KJSB
Korean Journal of Sport Biomechanics 2021; 31(1): 37-43
http://dx.doi.org/10.5103/KJSB.2021.31.1.37
http://e-kjsb.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Effects of Mobile Phone Text Messaging on Collision Avoidance Strategy with Approaching and Stationary Pedestrian

모바일폰 문자 메시지가 동적·정적 보행자 충돌회피전략에 미치는 영향

Yeon-Jong Lee[1], Joo-Nyeon Kim[2]

[1]Department of Sport and Leisure, Semyung University, Jecheon, South Korea
[2]Department of Sport Science, Korea Institute of Sport Science, Seoul, South Korea

Received : 08 February 2021
Revised : 08 March 2021
Accepted : 16 March 2021

Corresponding Author
Joo-Nyeon Kim
Department of Sport Science, Korea Institute of Sport Science, 727, Hwarang-ro, Nowon-gu, Seoul, 01794, South Korea
Tel : +82-2-970-9544
Fax : +82-2-970-9686
Email : jnkim@kspo.or.kr

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of mobile phone text messaging on the collision avoidance strategy for an approaching and stationary pedestrian.

Method: Eighteen healthy young adults participated in this study. Each participant was asked to perform a task to walking with/without mobile phone text messaging and a task to avoid collisions with another pedestrian who was approaching or stationary during walking.

Results: When text messaging with avoidance collision, it showed an early onset time, a larger mediolateral COM trajectory, trunk rotation angle and trunk rotation velocity (p<.05). Also, compared to an approaching pedestrian, when avoiding collision with a stationary pedestrian, it showed a later onset time, a lager avoidance displacement, mediolateral COM trajectory, trunk rotation angle (p<.05).

Conclusion: Results suggest that mobile phone text messaging while collision avoidance leads to delay the perception stage and alters the adaptation stage. Consequently, pedestrian executed in an exaggerated avoidance action to create a greater safety margin when attending to mobile phone test messages while avoiding another pedestrian.

Keywords: Collision avoidance, Human locomotor, Dual task, Pedestrian, Text messaging

INTRODUCTION

지난 10년간 휴대전화 사용의 급증이 인간의 이동에 부정적인 영향을 미치는 것에 대해 지속적으로 보고되고 있다(Alsaleh, Sayed & Zaki, 2018; Nasar & Troyer, 2013). 통신기술의 발달로 인해 인간의 일상생활에 상시적으로 휴대전화를 사용하도록 강요되고 있으며, 그 결과 공공장소에서의 무분별한 휴대전화 사용으로 인한 사고는 전세계적인 공공문제로 제기되고 있다(Nasar & Troyer, 2013).

인간의 일상생활에서 보행은 이동하기 위한 가장 보편적인 수단으로 사용되며, 이 과정에서 다양한 형태와 크기의 장애물을 마주하게 되고 충돌을 피하기 위한 추가적인 노력이 요구된다(Alcock, Galna, Hausdorff, Lord & Rochester, 2018; Yoon, Chang & Kim, 2014). 따라서 이러한 주위환경에 대처하기 위해 인지기능, 감각기능, 시지각적 자원, 상황인식 등 다양한 기능이 요구되지만, 보행 중 휴대전화의 사용은 이 기능들의 적절한 역할 할당에 부정적인 영향을 미치기 때문에 보행자의 부상까지 초래할 수 있다(Li & Lindenberger, 2002; Lim, Amado, Sheehan & Van Emmerik, 2015).

보행 시 이중과제(dual-task)나 보행자의 주의가 분산되는 환경은 장애물을 회피하는 전략을 변화시키는 것으로 나타났다(Aravind & Lamontagne, 2014; Gérin-Lajoie, Richards & McFadyen, 2005, 2006). 특히 보행자가 장애물과의 거리를 조절하기 위한 시간과 같이 회피를 위한 몇 가지 필수적인 요인들의 경우 시각적 단서(visual cues)를 사용하여 추정하기 때문에, 휴대전화 사용에 따른 시각적 단서의 변화는 충돌회피전략에 방해가 될 수 있다(Cutting, Vishton & Braren, 1995; Hackney, Cinelli & Frank, 2015; Olivier, Marin, Crétual, Berthoz & Pettré, 2013).

걸으면서 문자 메세지를 보내는 것은 최근 인간생활에서 흔히 보여지는 모습이고, 이때 문자 메세지를 보내는 것 보다 걷는 것에 우선순위를 두는 것은 분명히 더 안전한 선택이 될 것이다. 하지만 젊은 성인들의 경우 걷는 것 보다 문자 메세지를 보내는 것에 우선순위를 두는 것으로 조사되었고, 이는 실험실 상황뿐만 아니라 불규칙적인 간섭이 있는 실생활에서도 같은 결과를 나타냈다(Plummer, Apple, Dowd & Keith, 2015). 걷기와 문자 메시지 보내기를 이중과제로 수행하는 연구에 따르면, 보행 시 휴대전화를 사용할 때 문자 메세지의 정확도가 감소할 뿐만 아니라 보행속도가 느려지고, 직선의 보행경로를 유지하지 못하여 측면으로 이탈하는 것으로 나타냈다(Aravind & Lamontagne,

Copyright © 2021 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.

