중ㆍ고령자의 최소발끝높이 특성에 따른 걸려 넘어짐 위험성

박재석*[†] · 변정환*

The Risk of Trip and Fall by Characteristics of the Minimum Toe Clearance in the Middle-aged

Jae Suk Park*† · Jung Hwan Byeon*

[†]Corresponding Author

Jae Suk Park
Tel: +82-52-703-0844
E-mail: parkjs@kosha.or.kr

Received : October 2, 2019 Revised : October 21, 2019 Accepted : October 24, 2019

Copyright@2019 by The Korean Society of Safety All right reserved.

Abstract: Fall accident is the most frequent accident type of occupational accidents. As the age of workers increases, trip and fall accident increases more than other types of occupational accident in the middle-aged group. In this study, the gait characteristics of 25 middle-aged participants (mean ages 47.4, S.D. 5.8) were studied to analyze the trip and fall risks. The Minimum toe clearance(MTC) against the floor surface was measured in the variable conditions of gait speed by a motion capture system. In the 50s age group, the MTC decreased and the MTC tended to reduce the variation with increasing walking speed in the level walking. Therefore, the trip and fall risks for the 50s age group is higher than the 40s age group. Especially, the faster walking speed will increase the trip and fall risks even more.

Key Words: fall accident, minimum toe clearance, middle-aged, trip and fall risk

1. 서 론

2018년 국내 산업현장에서는 업무상 사고로 인하여 발생하는 재해자 수가 약 10만명에 이르렀으며 넘어짐 재해자는 19,077명이 발생하여 발생형태별로 분류하였 을 때 가장 많이 발생하는 재해 형태로 나타났다¹⁾.

넘어짐 재해의 유형으로는 미끄러져 넘어짐, 걸려 넘어짐, 계단에서 넘어짐 등으로 분류할 수 있으며 이중 걸려 넘어짐 재해는 4,348명으로 넘어짐 재해의 22.8%를 차지하고 있다. 이러한 걸려 넘어짐 재해 발생 비율을 연령대별로 보면 Fig. 1에서와 같이 연령대가 증가함에 따라 전체 넘어짐 재해와 같은 경향으로 걸려 넘어짐 재해도 증가하고 있다. 또한, 전체 산업재해와 국내 경제활동인구(2018년 12월 기준)의 연령대별 점유율에 비하여 걸려 넘어짐 재해는 40대 까지는 상대적 비율이 낮으나 50대에서 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

한편 국내·외에서 넘어짐 재해의 유형인 미끄러져 넘어짐, 걸려 넘어짐에 대한 발생원인 및 개선 대책에 관한 연구가 진행되어 왔고²⁻⁷⁾ 국내 사회의 고령화로 인한 산업재해 발생 특성과 중·고령자의 노화에 따른 산재예방 방안에 대한 연구가 수행되었지만^{8,9)} 중·고 령 근로자의 걸려 넘어짐 재해 증가 원인에 대한 연구 는 부족한 실정이다.

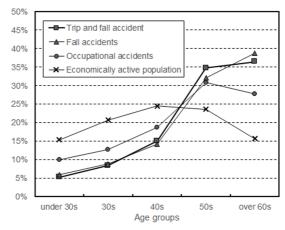


Fig. 1. Share of trip and fall accidents, occupational accidents and economically active population by age groups in 2018,

걸려 넘어짐 사고 발생에 영향을 미치는 요인은 물리적, 인지적, 심리적, 환경적 요인 등 다양하고 복합적인 요인이 작용할 수 있지만 많은 선행 연구에서 직접적인 물리적 인자로써 보행 중 최소발끝높이 (MTC: minimum toe clearance) 변화에 대한 연구가 수행되어 왔다⁴⁷⁾.

Mills 등은 10명의 젊은 남성과 9명의 남성 고령자간의 최소발끝높이가 통계적으로 유의한 차이는 없었지만 고령자군 에서는 변동성이 높아 걸려 넘어질 위험성을 증가시킬 수 있다는 결론을 도출했고⁶⁾ 최근 Ribeiro(2019) 등은 여성 피험자 그룹을 젊은 성인, 중년, 노인으로 구분하였으며 노인층은 발끝높이가 낮고보행속도가 느리며 보행속도는 노인층의 발끝높이 변화에 영향을 주지 않는다는 결론을 도출했다⁷⁾. 그러나,이러한 선행 연구 결과로도 국내 재해 통계를 바탕으로 걸려 넘어짐 재해가 늘어나는 40, 50대 그룹에 대한보행 특성을 파악하기엔 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 걸려 넘어짐 재해가 급격히 증가하는 40대와 50대 사이의 중·고령자 그룹에서 보행 조건의 변화와 신체적 조건에 따라 최소발끝높이의 변화 특성을 실험적으로 분석함으로써 걸려 넘어질 위험성을 고찰하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 발끝높이 측정시스템

