하며 낙상이 발생할 수 있는 상황에 신속히 대처할 수 있다. 하지만, 나이가 들면서 반응시간은 증가하게 되고[7], 이것은 낙상으로 이어질 가능성이 높은 것으로 보고되고 있다[8].

반응시간은 크게 전운동 시간(premotor time: PMT)과

Corresponding Author : Gwang-Moon Eom  
School of Biomedical Engineering, College of Biomedical & Health Science, Konkuk University, 322 Danwol-dong, Choonju, Choonbuk, 380-701 Korea  
TEL: +82-43-852-9890 / FAX: +82-43-852-9890  
E-mail : gmeom@kku.ac.kr

본 논문은 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업(2012-025502)과 중견연구자지원사업(2011-0015824)의 지원으로 이루어짐.

전기역학적 지연(Electromechanical delay: EMD)으로 나눌 수 있다. PMT는 외부 자극으로부터 근육이 최초 활성화되기 시작하는 시점까지 걸리는 시간을 의미하며 EMD는 근육이 최초 활성화 되는 시점부터 관절의 토크가 발생하기까지 걸리는 시간을 의미한다(그림 2)[9]. 즉, PMT는 자극 시점으로부터 대뇌피질, 운동 뉴런을 거쳐 운동 신경의 말단인 운동종판(motor end-plate)에 도달하기까지 걸리는 시간으로서, 신경 요소에 의한 반응시간을 의미하며, EMD는 운동종판에서 아세틸콜린 분비를 거쳐 액틴과 마이오신 필라멘트의 십자형교로 인해 근육이 수축하여 역학적인 힘이 발생하기까지 걸리는 시간으로서, 근육 요소에 의한 반응시간을 의미한다.

고령자의 신경계 및 근육계는 퇴화되었을 가능성이 많기 때문에 PMT 및 EMD 측정을 통해 신경계 및 근육계의 지연을 정량적으로 조사하는 것이 중요하다. PMT를 측정하기 위해서는 외란을 인가하거나 청각과 시각과 같은 감각 자극을 인가하게 된다. 고령자의 PMT는 주로 흑질(substantia nigra), 소뇌(cerebellum), 피각(putamen) 그리고 cortex 등과 같은 뇌 영역의 퇴화로 인해 길어진 것이기 때문에[19-

20], PMT의 대부분은 중추 신경 지연(central processing delay)라고 할 수 있다. 즉, 자극의 종류가 전체 PMT에 관여하는 정도는 미약하다고 할 수 있다. 청각 및 시각과 같은 감각 자극에 반응하는 시간을 측정하는 방법은 외란 자극을 인가하는 실험과 비교하여 고령자들에게 쉽고 안전하게 적용할 수 있는 장점이 있고, 낙상과 관련이 있는 신경 및 근육계의 반응 속도를 정량적으로 측정할 수 있다.

실제로, 많은 연구들이 고령자를 대상으로 감각(sensory) 자극에 반응하는 근전도 및 관절의 토크를 측정하여 PMT 및 EMD를 조사하였다. Laroche 등은 일상생활의 활동성이 높은 고령자와 낮은 고령자를 대상으로 PMT와 EMD를 비교하였고[9], 낙상을 경험한 고령자를 대상으로 PMT와 EMD를 조사한 바 있다[10]. 하지만, 과거의 연구들은 젊은 성인과 고령자의 반응시간 차이를 조사한 바 있지만[13], 낙상비율이 높은 고령자 여성이 고령자 남성에 비해 어떠한 반응시간의 차이가 있는지를 조사하지 못한 제한점이 있었다. 특히, 고령자 여성이 남성에 비해 신경계나 근육계와 같은 어느 특정 요소에서 반응 지연 차이가 존재하는지 조사하지 못하였다. Eom과 Kim 등이 젊은 성인과 고령자를 대상으로