2014; Plummer et al., 2015; Licence, Smith, McGuigan & Earnest, 2015; Lamberg & Muratori, 2012). 또한 인체분절의 가동 범위가 증가함과 동시에 머리와 몸통 간의 자유도가 감소하고, 장애물을 과도하게 피하려는 경향을 나타냈다(Licence et al., 2015; Schabrun, van den Hoorn, Moorcroft, Greenland & Hodges, 2014). 이러한 보행패턴과 충돌회피전략의 변화는 사고로부터 보행을 유지하기 위한 보상작용으로 나타난다. 하지만 일상생활에서의 보행 중 충돌회피는 보행자 일방의 책임이 아닌, 상대 보행자와의 상호작용에 의해 결정된다. 그럼에도 불구하고, 이중과제 수행 시 접근하는 상대 보행자의 보행상태에 따라 충돌회피전략의 변화에 대한 영향은 조사되지 않았다.

실생활에서 보행자와 상대 보행자 간에 양방향 충돌회피 의무가 주어지는 상황은 매우 빈번하게 직면하게 된다. 일상적으로 일어나는 보행 중 충돌회피는 단순해 보이지만, 사실 두 보행자 간의 인식과 행동 사이에 연속적인 루프를 통한 상호작용으로 예측된 거리와 실제 개인공간(personal space)의 형성하여 회피라는 결과를 만들어 낸다(Meerhoff, Pettré, Lynch, Crétual & Olivier, 2018). 예를 들어 보행자와 상대 보행자가 동시에 간격을 줄이는 상황에서는 이원적 상호작용으로 인해 상대 보행자에 대한 회피동작을 기대하여 최소한의 회피동작을 나타내는 반면, 상대 보행자가 멈춰선 상황에서는 보행자에게 일방적인 회피의 의무가 주어지는 것으로 판단하여 과도한 회피동작을 수행한다(Lee & Kim, 2019). 즉, 상대 보행자의 행동을 시각적 단서로 다음 행동을 예측하고 이에 맞춰 보행자의 다음 행동이 결정되는 과정이 반복되는 것이다. 많은 선행연구에서 휴대전화 사용이 보행 시 시각적 단서에 부정적인 영향과 상대 보행자에 대한 충돌회피전략을 보고하였지만, 상대 보행자의 행동패턴의 변화가 휴대전화를 사용하는 보행자의 충돌회피에 미치는 영향은 고려하지 않았다. 따라서 이 연구에서는 움직이는 상대 보행자와 멈춰있는 상대 보행자와의 충돌회피 과정에서 문자 메시지를 보내는 것이 충돌회피전략에 미치는 영향을 조사하는데 목적이 있다.

METHODS

1. 연구 대상자

연구 참여자는 최근 6개월간 보행 및 회피동작에 영향을 미칠 수 있는 근신경계 손상 병력이 없는 건강한 성인 남성 10명으로 선정하였다(Table 1). 실험 전, 모든 피험자에게 연구목적 및 실험절차에 관한 설명을 충분히 한 후, 실험참여 동의서에 동의한 피험자에 한하여 실험을 진행하였다.

Table 1. Summary information for the participants

	Healthy adults (n=10)
Age (yrs)	24.3±0.7
Body mass (kg)	69.3±5.8
Height (cm)	174.6±5.8

2. 실험절차

본 연구는 보행자(연구 참여자)가 휴대전화 문자 메시지 보내기가 움직이는 상대 보행자와 멈춰있는 상대 보행자의 충돌회피전략 차이에 대한 운동학적 분석을 실시하기 위해, 10 m의 보행로를 설정하고 두 연구 참여자를 마주 걷게 하였다. 운동학적 분석을 실시하기 위해 6대의 적외선 카메라(Vicon, UK)를 보행과 회피동작이 이뤄지는 구간에 설치하였고, 이때 촬영속도(sampling rates)는 200 Hz로 설정하였다. 적외선 카메라는 Nexus 1.8.5 (Vicon, UK) 프로그램을 이용해 통제하였다. 보행자의 몸통, 골반 및 양측 하지를 모델링 하기 위해 반사마커 38개를 각 분절 및 관절점에 부착하였다. 실험은 보행자와 상대 보행자로 구분하여 실시하였으며, 보행자에 대한 충돌회피전략을 조사하였다. 보행은 두 보행자가 양측에서 동시에 시작하였으며, 보행자는 선호속도로 보행을 시작하여 상대 보행자와의 충돌을 회피전략을 수행하였다. 이때 상대 보행자는 목표지점까지 걸어가거나, 일정지점에서 멈춰서서 보행자가 회피동작을 수행할 때까지 정적인 자세를 유지하였다. 상대 보행자의 신체조건 및 보행속도에 의한 영향을 제거하기 위해 한 사람(height: 170.3 cm, body mass: 69.7 kg)이 상대 보행자 역할을 수행했으며, 선호속도(1.20±0.06 m/s)로 걷게 하였다. 상대 보행자는 충돌을 회피하기 위한 어떠한 동작도 수행하지 않았으며, 두 조건을 무작위로 수행하여 보행자가 사전에 상대 보행자의 역할을 파악할 수 없도록 하였다. 또한 보행자가 경로나 회피동작을 선택적으로 수행할 수 있는 이동축(locomotion axis) 간의 최소차이로써 장애물의 반지름(몸통 평균너비의 절반)인 15 cm로 선정하여 왼쪽에 설정하였다(Fajen & Warren, 2003; Hackney, Van Ruymbeke, Bryden & Cinelli, 2014). 휴대전화를 이용한 문자 메시지 보내기는 준비된 문구를 무작위로 제시하고, 내용과 맞춤법 등 오류없이 전송되거나 회피에 실패하지 않았을 경우에만 인정하였다. 일반 걷기와 휴대전화를 사용하며 걷기는 무작위로 배정하여 실시하였다.