본 연구에서는 피험자의 보행 중 발끝높이 변화에 따른 보행 특성분석을 위해 피험자 발의 주요 위치를 추적할 수 있는 3차원 동작 분석 시스템(Northern Digital 社)을 이용하였다. 피험자의 하지에 Fig. 2와 같이 동작분석을 위한 적외선 마커를 부착하고, 마커 추

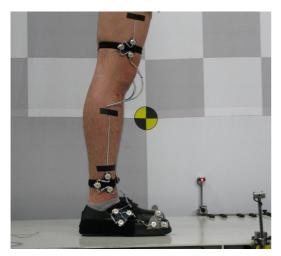


Fig. 2. Experimental marker set for minimum toe clearance analysis.

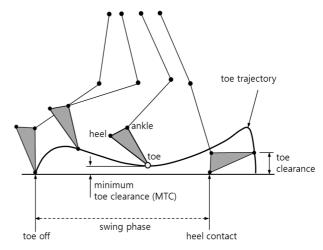


Fig. 3. Minimum toe clearance (MTC) and toe trajectory during swing phase.

적 카메라(NDI Optotrak Certus) 2대를 통해 마커의 위 치를 추적하여 Fig. 3과 같이 발끝(toe)의 궤적을 측정 하였다.

발끝은 보행 실험 중 지면으로부터 발끝을 떼는 순간(toe off)에 지면과 맞닿게 되어 독립적인 마커를 발끝에 직접 부착하면 실험 중 마커가 손상되는 문제가발생 한다⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 피험자에게 토캡(toe cap)이 있는 안전화를 지급하고 토캡 위에 3개의마커를 견고히 부착하여 이 마커들로부터 지역 좌표계를 설정하였다. 토캡의 좌표계 내에서 위치 지정 포인터를 이용하여 발끝의 좌표를 설정하고 토캡의 좌표계와 보행로를 기준으로 한 글로벌 좌표계의 상대 변위로부터 발끝의 위치를 추적하였다.

2.2 보행실험 조건

본 실험에서 이용된 보행로의 길이는 7 m로 보행 시작 시점에서 3~5 m 사이에서 한 사이클 이상의 유각기 (swing phase) 데이터가 측정되도록 하였다.

보행속도는 분당 60보에서 144보까지 12보 간격으로 총 8단계로 구분하여 측정하였으며 각각의 보행속도 조건에서 7번의 유효 데이터가 취득 될 때까지 반복하여 취득하였고 실험 순서는 보행속도를 증가시키거나 감소시켜가며 순차적으로 수행하지 않고 무작위로 수행하였으며 보행속도 제어는 피험자에게 박절기(metronome) 소리를 들려주며 이에 맞춰 보행하도록하였다.

데이터를 측정하기에 앞서 보행로와 보행속도 등 피험자가 실험 환경에 적응하도록 각 실험 조건에 따라연습 보행을 충분히 수행하도록 하였고 데이터 취득을위한 본 실험에서는 피험자가 눈높이의 표식을 바라보

고 보행하도록 하여 보행로를 의식하지 않도록 하였으며 보행 시작 위치에서 박절기에 맞춰 제자리걸음을 하다가 시작 신호에 맞춰 보행하도록 함으로써 데이터 취득 구간에서 최대한 자연스러운 보행이 되도록 하였다.

2.3 피험자

피험자는 공개적인 외부 공고를 통해 모집하였으며 40, 50대 남성 12명, 여성 13명의 지원자를 선정하였다. 본 연구는 피험자 대상 실험에 대한 내부 연구윤리심 의위원회의 심의를 거쳤으며 실험 전 피험자는 연구과정의 전반적인 소개와 함께 실험에 따른 위험성과 윤리적 문제에 대하여 설명을 듣고 실험 참가 동의서에 서명을 하였다. 실험에 참여하기 전에 피험자들에 대하여 하지의 외상, 음주 여부 등 일반적인 보행에 영향을 주는 신체적인 문제가 있는지를 파악하고 실험에 참여하도록 하였다.