164

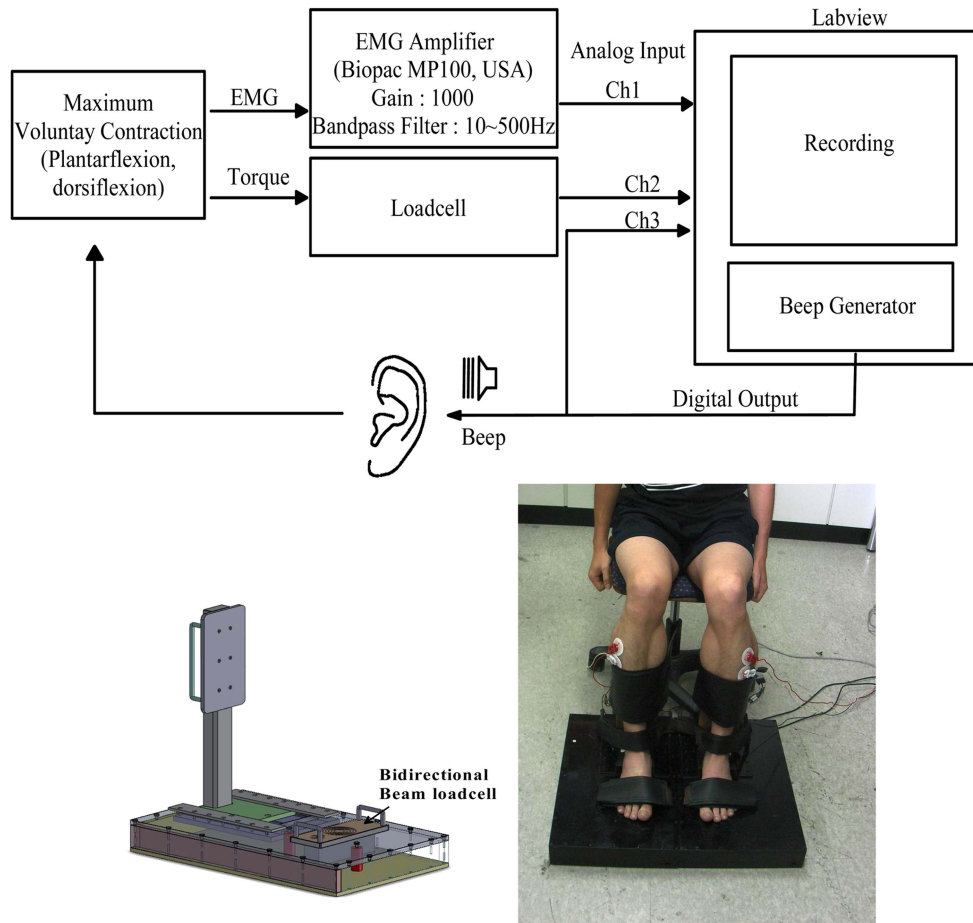


그림 1. 실험 장치 셋업과 반응시간 과제  
Fig. 1. Experimental set-up and reaction time task

PMT의 성별 효과(gender effect)를 조사한바 있지만 PMT만 조사하였을 뿐 EMD 및 전체 반응시간(total reaction time: TRT)은 조사하지 못하였다[11-12].

각각 자극에 대한 근육의 반응 성능을 알기 위해서는, 신경 요소에 의한 PMT 뿐 아니라 근육요소에 의한 EMD도 함께 조사하여 전체 반응시간을 분석하는 것이 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 고령자를 대상으로 PMT, EMD 그리고 TRT를 측정하고, 남성과 여성을 비교하고자 한다.

본 연구에서 반응시간을 측정하기 위한 대상근육으로서, 시상면에서의 자세균형 유지에 중요한 기능을 담당하는 발목 근육인 전경골근과 비복근이 사용되었다. 본 연구의 목적은 고령자 남녀의 족관절 근육의 PMT, EMD 그리고 TRT를 비교하는 것이다.

## II. 방 법

### 1. 실험 방법

26명의 고령자(남: 70~81세 13명, 여: 69~81세 13명)가 본 연구에 참여하였다. 피험자는 지팡이나 의지 착용 없이 스스로 보행이 가능한 사람으로 선별되었고, 신경계 및 근골격 계통의 질환자나 청각에 이상이 있는 사람은 본 연구에서 제외되었다. 표 1은 본 연구에 참여한 피험자의 나이, 키, 몸무게, 체지방을 나타내고 있다. 이 때, 체지방은 체지방 측정기(HBF-357, Omron Corporation, Japan)를 이용하여 측정하였다.