3. 자료처리

연구 대상자가 부착한 반사마커의 3차원 위치 데이터는 Visual3D (C-motion, USA)를 활용해 자료처리 하였다. Non-linear transformation (NLT) 방식을 이용하여 6대의 적외선 카메라에서 수집된 반사마커의 위치좌표를 3차원 좌표값으로 변환한 후, Butterworth 2nd order low-pass filter를 사용해 노이즈(noise)를 제거하였고, 이때 차단주파수는 6 Hz로 설정하였다. 분석구간은 회피구간(장애물을 회피하는 동안의 보행주기)으로 설정하였다(Barbieri et al., 2018). 분석변인으로는 먼저 보행자와 상대 보행자의 신체중심(center of mass [COM]) 전·후 변위(anteroposterior displacement)가 동일한 시점을 기준으로 회피동작이 시작되는 시간(onset time)을 산출하였다. 이때 회피동작의 시작은 경추 7번(C_7)에 부착한 반사마커의 좌·우 변위(mediolateral displacement)가 25 cm를 벗어나는 시점으로 정의하였다(Aravind & Lamontagne, 2014). 인체의 선형적인 움직임을 이용한 충돌회피전략을 조사하기 위해 신체중심의 좌·우 변위 범위(mediolateral displacement range of COM)와 선속도(mediolateral COM velocity), 충돌 가능성이 제일 높은 외측 어깨에 부착된 반사마커의 이동 범위를 이용해 좌·우 회피 변위(mediolateral avoidance displacement)를 산출하였다. 또한 회전을 이

용한 충돌회피전략을 조사하기 위해 몸통분절의 수직축 최대 회전각도(maximum trunk rotation angle)와 최대 회전각속도(maximum trunk rotation velocity)를 산출하였다(Lee & Kim, 2019). 모든 변인에 대해 보행 시 휴대전화를 이용한 문자 메시지 보내기의 이중과제비율(dual-task costs [DTCs])를 산출했다. 이중과제비율은 단일과제(single task, 일반보행)의 조건에 비해 이중과제(문자 메시지+보행) 조건의 성능변화 비율로 계산되었다: DTC = [100 * (Single task - Dual task) / Single task].

4. 통계분석

움직이는 상대 보행자와 멈춰있는 상대 보행자와의 충돌회피 과정에서 휴대전화를 사용해 문자 메시지를 보내는 것이 충돌회피전략에 미치는 영향을 조사하기 위해 반복측정 이원변량분석(two-way ANOVA with repeated measure)를 사용하여 주효과 "Text"와 주효과 "Move", 그리고 상호작용 "Text × Move"을 검증하였고, 사후검정은 Bonferroni correction을 사용하였다. 또한 이중과제비율(DTCs)에 대해 대응표본 *t*-test (paired *t*-test)를 실시하여 통계적인 차이를 분석하였다. 모든 통계분석의 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

RESULTS

충돌회피 시작 시간(onset time)은 상대 보행자의 상태(approaching /stationary)와 보행자의 휴대전화 문자 메시지 전송 여부(with/without mobile phone text message) 간의 상호작용 'Text' × 'Move'이 유의하게 나타났다(p<.05, Figure 1, Table 2). 사후검정 결과, 움직이는 상대 보행자를 회피할 때에 비해 멈춰있는 상대 보행자를 회피할 때 충돌회피 동작을 유의하게 일찍 시작하는 것으로 나타냈다. 또한 휴대전화 문자 메시지를 보내지 않고 멈춰있는 상대 보행자를 회피할 때 움직이는 상대 보행자에 비해 충돌회피 동작을 유의하게 늦게 시작하는 것으로 나타났다(p<.05, Figure 1, Table 2).

회피변위(avoidance displacement)는 주효과 'Text'와 주효과 'Move'에서 유의한 차이를 나타냈으며(p<.05, Table 2), 상호작용은 나타나지 않았다. 사후검정 결과, 움직이는 상대 보행자를 회피할 때에 비해 멈춰있는 상대 보행자를 회피할 때 유의하게 긴 충돌회피 변위를 나타냈으며(p<.05, Figure 1, Table 2), 문자 메시지를 보내지 않을 때에 비해 보낼 때 유의하게 긴 충돌회피 변위를 나타냈다(p<.05, Figure 1, Table 2).

Table 2. Average ± standard deviation of collision avoidance strategies and results of two-way repeated ANOVA

Collision avoidance strategies	Another pedestrian condition		Main effect Interaction	*F*-value (*p*-value)
	Approaching	Stationary		
Onset time (sec)				
No message	-0.35±0.07	-0.50±0.12*	Text	–
			Move	–
Text message	-0.22±0.08†	-0.23±0.07†	Text x Move	**7.115 (.026)**
Avoidance displacement (m)				
No message	0.12±0.06	0.17±0.06*	Text	**7.479 (.023)**
			Move	**19.309 (.002)**
Text message	0.17±0.05†	0.23±0.07*,†	Text x Move	.034 (.857)
Mediolateral displacement range of COM (m)				
No message	0.11±0.05	0.12±0.05	Text	14.596 (.004)
			Move	5.727 (.040)
Text message	0.17±0.05†	0.22±0.09*,†	Text x Move	3.488 (.095)
Mediolateral COM velocity (m/s)				
No message	1.30±0.25	1.24±0.30	Text	.953 (.355)
			Move	3.557 (.092)
Text message	1.30±0.21	1.11±0.24	Text x Move	.617 (.452)
Maximum trunk rotation angle (deg)				
No message	52.69±11.49	62.01±14.02*	Text	**24.980 (.001)**
			Move	**6.428 (.032)**
Text message	68.00±11.71†	71.98±10.38†	Text x Move	1.546 (.245)
Maximum trunk rotation velocity (deg/s)				
No message	117.45±14.49	120.38±29.86	Text	**24.818 (.001)**
			Move	.007 (.934)
Text message	170.96±36.77†	166.47±43.06†	Text x Move	.196 (.669)