또한, 보행실험에 앞서 보행특성 및 최소발끝높이 변화에 영향을 미칠 수 있는 신장, 샅높이, 몸무게 등을 측정하여 기록하였으며 본 연구에 참가한 피험자의 평균적인 신체 특성과 인구학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Demographics of participants

					mean (S.D.)
	No. of Participants	Age	Height [cm]	crotch height [cm]	weight [kgf]
Male	12	45.9 (5.7)	170.9 (4.0)	76.4 (2.5)	58.7 (7.7)
Female	13	48.8 (5.8)	154.5 (3.1)	66.5 (2.5)	72.0 (7.8)
Total	25	47.4 (5.8)	162.4 (9.0)	71.3 (5.6)	65.1 (10.1)

2.4 데이터분석

마커 추적 카메라로 측정한 데이터는 3차원 공간 내보행 및 동작분석 전용 프로그램인 C-MOTION 사의 Visual3D를 이용하여 분석하였으며, 본 연구에서의 주요 물리적 인자인 최소 발끝높이는 Fig. 3에서와 같이각 피험자들에 대하여 보행의 유각기(swing phase)가시작하는 발끝 떼기(toe off)에서부터 뒤꿈치 닿기(heel strike)의 한 사이클 중 유각기의 20~80% 시점에서 보행로와 발끝사이의 최소 가격을 추출하여 분석하였다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 보행속도에 따른 발끝높이 변화특성

보행 속도에 따라 피험자들 간의 발끝높이 변화의 유형을 살펴보면 일반적으로 Fig. 4와 같이 보행속도가

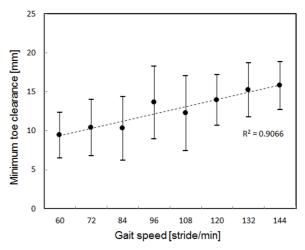


Fig. 4. variation of minimum toe clearance according to gait speed (42, female).

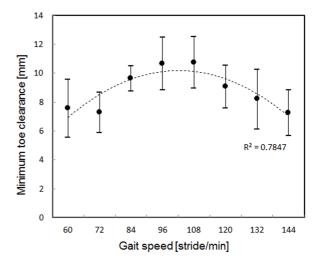


Fig. 5. variation of minimum toe clearance according to gait speed (50, female)

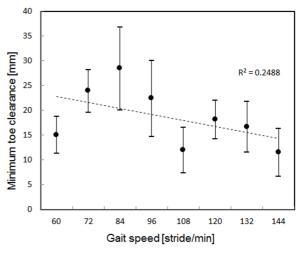


Fig. 6, variation of minimum toe clearance according to gait speed (42, male)

증가함에 따라 발끝높이도 증가하는 경향을 보였다. 이는 기존의 선행 연구결과와 젊은 성인의 발끝높이 변화와 같은 경향으로²⁾ 장애가 없고 정상적으로 보행 하는 사람의 일반적인 유형이라고 할 수 있다.

그러나 일부 피험자 군에서는 Fig. 5와 같이 보행 속 도에 따라 선형적인 상관성을 보이지 않고 보행속도가 빨라질수록 최소발끝높이가 증가하다가 낮아지는 유형과 보행속도에 따라 전혀 상관성을 보이지 않는 유형이 관찰되었다. 또한 일부 Fig. 6과 같이 보행속도가 증가할수록 오히려 발끝높이가 낮아지는 유형도 관찰되었다.

Table 2는 본 연구에 참가한 모든 피험자들에 대한 보행속도에 따른 발끝높이 변화를 회귀분석을 통해 결 정계수 R^2 와 통계적 유의성을 분석한 결과이다.

p값에 따라 0.05 미만의 유의성을 보인 피험자는 모두 결정계수가 0.5 이상으로 나타났고 보행속도 증가에 따라 최소 발끝높이도 올라가는 상관성을 나타내고 있어 Fig. 4와 같은 유형임을 알 수 있다.