그림 1은 발목 관절 근육의 반응시간을 측정하기 위한 실험 장치의 셋업과 반응시간 과제를 수행하는 모습을 나타내고 있다.

저축 굴곡(plantar-flexion)과 배축 굴곡(dorsi-flexion) 운동시 등척성(isometric) 상태를 유지하기 위해 그림 1과 같은 장치를 제작하였다. 장치 안에는 자극에 반응하는 저축 굴곡 토크와 배축 굴곡 토크를 측정하기 위해 양방향 로드셀(BCA-100L, CAS Inc., Korea)을 삽입하였고, 등척성 수축을 유지하기 위해 종아리와 발등 부분을 스트랩으로 고정하였다.

피험자의 전경골근과 비복근의 근전도를 측정하기 위해 MP100(Biopac Systems Inc, USA)이 사용되었다. 이 때 증폭 이득은 1000배, 대역통과필터의 통과대역은 10~500

Hz로 설정하였다.

발목 관절 근육의 EMD 및 TRT를 산출하기 위해서는 근전도 발현 후 발생하는 발목 관절의 모멘트 신호가 필요하다. 이때 발목의 관절 모멘트는 등척성 상태에서 측정하는 것이 일반적이다. 따라서, 본 연구에서는 자극 방법으로서 등척성 상태에서 족관절 모멘트를 측정할 수 있고 손쉽게 자극을 생성할 수 있는 청각 자극을 선택하였다. 많은 연구들이 PMT 및 EMD를 간단하면서도 정량적으로 측정하기 위해 청각 자극과 같은 감각기(sensory) 자극을 사용해왔다[13-15]. 고령자들은 신경계 및 근육계가 퇴화될 가능성이 크기 때문에 이러한 감각기 자극에 대한 반응 시간 측정을 통해 신경계 및 근육계의 지연을 정량적으로 계측하는 것이 중요하다.

측정된 근전도와 로드셀 신호를 계측하고 청각 자극 신호(auditory stimulation beep)의 생성을 위해 랩뷰 8.0과 데이터 수집 보드(USB-6215, National Instruments, USA)가 사용되었다. 이때 샘플링 주파수는 1 kHz로 설정하였고, 청각 자극은 6회 인가하였다. 피험자가 신호의 패턴을 예측하여 수축 하는 것을 방지하기 위해 펄스 지속시간(duration)은 3,4,5초 3가지 패턴이 각각 2번씩 랜덤하게 발생되도록 하였고, 자극간 시간도 3,4,5초가 랜덤하게 삽입되도록 하였다.

피험자는 안전성을 고려하여 의자에 자연스럽게 앉은 자세에서만 실험을 실시하였다. 피험자는 전경골근과 비복근에 알코올 소독 후 표면 전극(Ag/AgCl Monitoring Electrode 2223, 3M, USA)을 부착하였고, 신호음에 반응하여 최대 힘으로 수축하고 신호음이 중지될 때까지 수축상태를 유지하도록 지시받았다. 피험자들이 실험 방법을 숙지하지 못한 채 실험에 임할 경우, 인지 기능 저하 등에 의한 지연 요소 때문에 순수 반응 시간을 측정하지 못할 가능성이 있다. 따라서, 각 피험자마다 순수 반응능력을 최대한 끌어내기 위해, 피험자는 약 3분여 동안 실험 방법을 숙지 후 실험을 실시하였다. 실험은 주축(dominant)과 부축(nondominant)에서 배굴과 저굴 방향으로 각각 1회씩 시행되었다.

### 2. 데이터 및 통계 분석

EMG 신호는 전파 정류한 후 50 Hz의 차단주파수를 갖는 4차 영위상 Butterworth 저역통과필터로 필터링 하여

표 1. 피험자 특성

Table 1. Subject characteristics

	age		height		weight		body fat ratio	
	mean	(SD)	mean	(SD)	mean	(SD)	mean	(SD)
Men (n = 13)	74.2	3.17	164	5.86	64	13.1	25.3	4.88
Women (n = 13)	74.3	3.22	149	4.86	53.6	8.61	35.4	3.77