Note. Bold: a significant difference at p<.05, *: a significant difference compared to approaching, †: a significant difference compared to normal walking. The negative value refers to the time before the start of the avoidance movement based on the moment when two pedestrians cross

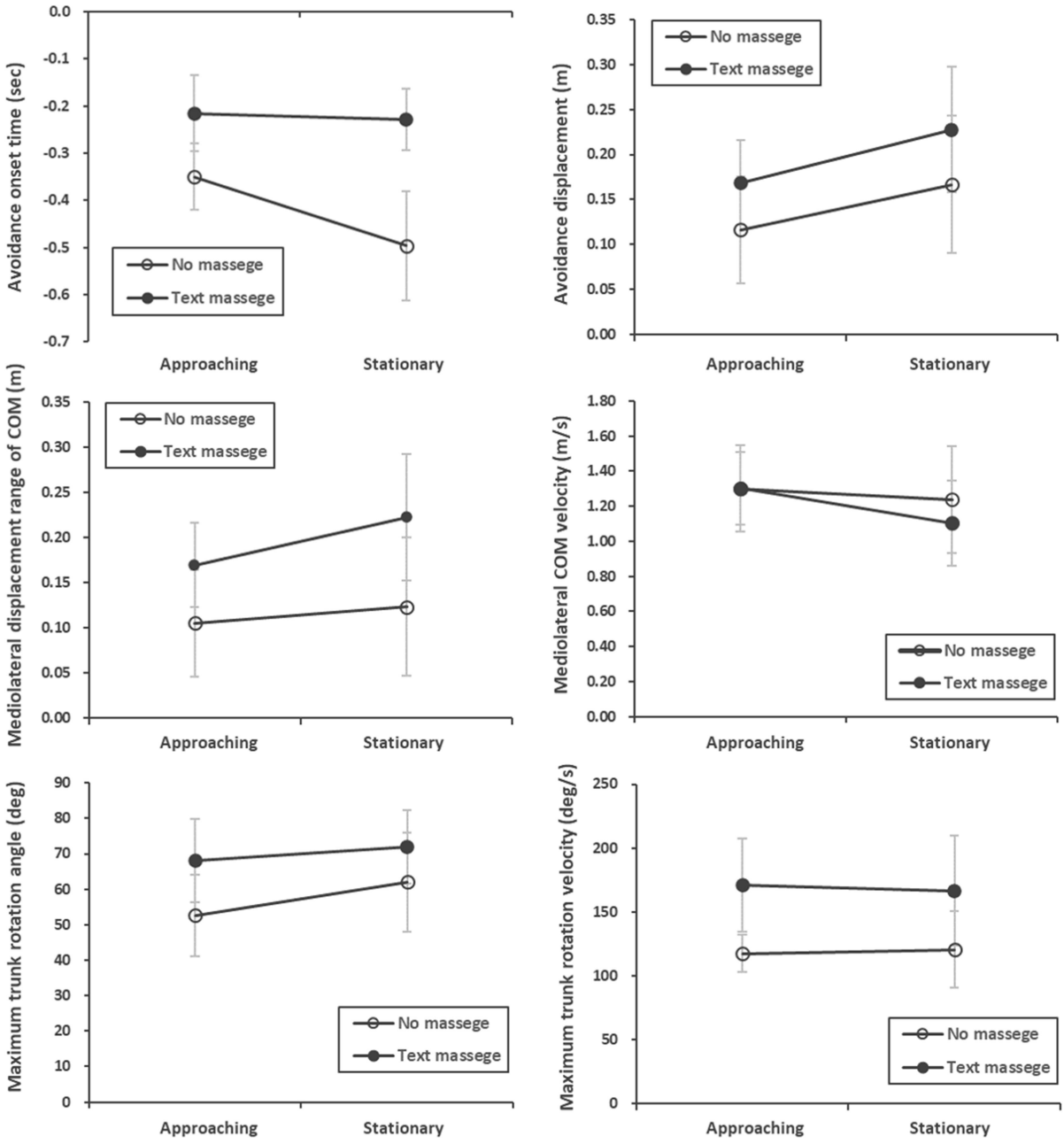

Figure 1. Collision avoidance strategies for the approaching and stationary pedestrian with/without mobile phone text messaging

좌·우 신체중심 궤도(mediolateral COM trajectory)는 주효과 'Text'와 주효과 'Move'에서 유의한 차이를 나타냈으며(p<.05, Figure 1, Table 2), 상호작용은 나타나지 않았다. 사후검정 결과, 문자 메시지를 보내지 않을 때에 비해 보낼 때 유의하게 긴 충돌회피 변위를 나타냈으며(p<.05, Figure 1, Table 2), 문자 메시지를 보내면서 멈춰있는 상대 보행자를 회피할 때 움직이는 상대 보행자에 비해 유의하게 긴 궤도를 나타냈다(p<.05, Figure 1, Table 2).