Table 2. The linear regression analysis on the variation of minimum toe clearance with walking speed

Age groups	R square	Coefficient	p-value	
	0.496	0.060	0.051	
	0.847	0.095	0.001***	
	0.907	0.077	0.000***	
	0.841	0.345	0.001***	
	0.642	0.525	0.017*	
	0.562	0.090	0.032*	
	0.529	0.069	0.041*	
40s	0.272	0.038	0.185	
	0.012	- 0.008	0.795	
	0.002	0.003	0.918	
	0.249	- 0.101	0.208	
	0.631	0.051	0.019 *	
	0.743	0.106	0.006**	
	0.610	0.160	0.022*	
	0.555	0.126	0.034*	
	0.000	0.001	0.967	
	0.334	- 0.353	0.134	
	0.947	0.163	0.000***	
	0.009	0.008	0.821	
50-	0.048	0.018	0.603	
50s	0.754	0.177	0.005**	
	0.461	0.032	0.064	
	0.715	0.068	0.008**	
	0.319	0.051	0.144	
	0.166	- 0.016	0.316	

Table 3. Classification of subjects according to the significance of the regression analysis

unit: No. of participants (%)

Age groups	Sum.	p < 0.05	p >= 0.05
40s	15(100)	10(66.7)	5(33.3)
50s	10(100)	3(30.0)	7(70.0)

p값이 0.05이상인 피험자 군은 통계적으로 보행속도에 따른 발끝높이 변화와 특성이 유의미한 설명력을 가지지 못하는 것으로 나타났으며 보행속도의 증가에따라 발끝높이가 낮아지는 모든 경우(- coefficient)가 포함되는 것으로 나타났다.

p값 0.05를 기준으로 연령대별로 분류해 보면 Table 3과 같이 40대에서 피험자군 중 66.7%, 50대 피험자군 은 30% 비율로 나타났다.

이에 따라 분류된 회귀분석의 유의성이 높은 그룹과 낮은 그룹의 피험자군에 대하여 보행 속도에 따른 발끝높이 변화의 평균을 도식해 보면 Fig. 7과 같이 p < 0.05인 피험자군은 결정계수 R^2 이 0.956으로 높은 상관성을 보인 반면 그 외 피험자군에서는 0.158로 낮은 상관생을 보이고 보행속도가 증가함에도 발끝높이가 증가하지 않는 것으로 나타났다.

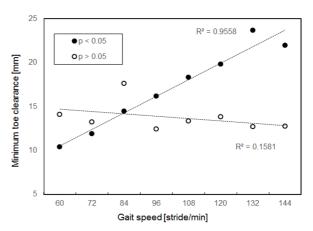


Fig. 7. Comparison of variation of minimum toe clearance among subject groups with the significance of the regression analysis.

Table 4. The result of t-test for physical factors difference between subject groups according to linear regression results

	Statistical significance	N	Mean	S.D.	p-value
Unight	p < 0.05	13	162.1	9.9	0.893
Height	p >= 0.05	12	162.6	8.4	
Weight	p < 0.05	13	65.3	9.8	0.919
	p >= 0.05	12	64.9	11.0	
Crotch height	p < 0.05	13	71.2	6.1	0.929
	p >= 0.05	12	71.4	5.2	0.929

한편, 두 피험자 그룹간의 신체적 특징인 신장, 몸무 게, 샅높이의 분포에 대한 유의성을 t 검정을 통해 분 석한 결과 Table 4와 같이 두 그룹간의 신체적 특성은 유의성이 없는 것으로 나타났다.

즉, 두 그룹간의 발끝높이 변화 특성의 차이는 신체 적 특성과 무관한 것으로 나타났다.

3.2 연령대 변화에 따른 발끝높이 변화

Table 2의 결과로부터 40대와 50대의 두 그룹에 대한 발끝높이 변화를 분석한 결과 Fig. 8과 같이 40대는 결정계수 0.931로 높은 상관성을 보이며 보행 속도가 증가할수록 발끝높이가 높아지는 반면 50대에서는 결정계수 0.084로 보행 속도 변화에 따라 발끝높이 변화가 상관성이 없는 것으로 나타났다.

한편, 비모수검정(Mann-Whitney U test)을 통하여 분당 60보에서 144보까지 각각의 보행 속도 조건에서의 40대, 50대 두 집단에 대한 발끝높이 분포의 차이에 대한 유의성을 분석해 보면 Table 5와 같이 분당 144보에

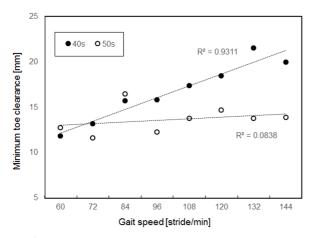


Fig. 8. Comparison of variation of minimum toe clearance between 40s and 50s age groups.

