



대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2022. 12. Vol. 29, No.4, pp. 43-53

고령운전자의 제동능력에 미치는 신체적 기능에 대한 체계적 문헌고찰

허재석^{1,6} · 이상열² · 윤성영^{3,6} · 이승훈^{4,6} · 석힘^{5,6}

¹인제대학교 부산백병원, ²경성대학교 물리치료과, ³동주대학교 물리치료과,
⁴좋은강안병원, ⁵해운대자생한방병원, ⁶경성대학교 대학원 물리치료학과

A systematic literature review on the effects of physical functions on braking ability of elderly drivers

Jaeseok Heo, P.T., M.S.^{1,6} · Sangyeol Lee, P.T., Ph.D.² · Sungyoung Yoon, P.T., M.S.^{3,6}

Seunghoon Lee, P.T., M.S.^{4,6} · Him Seok, P.T., M.S.^{5,6}

¹Department of Physical Therapy, Inje University Busan Paik Hospital, Rehabilitation center

²Department of Physical Therapy, KyungSung University

³Department of Physical Therapy, Dongju University

⁴Department of Physical Therapy, Good GangAn Hospital

⁵Department of Physical Therapy, Haeundae Jaseng Hospital Korean Medicine

⁶Department of Physical Therapy, Graduate School, KyungSung University

Abstract

Background: It is suggested that the decline in functional level due to aging influences the increase in traffic accidents among elderly drivers. Among the functions related to the driving behavior of older drivers, physical function is related to muscle strength and motor control, and aging causes deterioration of motor control and a defect in motor output variability.

Method: Data Search The online databases used for literature search are PubMed, ProQuest(PML), NDSL, and literature searches were conducted from April 19 to April 26, 2022. For the search, 'aging', 'driving', and 'braking' were used in the investigation.

Results: The physical functions related to the braking ability of elderly drivers were analyzed in muscle strength, reaction ability, motor control, and other related factors. In terms of muscle strength, 3 studies analyzed the above factors. 8 studies analyzed the

above factors for response ability. For motor control, two studies analyzed the above factors. In addition, related factors were analyzed in one piece.

Conclusion: As a result of the analysis, physical function for reaction ability showed the highest frequency, followed by the strength item with the highest frequency. This study suggests that factors that can increase physical function must be included in the development of a rehabilitation program for the driving ability of the elderly.

Key words: braking, driving, elderly, physical function.

교신저자

허재석 박사수료

부산광역시 부산진구 복지로 75 (47392)

T: 010-6405-9740, E: vlvk6455@naver.com

석힘 박사수료

부산광역시 해운대구 해운대로 793 (48102)

T: 010-8837-1749, E: stonepower7@naver.com

I. 서론

현대사회의 급속한 고령화는 세계적인 추세이며, 우리나라도 2021년 전체 인구대비 65세 이상 인구가 16.5%를 차지할 것으로 예상되며, 현재 고령사회에 진입하였다(통계청, 2021). 2021년도에 제시된 경찰청 통계조사에 따르면 우리나라 65세 이상 운전면허 소지자는 2015년에 2,034,864명에서 2021년 4,016,538명으로 6년간 약 97.3%가 증가하였다(경찰청, 2021). 고령운전자는 사회참여의 기회를 제공하여 원활한 대인관계를 형성하도록 하며, 사회적 능력을 향상시키며, 노년기의 독립성을 증진시키는 것에 기여한다(김훈주 등, 2014). 이처럼 노인에게 자 가운데전이 가지는 다양한 장점들이 있지만, 노화는 교통사고 위험과 운전중단을 증가시키는 주요 원인이다(우예신 등, 2018).

2016년을 기준으로 국내 교통사고 총 220,917건 중 65세 이상의 운전자가 낸 교통사고는 24,422만 건 (11.1%)으로, 2015년 기준 23,063만 건 대비 5.9% 상승하였으며 그 수와 비율은 매년 꾸준히 증가하고 있다(도로교통공단, 2017). 선행연구에 의하면 연령대가 높을수록 교통사고의 심각성이 높다고 하였으며(심은석, 2009), 노화에 따른 신체기능의 저하가 고령운전자의 교통사고 증가에 영향을 주는 요인으로 제시되고 있다.

운전이라는 활동은 신체적, 인지적, 감각적 기능의 통합을 요구하며 인적, 심리적 요인의 영향을 받기 때문에 고령운전자의 교통사고 위험에 영향을 미치는 요인을 분석하는 것은 중요하다(William 등, 2005). 고령운전자가 운전을 하는 동안 나타나는 행동은 신체적 및 인지적 기능 저하로 인해 시내주행 및 돌발 상황에서 안전운전에 취약한 것으로 나타났다. 특히, 복잡한 도로에서 돌발 상황이 발생할 시 그에 대해 대처하는 능력이 저하되며(Dugan 등, 2013), 주행속도 유지, 주정차, 차선 유지, 신호등 보기 등에 문제점이 나타나는 것으로 조사되었다. 또한 좌회전 결정시간 지연, 위험 상황에서 회전시도 및 핸들 조작 실수, 부적절한 차선 변경, 신체기능의 저하로 인해 나타나는 보상적 운전 등의 문제점이 동반되는 것으로 조사되었다(Dugan 등, 2013).