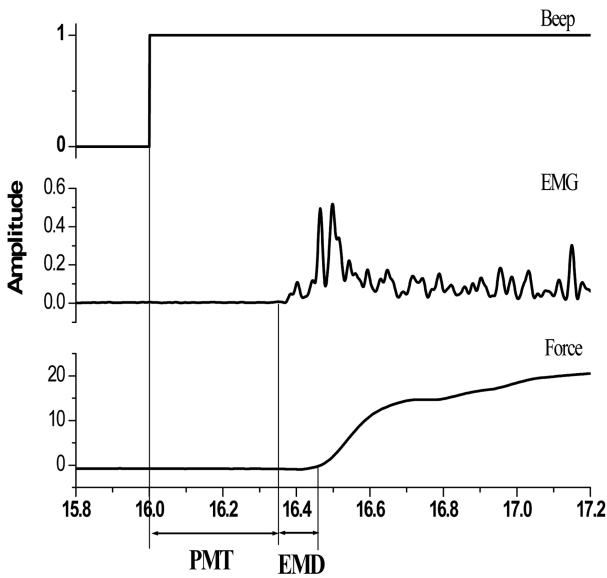


그림 2. PMT와 EMD의 대표적인 예  
Fig. 2. Representative example of PMT and EMD

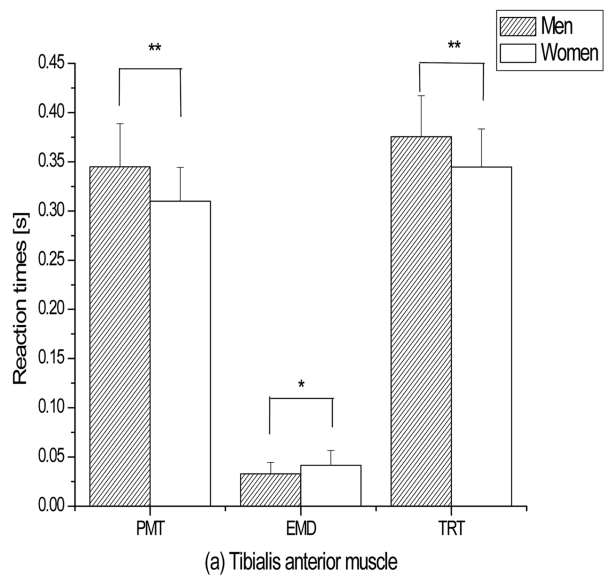
포락선을 추출하였고, 로드셀 신호는 10 Hz의 차단주파수를 갖는 4차 영위상 Butterworth 저역통과필터를 이용하여 고주파 잡음을 제거하였다.

그림 2는 비프음에 반응하는 근전도 포락선과 로드셀 신호를 이용하여 PMT와 EMD를 정의하는 방법을 나타내고 있다. PMT는 비프음 시작으로부터 근전도 활성화 시점까지 걸리는 시간, EMD는 근전도 활성화 시점부터 힘 발생 시점까지 걸리는 시간으로 정의 하였다. PMT와 EMD의 합을 전체 반응시간(total reaction time: TRT)이라 정의 하였다. 이때 근전도 활성화 및 힘 발생 시작 시점을 결정하기 위한 역치(threshold)는 자극 전 1초 동안의 근전도 포락선 및 로드셀 신호의 평균값에 표준편차의 3배를 더한 값으로 결정하였다[16]. 근전도 포락선과 로드셀 신호 각각 100 ms 동안의 평균값이 문턱치보다 클 때, 그 시작 시점을 근전도의 시작시각 및 힘 발생 시작시각으로 정의하였다. 모든 데이터 분석을 위해 매트랩 6.5(Math Works, USA)가 사용되었다.