Table 5. Nonparametric Test Results of MTC by each gait speed condition between 40s and 50s age group

5 5 1				
Gait speed	Average N	n volvo		
[stride/min]	40s	50s	p-value	
60	11.8	12.7	0.471	
72	13.2	11.6	0.292	
84	15.7	16.4	0.346	
96	15.8	12.2	0.222	
108	17.4	13.8	0.149	
120	18.5	14.7	0.267	
132	21.5	13.7	0.059	
144	20.0	13.9	0.035*	

^{*}significant difference

Table 6. The result of t-test for physical factors difference between 40s and 50s age groups

	Age group	N	Mean	S.D.	p-value
Height	40s	13	166.8	8.2	0.008*
	50s	12	157.6	7.5	
Weight	40s	13	67.6	9.7	0.201
	50s	12	62.3	10.3	
Crotch height	40s	13	73.1	5.8	0.004
	50s	12	69.3	4.8	0.084

서 만이 유의수준 0.05를 기준으로 유의성을 갖는 것으로 나타났다. 그러나 보행속도가 증가할수록 p값이 낮아지는 경향을 보이고 있어 두 연령대의 발끝높이 차이는 보행속도가 높아질수록 통계적으로 유의성이 증가하는 것으로 나타났다.

또한, 두 연령대 그룹간의 신체적 특성을 t 검정을 통해 차이점을 분석한 결과 Table 6과 같이 40대 피험 자군의 신장이 유의미하게 큰 것으로 나타났으며 몸무게와 샅높이는 통계적으로 유의미한 차이가 없었지만 평균적으로 40대가 50대에 비하여 높은 것으로 나타났다.

3.3 성별에 따른 발끝높이 변화

Fig. 9는 피험자군을 남성과 여성의 성별에 따라 발끝높이 변화를 도식한 결과이다. 회귀분석 결과 남성과 여성 모두 보행 속도변화에 따라 강한 상관성을 보이고 있으나 비모수검정을 통하여 각 보행속도 조건에서의 남성과 여성의 차이점은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다.

특이점은 Table 7과 같이 성별 그룹간의 신체적 특성에 대한 차이점을 분석한 결과 신장, 체중, 샅높이

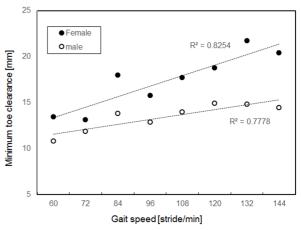


Fig. 9. Comparison of variation of minimum toe clearance between male and female.

Table 7. The result of t-test for physical factors difference between male and female

	Gender	N	Mean	S.D.	p-value
Height	Female	13	154.5	3.1	0.000***
	Male	12	170.9	4.0	
Weight	Female	13	58.7	7.7	0.000***
	Male	12	72.0	7.8	
Crotch height	Female	13	66.5	2.5	0.000***
	Male	12	76.4	2.5	0.000

모두 통계적으로 매우 높은 유의성을 나타내고 있고 남성이 모든 신체적 수치에서 높은 평균값을 나타내고 있지만 Fig. 9에서의 결과는 모든 보행 속도 조건에서 여성군의 발끝높이가 높게 나타났다.

이는 연령대별 분석과 상반된 결과 이며 3.1절의 회 귀분석의 유의성 유무에 따른 분석결과는 통계적으로 신체적 특성과 전혀 무관하다고 할 수 있는 점으로 미 루어 보아 본 실험의 결과로는 신체적 치수 차이와 최 소발끝높이 변화와는 통계적으로 상관성이 없는 것을 알 수 있다.

4. 토의 및 결론

최근 고령화 사회로 접어들면서 산업재해도 50대 이상의 중·고령자의 재해가 증가하고 있고 특히 넘어짐 재해가 중·고령자 층에서 많이 발생하고 있어, 본 연구에서는 넘어짐 재해의 주요 유형인 걸려 넘어짐 재해가 증가하는 중·고령자 중 40, 50대의 걸려 넘어짐 위험성에 대하여 주요 물리적 인자인 최소 발끝높이 변화를 통하여 분석하였다.

본 연구에 참여한 피험자군 에서는 신장, 몸무게, 샅 높이 등 신체적 조건이 40대가 50대 보다 큰 것으로 나타났으며 특히, 신장의 평균값은 통계적으로 유의한 차이를 보였고 신장이 큰 40대의 발끝높이가 보행 속도에 따라 높아지는 특성을 보였다.