좌·우 신체중심속도(mediolateral COM velocity)는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

최대 몸통 회전각도(maximum trunk rotation angle)는 주효과 'Text'와 주효과 'Move'에서 유의한 차이를 나타냈으며(p<.05, Figure 1, Table 2), 상호작용은 나타나지 않았다. 사후검정 결과, 문자 메시지를 보내지 않을 때에 비해 보낼 때 몸통각도가 유의하게 증가하였으며(p<.05, Figure 1, Table 2), 문자 메시지를 보내지 않고 멈춰있는 상대 보행자를 회피할 때 움직이는 상대 보행자에 비해 유의하게 증가하였다(p<.05, Table 2).

최대 몸통 회전각속도(maximum trunk rotation velocity)는 주효과 'Text'에서 유의한 차이를 나타냈다(p<.05, Figure 1, Table 2). 사후검정 결과, 문자 메시지를 보낼 때 보내지 않을 때에 비해 몸통 회전각속도가 유의하게 증가하였다(p<.05, Figure 1, Table 2).

DISCUSSION

일상생활에서 인간의 보행은 가장 보편적인 이동수단으로 사용되며, 이동 중 수많은 보행자를 마주하거나 부딪치지 않기 위한 동작이 매우 일상적으로 수행되어지고 있다. 보행자 간의 충돌을 피하기 위해, 보행자는 상대 보행자에 대한 형태와 거리, 다가오는 속도 등에 대한 정보수집을 통해 개인공간(personal space) 또는 안전마진(safety margin)을 설정하여 충돌에 대비한다(Gérin-Lajoie, Richards, Fung & McFadyen, 2008). 이 개인공간의 설정은 먼저 장애물에 대한 정보를 인지(perception)하고, 예측된 이동경로와 안전마진에 대한 조정(Anticipatory Locomotor Adaptations [ALAs])을 통한 충돌회피전략 수립 후, 충돌회피 동작을 수행한다(Basili et al. 2013; Cutting et al., 1995; Gérin-Lajoie et al., 2005; Shimizu, Kihara, Itou, Tai & Furuna, 2020). 이러한 3단계의 충돌회피 과정은 보행 중 처음 상대 보행자를 충돌의 대상으로 인지한 시점을 시작으로 보행자 간의 거리가 좁혀짐에 따라 지속적으로 조정하는 단계를 반복하고, 이는 최종적으로 상대 보행자와의 충돌 가능성에서 완전히 벗어날 때까지 지속된다. 이러한 인지-동작 루프(perception-action loop)는 시각적 단서(visual cue)를 주된 소스로 하여 반복적으로 조정되기 때문에(Meerhoff et al., 2018), 시각적 단서의 습득을 방해하는 요소는 보행자 간의 충돌을 발생시키는 원인이 될 수 있다. 특히 현대사회에 들어와 스마트폰의 발전은 보행 중에도 휴대전화의 사용을 간접적으로 강요하고 있으며, 이로 인한 시각적 단서의 단절은 보행자 간의 충돌을 야기할 수 있다. 게다가 일상생활에서 인간은 움직이거나 멈춰있는 등 행동을 예측할 수 없기 때문에, 충돌 가능성이 있는 상대 보행자를 마주할 경우, 상대 보행자의 상태를 파악하기 위한 지속적인 시각적 단서의 수집을 필요로 한다. 이 연구의 결과에서 상대 보행자의 상태에 따라 충돌회피 동작에 차이가 있음을 나타냈고, 휴대전화를 사용해 문자 메세지 보내는 추가 작업에 의한 시각적 단서의 변화가 충돌회피 동작에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

성공적인 충돌회피를 위해서는 인지와 조정(ALAs)과정을 거친 다음 나타나는 인체의 회피동작을 시작하는 시점이 중요하기 때문에, 일반적으로 장애물을 충돌 대상으로 인지한 시점으로부터 보행속도를 늦추는 전략을 사용하여 인지와 조정단계를 위한 시간을 확보하고, 충돌회피전략 수립 후 회피동작을 시작한다(Gérin-Lajoie et al., 2008). 본 연구에서는 문자 메세지를 보내지 않을 때에 비해 보낼 때 유의하게 늦게 회피동작을 시작한 반면 회피변위는 증가하는 것으로 나타났다. 또한 움직이는 상대 보행자에 비해 멈춰있는 상대 보행자 회피 시 회피변위가 유의하게 증가하였으며, 문자 메시지를 보낼 경우에 한해 멈춰있는 상대 보행자 회피 시 유의하게 이른 시작을 나타냈다. 장애물의 회피와는 다르게 보행자 간의 충돌회피는 회피의 의무에 관한 상호작용(interaction)에 의해 조정단계를 수행한다(Meerhoff et al., 2018). 사물 장애물의 경우 멈춰있는 장애물에 비해 움직이는 장애물을 회피할 때 지속적인 위치파악과 이동경로의 수정으로 인해 조정단계에서 더 많은 비용이 소비됨에도 불구하고(Basili et al., 2013; Cutting et al., 1995), 상대 보행자의 경우 사회적 상호작용의 대상에 대한 기대로 인해 충돌방지를 위한 여유간격을 보행자의 일방적인 간격이 아닌 상대 보행자와 협동적인 상호간격으로 추정한다(Iachini, Coello, Frassinetti & Ruggiero, 2014; Silva, Aravind, Sangani & Lamontagne, 2018). 따라서 상대 보행자가 멈추지 않고 보행자를 향해 계속 다가온다면 회피의 의무가 양방에게 있다고 판단하고 이로 인해 상대 보행자의 안전마진 확보에 대한 기대로 인해 비교적 회피에 대해 소극적인 동작을 수행한다. 반면에, 상대 보행자가 멈춰선 경우, 회피의 의무를 보행자에게 전가하여 사물과 같이 충돌에 대한 상호작용이 없는 것으로 인식하기 때문에, 충돌을 피하기 위한 충분한 안전마진을 확보하기 위해 노력한다(Lee & Kim, 2019). 본 연구결과도 문자 메세지를 함께하지 않은 일반보행에서는 위 연구결과와 같은 결과를 나타냈다. 하지만, 문자 메시지를 보내면서 충돌회피를 수행할 경우, 상대 보행자의 상태와 관계없이 회피동작을 시작하는 시간이 지나치게 지연되었다. 이는 문자 메시지를 보내기 위해 휴대전화에 시각 정보를 집중하기 때문에, 상대 보행자를 인식하기 위한 시각적 단서의 결핍이 발생하고 이에 따라 상대 보행자를 인식하는 타이밍과 상대 보행자에 대한 시각 정보를 바탕으로 한 이동경로 조정(ALAs)을 위한 시간의 지연으로 인한 결과라 할 수 있다. 흥미로운 연구결과는 문자 메세지를 보낼 때 상대 보행자의 상태에 따라 회피동작 시작 시간에는 차이가 없는 반면, 회피변위는 멈춰있는 상대 보행자를 대면했을 때 증가했다는 것이다. 이는 시각적 단서의 결핍으로 인해 인지와 조정단계에서 충분한 과정을 거치지 못함에도 불구하고 충돌 대상과의 상호작용은 일어난다고 할 수 있다. 즉, 인지단계가 비교적 늦게 작동한다 하더라도, 회피동작을 조정하는데 있어 회피의 의무에 대한 상대의 의사파악을 우선하여 회피전략을 수립하는 것이다.