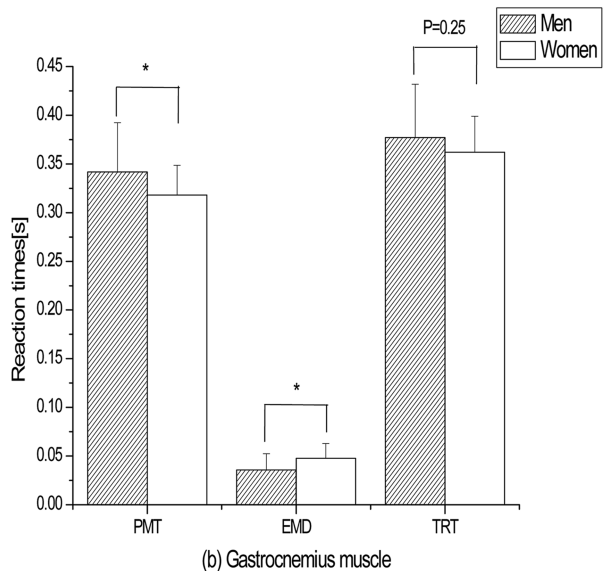
전경골근과 비복근에 대해 고령자 남성과 여성의 PMT 및 EMD를 비교하기 위해 독립 표본 t 검증(independent t-test)을 실시하였고 유의성 수준은  $p < 0.05$ 에서 검증하였다. Type II error를 줄이기 위해 Bonferroni correction을 사용하지 않았다. 본 연구의 통계 분석을 위해 SPSS 16.0이 사용되었다.

### III. 결과 및 고찰

그림 3은 발목 근육들의 PMT, EMD 그리고 TRT에 대



(a) Tibialis anterior muscle



(b) Gastrocnemius muscle

그림 3. 전경골근과 비복근의 반응시간에 대한 성별 차이(\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )

Fig. 3. Gender difference of reaction time in tibialis anterior and gastrocnemius muscles (\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ )

해 고령자 남녀를 비교한 결과를 나타내고 있다. PMT의 경우, 전경골근과 비복근 모두에서 고령자 남성이 여성에 비해 유의하게 길었다. 반면에, EMD의 경우, 전경골근과 비복근 모두 여성이 남성에 비해 유의하게 길었다. PMT와 EMD의 합인 전체 반응시간 TRT는 전경골근의 경우 남성이 여성에 비해 유의하게 길었고, 비복근의 경우 통계적으로 유의한 차이는 없었지만( $p = 0.25$ ), 남성이 여성에 비해 긴 경향을 보였다.

창각 자극에 대한 반응 시간 측정은 외관 인가와 비교하여 고령자 및 환자들을 대상으로 쉽게 피험자의 신경계 및 근육계 반응 능력을 측정할 수 있는 장점이 있다. 따라서,

많은 연구들이 젊은 성인, 고령자, 뇌졸중 환자 등을 대상으로 청각 자극과 같은 감각 자극에 반응하는 시간을 정량적으로 측정하였다. Lewis 등은 젊은 성인과 고령자를 대상으로 청각 자극에 반응하는 반응 속도를 측정하였고[13], CHAE 등은 반신마비 환자들을 대상으로 청각 자극에 반응하는 근전도 반응시간을 측정할 바 있다. 본 연구에서도 고령자 남성과 여성을 대상으로 청각 자극에 반응하는 반응능력을 측정 비교하였다[15].

고령자 여성의 낙상 비율이 남성에 비해 높음에도 불구하고, 본 연구에서는 PMT와 TRT에서 오히려 여성이 남성에 비해 길었다. 이것은 발목 근육의 PMT와 TRT가 고령자 여성의 높은 낙상비율을 설명할 수 없음을 의미한다. 과거의 연구에서, 좌우 균형과 관련이 있는 고관절 외전근의 경우에는 PMT에서는 남녀 차이가 없었지만, 고령자 여성의 EMD가 남성에 비해 길어 그 결과 TRT가 길어졌다는 보고가 있었다[14]. 또한, 고령자 여성의 발목 근육에 의해 제어되는 앞뒤 방향의 균형능력은 남성과 비교하여 유의한 차이가 없었지만, 고관절 근육들에 의해 제어되는 좌우 방향의 균형 능력은 남성에 비해 떨어진다는 보고도 있었다[17]. 이러한 결과들은 좌우 방향의 균형과 밀접한 관련이 있는 고관절 근육 특성들은 고령자 여성의 높은 낙상 비율을 설명할 수 있지만, 시상면(전후방향)의 균형능력과 관련된 족관절 근육의 반응속도는 고령자 여성의 높은 낙상 비율의 원인이 될 수 없음을 시사한다.