그러나 신체적 조건이 통계적으로 뚜렷한 차이가 있는 여성과 남성군의 비교에서는 오히려 신장, 몸무게, 샅높이가 작은 여성군에서 발끝높이가 높게 나타났다. 또한, 회귀분석을 통한 최소 발끝높이의 변화가 유의미한 피험자군과 그렇지 않은 피험자군에서는 신체적조건에 차이점을 확인할 수 없었음에도 최소 발끝높이의 변화의 차이는 보행 속도가 높아질수록 확연한 차이를 보였다.

이를 종합해 보면 본 연구에 참여한 피험자 중 40대 와 50대의 최소발끝높이 변화 특성의 차이는 신체적 조건의 차이에 기인하기 보다는 50대 피험자군에 비하여 40대 피험자군에 보행속도의 변화에 따른 발끝높이 변화의 상관성과 유의성이 높은 피험자군이 많았기 때문으로 나타났다.

물리적으로 발끝높이가 낮을수록 보행 중 장애물에 걸릴 확률은 높아진다. 또한, 동일한 발끝높이로 보행을 하더라도 보행 속도가 증가할 경우 인체의 관성력증가로 걸려 넘어져 사고로 이어질 확률이 높아짐을 전재로 하면 일상생활에서나 산업현장에서 급히 이동을 해야 하는 상황이 발생한다면 50대는 40대보다 걸려 넘어질 위험성이 높아질 것으로 판단되며 걸려 넘어짐 재해가 50대 근로자에서 증가하는 원인으로서 작용할 수 있음을 유추할 수 있다.

본 연구는 피험자 선정과 실험 수행 과정 및 실험조 건의 적용에 있어서 무작위 방식을 적용함으로써 최대 한 실험결과에 미치는 외란을 줄이고자 하였으나 피험 자 수가 충분하지 못한 점에서 연구결과 해석에 제한 점이 있으며, 이로부터 본 연구에 참여한 40대와 50대 피험자군의 보행특성 차이점을 일반화하기에는 어려 움이 있다.

또한, 보행속도 증가에 따라 최소발끝높이 변화가 유의성이 없는 피험자군에 대해서, 이러한 결과의 원인으로 연령대 변화에 따른 운동능력의 변화나 심리적요인 등 여러 요인이 있을 수 있으나 본 연구에서는 확인되지 않았으며 추가적인 연구를 통해 연관성을 분석해 볼 필요가 있다.

References

- Korea Occupational Safety and Health Agency, "Industrial Accident in 2018", 2018.
- B. H. Ryu, J. S. Park, K. H. Han and J. W. Yang, "The Tripping Risk on the Obstacle and the Stair", Safety and Health Research Institute, 2009.
- M. J. Pavol, T. M. Owings, K. T. Foley and M. D. Grabiner, "Gait Characteristics as Risk Factors for Falling from Trips Induced in Older Adults", J. Gerontol, A. Biol. Sci. Med., Vol. 54, pp. M583-M590, 1999.
- R. Begg, R. Best, L. D. Oro and S. Taylor, "Minimum Foot Clearance during Walking: Strategies for the Minimisation of Trip-related Falls", Gait & Posture, Vol. 25, pp. 191-198, 2007.
- B. W. Schulz, "Minimum Toe Clearance Adaptations to Floor Surface Irregularity and Gait Speed", J. of Biomechanics, Vol. 44, pp. 1277-1284, 2011.

- P. M. Mills, R. S. Barrett and S. Morrison, "Toe Clearance Variability during Walking in Young and Elderly Men", Gait & Posture, Vol. 28, pp. 101-107, 2008.
- D. M. Ribeiro, G. A. Bueno, F. M. Gervásio and R. L. Menezes, "Foot-ground Clearance Characteristics in Women: A Comparison Across Different Ages", Gait & Posture, Vol. 69, pp. 121-125, 2019.
- H. K. Lim, "Variation Trends of Population and Industrial Accidents Involved Middle-aged & Aged Workers in Recent Years", J. Korean Soc. Saf., Vol. 16, No. 4, pp. 194-199, 2001.
- H. K. Lim, H. Kim, J. C Song and S. R. Chang, "Self -Consciousness about Ageing and Accident Prevention of Aged Workers", J. Korean Soc. Saf., Vol. 24, No. 5, pp. 84-91, 2009.