인간은 목표지점에 도달하고자 할 때, 이동궤도 및 운동수행에 필요한 처리비용(processing costs)을 최소화하기 위한 전략을 수립한다(Pham & Hicheur, 2009; Pham, Hicheur, Arechavaleta, Laumond & Berthoz, 2007). 따라서 충분한 안전마진과 최소의 처리비용 사이에서 상대 보행자와의 충돌회피를 위한 조정단계를 거치게 되며, 최종적으로 회피거리를 확보하기 위한 동작으로 연결된다. 이때 안전마진과 처리비용 간의 조정단계를 통해 사전에 이동경로와 회피동작을 포함한 회피전략을 수립하고, 이는 회피(avoidance)와 우회(circumvention) 전략의 선택과 인체분절을 이용한 회전동작의 크기로 나타난다(Basili et al., 2013; Cutting et al., 1995; Vallis & McFadyen, 2003). 결론적으로 상대 보행자에 대한 회피동작은 선형동작(linear action)과 회전동작(angular motion)의 복합적인 움직임이 충돌부위의 이동을 만들어 내는 것이다(Lee & Kim, 2019). 본 연구결과에서는 선형적인 회피동작인 신체중심의 좌·우 궤도와 회전 회피동작인 몸통 최대 회전각도가 문자 메세지를 보내지 않을 때에 비해 보낼 때 약 25~30% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 회피동작의 크기가 증가하는 것은 조정단계에서 더 큰 안전마진을 만들기 위한 과도한 전략으로써 비효율적인 회피동작으로 보고하고 있다(Gérin-Lajoie et al., 2006; Hackney & Cinelli, 2011, 2013; Lu, Chen & Chen, 2006; Muir, Haddad, Heijnen & Rietdyk, 2015). 안전마진의 증가는 충돌회피를 위한 신중한 전략으로 해석되어 지기도 하지만(Galna, Peters, Murphy & Morris, 2009), 스포츠와는 달리 인간의 일상생활에서 요구되는 조정단계은 신중하고 충분한 움직임이 아닌 환경변화에 대응하기 위한 미세조정을 통한 효율적인 움직임이라고 제안하고 있다(Kondo, Fukuhara, Suda & Higuchi, 2020). 따라서 문자 메세지를 보내는 추가된 작업으로 인해 인지단계의 지연과 조정단계의 과도한 설정은 충분한 대처 시간의 결핍에 대한 보상작용이라 할 수 있으며, 결국 갑작스러운 움직임의 변

화로 인한 불안정을 가져올 수 있다(Muir et al., 2015). 본 연구결과에서 선형동작에서의 속도는 유의한 차이를 나타내지 않은 반면, 회전동작에서는 몸통 최대 회전각속도가 문자 메세지를 보낼 때 약 30% 가량 증가하는 것으로 나타났다. 이는 상대 보행자의 상태와는 무관하게, 휴대전화를 이용해 문자 메세지를 보내는 것이 시각적 단서의 차단으로 인지단계를 지연시키고 조정단계의 과도한 설정을 통한 보상작용을 실현하기 위해 인체회전을 가속시키는 결과를 낳게 되는 것이다. 따라서 계획되지 않은 인체회전의 가속화는 불안정을 야기시키고, 이는 낙상과 같은 2차 사고로 연결될 수 있다.