본 연구에서의 발목근육의 EMD의 남녀차는 흥미롭게도 고관절 근육에서의 EMD의 남녀차[14]와 일치한다. 이것은, 고령자에 있어, 근육 자체의 속성이 남녀에서 다를 수 있음을 암시한다. EMD는 칼슘 유리 및 근소포체 재흡수 과정에서 흥분-수축 결합(excitation-contraction coupling), 근 건의 강성도(musculotendinous stiffness)[10] 그리고 속근 섬유(fast muscle fiber)의 수[18]와 밀접한 관련이 있다. 어떤 요소가 EMD의 남녀차를 유발하는지에 대해서 생리학, 역학적 연구가 이루어져야 한다. 또한, 고관절 근육에서 존재하지 않았던 PMT의 남녀차가 족관절 근육에서는 왜 나타나는지에 대해서도 차후의 연구가 필요하다.

## V. 결 론

본 연구에서는 고령자 남성과 여성을 대상으로 전경골근과 비복근의 반응시간을 비교하였다. 발목 근육의 PMT는 여성이 남성보다 유의하게 길었다. 반면에, EMD는 남성이 여성보다 유의하게 길었다. 전체 반응시간은 전경골근에서 남성이 여성에 비해 유의하게 길었다. 본 연구 결과는 시상면의 근육 반응시간은 고령자 여성의 높은 낙상 비율을 설명할 수 없음을 제안한다.

## References

- [1] 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.
- [2] T. Masud, and R.O. Morris, "Epidemiology of falls", *Age Ageing*, vol. 30 Suppl 4, pp. 3-7, 2001.
- [3] 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.
- [4] R.W. Sattin, "Falls among older persons: a public health perspective", *Annu Rev Public Health*, vol. 13, pp. 489-508, 1992.
- [5] 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.
- [6] G.E. Stelmach, P.C. Amrhein and N.L. Goggin, "Age differences in bimanual coordination", *J Gerontol*, vol. 43, no. 1, pp. 18-23, 1988.
- [7] B.L. Roberts, "Effects of walking on reaction and movement times among elders", *Percept Mot Skills*, vol. 71, no. 1, pp. 131-140, 1990.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] D.P. LaRoche, K.A. Cremin, B. Greenleaf and R.V. Croce, "Rapid torque development in older female fallers and non-fallers: a comparison across lower-extremity muscles", *J Electromyogr Kinesiol*, vol. 20, no. 3, pp. 482-488, 2010.
- [11] J.W. Kim, Y.R. Kwon, J. N. Shin, G. M. Eom, C. S. Kim, B. K. Park, J.H. Hong, "Premotor-time of the Ankle Muscle during Bilateral Contraction in the Elderly", *J. Biomed. Eng.* vol. 31, no. 3, pp. 245-250, 2010.
- [12] G.M. Eom, J. W. Kim, Y. R. Kwon, B. K. Park, J. H. Jun, J. S. Eom, H. Y. Pyeon, J. H. Hong, "Effects of age and sex on the electromyographic reaction time of tibialis anterior muscle contraction", *J Korean Acad Rehabil Med*, vol. 35, no. 2, pp. 229-235, 2011.
- [13] R.D. Lewis, and J.M.M. Brown, "Influence of muscle activation dynamics on reaction time in the elderly", *Eur J Appl Physiol*, vol. 69, pp. 344-349, 1994.
- [14] J.W. Kim, Y. R. Kwon, H. Y. Chung, G.M. Eom, J.H. Jun, J. S. Chung and B.K. Park, "Age-sex differences in the hip abductor muscle properties", *Geriatr Gerontol Int*, vol. 11, no. 3, pp. 333-340, 2010.
- [15] J. Chae, G. Yang, B. K. Park, I. Labatia, "Delay in initiation and termination of muscle contraction, motor impairment, and physical disability in upper limb hemiparesis", *Muscle Nerve*, vol. 25, pp. 568-575, 2002.
- [16] 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.

- [17] 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*, vol. 10, no. 2, pp. 191-198, 2010.
- [18] J. Lexell, "Human aging, muscle mass, and fiber type composition", *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, vol. 50, pp. 11-16, 1995.
- [19] 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.
- [20] 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.