휴대전화를 이용해 문자 메세지를 보내면서 장애물을 극복하는 것은 통계적으로 충돌율을 매우 높이는 것으로 보고되고 있다(Silva et al., 2019, 2020). 많은 연구들을 통해 충돌회피 과정에서 조정단계가 충분히 실행되지 않을 경우 충돌율이 증가하는 것으로 나타났고, 충돌이 일어나지 않더라도 회피과정에서 과도한 동작이 나타내는 것으로 보고되었다(Menant, St George, Fitzpatrick & Lord, 2010; Persad et al., 1995). 본 연구의 결과에서도 마찬가지로 문자 메세지를 보낼 때 대부분의 충돌회피전략에서 과도한 동작이 나타났을 뿐만 아니라, 일반적인 보행에서 회피동작을 수행할 때와는 다르게 상대 보행자의 상태와 관계없이 과도한 동작을 나타냈다. 이는 휴대전화의 사용으로 인해 시각 정보가 문자 메시지를 보내기 위한 작업에 집중되어 있고, 이로 인해 상대 보행자의 상태를 파악할 수 없을 만큼 시각적 단서가 차단된다는 것을 의미한다. 일상생활에서 보행은 주위환경의 상황에 대처하기 위한 시각 정보를 끊임없이 수집하고 있기 때문에, 이러한 시각 정보의 차단은 보행 중 휴대전화 사용으로 인한 충돌과 2차 사고에 대한 위험성을 시사한다.

실생활에서 충돌을 방지하기 위한 전략은 신체의 각 분절 및 관절을 모두 동원하여 실행하게 된다. 특히, 충돌을 방지하기 위해 보행경로를 수정하는 우회전략(circumvention strategy)이 아닌, 회피전략을 사용할 경우, 충돌 가능성이 큰 어깨부위의 회피를 주목적으로 움직임이 발생하기 때문에, 어깨부위의 위치를 이동시킬 수 있는 모든 움직임이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 몸통을 한 분절로 간주하여 견갑(shoulder girdle)의 움직임인 내밈(protraction)과 뒤당김(retraction)의 사용에 대한 회피전략을 정량화하지 못하였다. 따라서 추후연구에서는 견갑을 포함한 세부 분절에 대한 움직임을 고려한 회피전략에 대한 조사가 이뤄져야 할 것이다.

CONCLUSION

본 연구에서는 움직이는 상대 보행자와 멈춰있는 상대 보행자와의 충돌회피 과정에서 휴대전화를 사용해 문자 메세지를 보내는 것이 충돌회피전략에 미치는 영향을 조사하였다. 건강한 성인 10명이 연구대상자로 참여하였으며, 운동학적 분석을 통해 상대 보행자를 회피하기 위한 보행자의 충돌회피전략을 분석하였다. 문자 메세지를 보내는 과정에서 회피동작을 수행할 때, 회피동작의 시작이 지연되고 회피변위 및 좌·우 신체중심 궤도, 최대 몸통 회전각도 및 각속도가 증가하였다. 이 연구결과에 따라 보행 시 휴대전화를 이용한 문자 메시지를 보내는 것은 인지단계의 지연과 충분한 조정단계를 거치지 않고 회피동작을 수행해야 하기 때문에, 회피에 실패하거나 회피에 성공하더라도 과도한 동작으로 인한 추가적인 문제가 발생할 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

This study has been supported by Semyung University in 2020.

REFERENCES

Alcock, L., Galna, B., Hausdorff, J. M., Lord, S. & Rochester, L. (2018). Gait & Posture Special Issue: Gait adaptations in response to obstacle type in fallers with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, *61*, 368-374.

Alsaleh, R., Sayed, T. & Zaki, M. H. (2018). Assessing the effect of pedestrians' use of cell phones on their walking behavior: a study based on automated video analysis. *Transportation Research Record*, *2672*(35), 46-57.

Aravind, G. & Lamontagne, A. (2014). Perceptual and locomotor factors affect obstacle avoidance in persons with visuospatial neglect. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, *11*(1), 1-10.

Basili, P., Sağlam, M., Kruse, T., Huber, M., Kirsch, A. & Glasauer, S. (2013). Strategies of locomotor collision avoidance. *Gait & Posture*, *37*(3), 385-390.

Cutting, J. E., Vishton, P. M. & Braren, P. A. (1995). How we avoid collisions with stationary and moving objects. *Psychological Review*, *102*(4), 627.

Fajen, B. & Warren, W. (2003). Behavioral dynamics of steering, obstacle avoidance, and route selection. *Journal of Experimental Psychology*, *29*(2), 343-362.

Galna, B., Peters, A., Murphy, A. T. & Morris, M. E. (2009). Obstacle crossing deficits in order adults: a systematic review. *Gait & Posture*, *30*(3), 270-275.

Gérin-Lajoie, M., Richards, C. L., Fung, J. & McFadyen, B. J. (2008). Characteristics of personal space during obstacle circumvention in physical and virtual environments. *Gait & Posture*, *27*(2), 239-247.

Gérin-Lajoie, M., Richards, C. L. & McFadyen, B. J. (2005). The negotiation of stationary and moving obstructions during walking: anticipatory locomotor adaptations and preservation of personal space. *Motor Control*, *9*(3), 242-269.

Gérin-Lajoie, M., Richards, C. L. & McFadyen, B. J. (2006). The circumvention of obstacles during walking in different environmental contexts: a comparison between older and younger adults. *Gait & Posture*, *24*(3), 364-369.

Hackney, A. L. & Cinelli, M. E. (2011). Action strategies of older adults walking through apertures. *Gait & Posture*, *33*(4), 733-736.

Hackney, A. L. & Cinelli, M. E. (2013). Older adults are guided by their dynamic perceptions during aperture crossing. *Gait & Posture*, *37*(1), 93-97.

Hackney, A. L., Cinelli, M. E. & Frank, J. S. (2015). Does the passability of apertures change when walking through human versus pole obstacles?. *Acta Psychologica*, *162*, 62-68.

Hackney, A. L., Van Ruymbeke, N., Bryden, P. J. & Cinelli, M. E. (2014). Direction of single obstacle circumvention in middle-aged children.

Gait & Posture, *40*(1), 113-117.

Iachini, T., Coello, Y., Frassinetti, F. & Ruggiero, G. (2014). Body space in social interactions: a comparison of reaching and comfort distance in immersive virtual reality. *PloS One*, *9*(11), e111511.

Kondo, Y., Fukuhara, K., Suda, Y. & Higuchi, T. (2020). Training older adults with virtual reality use to improve collision-avoidance behavior when walking through an aperture. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *92*, 104265.

Lamberg, E. M. & Muratori, L. M. (2012). Cell phones change the way we walk. *Gait & Posture*, *35*(4), 688-690.

Lee, Y. J. & Kim, J. N. (2019). Strategies of collision avoidance with moving *and* stationary human obstacles during walking. *Korean Journal of Sports Biomechanics*, *29*(2), 97-104.

Li, K. Z. & Lindenberger, U. (2002). Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *26*(7), 777-783.

Licence, S., Smith, R., McGuigan, M. P. & Earnest, C. P. (2015). Gait pattern alterations during walking, texting and walking and texting during cognitively distractive tasks while negotiating common pedestrian obstacles. *PLoS One*, *10*(7), e0133281.

Lim, J., Amado, A., Sheehan, L. & Van Emmerik, R. E. (2015). Dual task interference during walking: The effects of texting on situational awareness and gait stability. *Gait & Posture*, *42*(4), 466-471.

Lu, T. W., Chen, H. L. & Chen, S. C. (2006). Comparisons of the lower limb kinematics between young and older adults when crossing obstacles of different heights. *Gait & Posture*, *23*(4), 471-479.

Meerhoff, L. A., Pettré, J., Lynch, S. D., Crétual, A. & Olivier, A. H. (2018). Collision avoidance with multiple walkers: Sequential or simultaneous interactions?. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2354.

Menant, J. C., St George, R. J., Fitzpatrick, R. C. & Lord, S. R. (2010). Impaired depth perception and restricted pitch head movement increase obstacle contacts when dual-tasking in older people. *The Journals of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *65*(7), 751-757.

Muir, B. C., Haddad, J. M., Heijnen, M. J. & Rietdyk, S. (2015). Proactive gait strategies to mitigate risk of obstacle contact are more prevalent with advancing age. *Gait & Posture*, *41*(1), 233-239.

Nasar, J. L. & Troyer, D. (2013). Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places. *Accident Analysis & Prevention*, *57*, 91-95.

Olivier, A. H., Marin, A., Crétual, A., Berthoz, A. & Pettré, J. (2013). Collision avoidance between two walkers: Role-dependent strategies. *Gait & Posture*, *38*(4), 751-756.

Persad, C. C., Giordani, B., Chen, H. C., Ashton-Miller, J. A., Alexander, N. B., Wilson, C. S. & Schultz, A. B. (1995). Neuropsychological predictors of complex obstacle avoidance in healthy older adults. *The Journals of Gerontology Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, *50*(5), P272-277.

Pham, Q. C. & Hicheur, H. (2009). On the open-loop and feedback processes that underlie the formation of trajectories during visual and nonvisual locomotion in humans. *Journal of Neurophysiology*, *102*(5), 2800-2815.

Pham, Q. C., Hicheur, H., Arechavaleta, G., Laumond, J. P. & Berthoz, A. (2007). The formation of trajectories during goal-oriented locomotion in humans. II. A maximum smoothness model. *European Journal of Neuroscience*, *26*(8), 2391-2403.

Plummer, P., Apple, S., Dowd, C. & Keith, E. (2015). Texting and walking: Effect of environmental setting and task prioritization on dual-task interference in healthy young adults. *Gait & Posture*, *41*(1), 46-51.

Schabrun, S. M., van den Hoorn, W., Moorcroft, A., Greenland, C. & Hodges, P. W. (2014). Texting and walking: strategies for postural control and implications for safety. *PloS One*, *9*(1), e84312.

Shimizu, K., Kihara, Y., Itou, K., Tai, K. & Furuna, T. (2020). How perception of personal space influence obstacle avoidance during walking: differences between young and older adults. *Physical Therapy Research*, *23*(1), 31-38.

Silva, W. S., Aravind, G., Sangani, S. & Lamontagne, A. (2018). Healthy young adults implement distinctive avoidance strategies while walking and circumventing virtual human vs. non-human obstacles in a virtual environment. *Gait & Posture*, *61*, 294-300.

Silva, W. S., McFadyen, B., Fung, J. & Lamontagne, A. (2019). Effects of age on obstacle avoidance while walking and deciphering text versus audio phone messages. *Gerontology*, *65*(5), 524-536.

Silva, W. S., McFadyen, B. J., Fung, J. & Lamontagne, A. (2020). Reading text messages at different stages of pedestrian circumvention affects strategies for collision avoidance in young and older adults. *Gait & Posture*, *76*, 290-297.

Vallis, L. A. & McFadyen, B. J. (2003). Locomotor adjustments for circumvention of an obstacle in the travel path. *Experimental Brain Research*, *152*(3), 409-414.

Wells, H. L., McClure, L. A., Porter, B. E. & Schwebel, D. C. (2018). Distracted pedestrian behavior on two urban college campuses. *Journal of Community Health*, *43*(1), 96-102.

Yoon, S., Chang, J. K. & Kim, J. (2014). Effects of a water exercise on the lower extremities coordination during obstacle gait in the female elderly-focusing on training and detraining effects. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *24*(2), 95-101.