고령운전자의 운전행동과 관련된 기능 중 신체적 기능에서 근력(muscle strength)과 운동조절(motor control)이 관련이 있으며(Woodworth, 1899; Rantanen 등, 1999; Christou, 2011), 노화로 인해 운동조절에 저하가 나타난다. 이러한 운동조절의 저하는 운동 수행능력의 변화(Motor Output Variability)에 결함이 발생하게 된다(Darling et al., 1988; Diermayr et al., 2011). 이러한 운전 중 페달을 밟을 때 필요한 수행능력의 변화에 대한 결함은 운전을 하는 동안 페달의 조작에도 영향을 미친다. 앞차를 따라가기 위해서는 가속 페달을 지속적으로 제어해야 한다(Muhrer와 Vollrath, 2010). 또한 앞차의 예상치 못한 브레이크등에 안전하게 대응하기 위해서는 브레이크 페달을 정확하게 제어해야 한다(Green, 2010). 선행연구에서는 고령일수록 운전 시 페달 제어 등의 활동에서 운동 수행능력의 변화가 증가한다고 보고하였다(Enoka 등, 2003; Christou, 2011). 운전 중 가속 및 브레이크 페달을 밟는 동작을 수행하기 위해 적절한 힘 또는 밟는 속도의 변화량에 결함이 나타나면 자동차 속도에 영향을 미치게 되고 결과적으로 앞차와의 충분한 안전거리를 확보하기 어려워진다(Najm 등, 2003). 안전거리의 확보가 어려워지게 되면 돌발상황에서 브레이크 반응시간 또한 느려지게 되고, 교통사고의 위험성이 증가하게 된다(Najm 등, 2003).

이러한 신체반응은 고령운전자에 있어 인지능력 뿐만 아니라 신체능력들이 안전한 운전을 위한 요소임을 증명하고 있다. 그러나 최근까지 고령운전자의 제동능력과 관련한 신체적 기능을 실험한 논문들은 많이 진행되었으나, 그러한 논문들을 분석한 연구에 대해서 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 고령운전자의 신체적 기능이 제동능력에 대해 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구설계

본 연구는 고령운전자의 제동능력에 어떤 신체적 요소가 영향을 미치는지 확인하기 위한 체계적 문헌고찰 연구이며, 만 65세 이상 고령운전자의 제동능력과 관련된 신체적 기능을 측정된 논문들 안에서 측정된 요소들을 분석하였다. 각 요소들은 근력, 반응능력, 운동조절, 그 외 제동능력 관련 요소영역으로 나누었으며, 하위요소를 분석한 논문의 수, 측정 도구, 다른 측정 또는 결과가 나타나는 경우에는 결과에 따른 논문의 수, 순서로 기술하였다.

2. 문헌선정기준

문헌의 포함기준과 제외기준은 선행연구를 일부 참고하여 본 연구의 주제에 맞게 2명의 연구자에 의해 선정하였다(우예신 등, 2018). 선별된 관련 문헌을 식별하기 위해 전체 논문을 검토하여 각 연구가 포함기준을 충족하는지 여부를 조사하였다. 포함기준은 다음과 같다.

65세 이상 운전면허를 소지한 대상으로 실시한 연구, 신체적 요소를 종속변수로 평가하고 양적으로 제시한 연구, 운전 능력 중 페달과 관련된 독립변수를 제시한 연구, 한글 또는 영어로 작성된 연구.

제외기준은 다음과 같다. 학위논문, 학술대회 발표자료, 고찰 연구 혹은 질적 연구, 특정 질환군 대상 연구, 운전관련 평가도구 개발에 관한 연구.

3. 자료 검색

자료 검색 문헌의 검색을 위해 사용한 온라인 데이터 베이스는 PubMed, ProQuest(PML), NDSL이며, 2022년 4월 19일부터 4월 26일까지 문헌 검색이 이루어졌다. 검색을 위해 ‘aging’, ‘driving’, ‘braking’을 검색어로 사용하였으며, 각각의 검색어를 고급검색 기능을 활용하여 동시에 검색하였다. 2012년부터 2022년까지 발표된 문헌으로 검색대상을 제한하였다.

4. 자료 수집과 선별

2명의 연구자가 문헌 검색 및 선별에 참여하였다. 각각의 데이터베이스에서 얻은 자료를 합한 이후 중복된 자료를 제외하였으며, 포함기준과 제외기준에 따라 문헌을 선별하였다. 문헌 선정을 위한 일련의 과정은 다음과 같다(Figure 1).

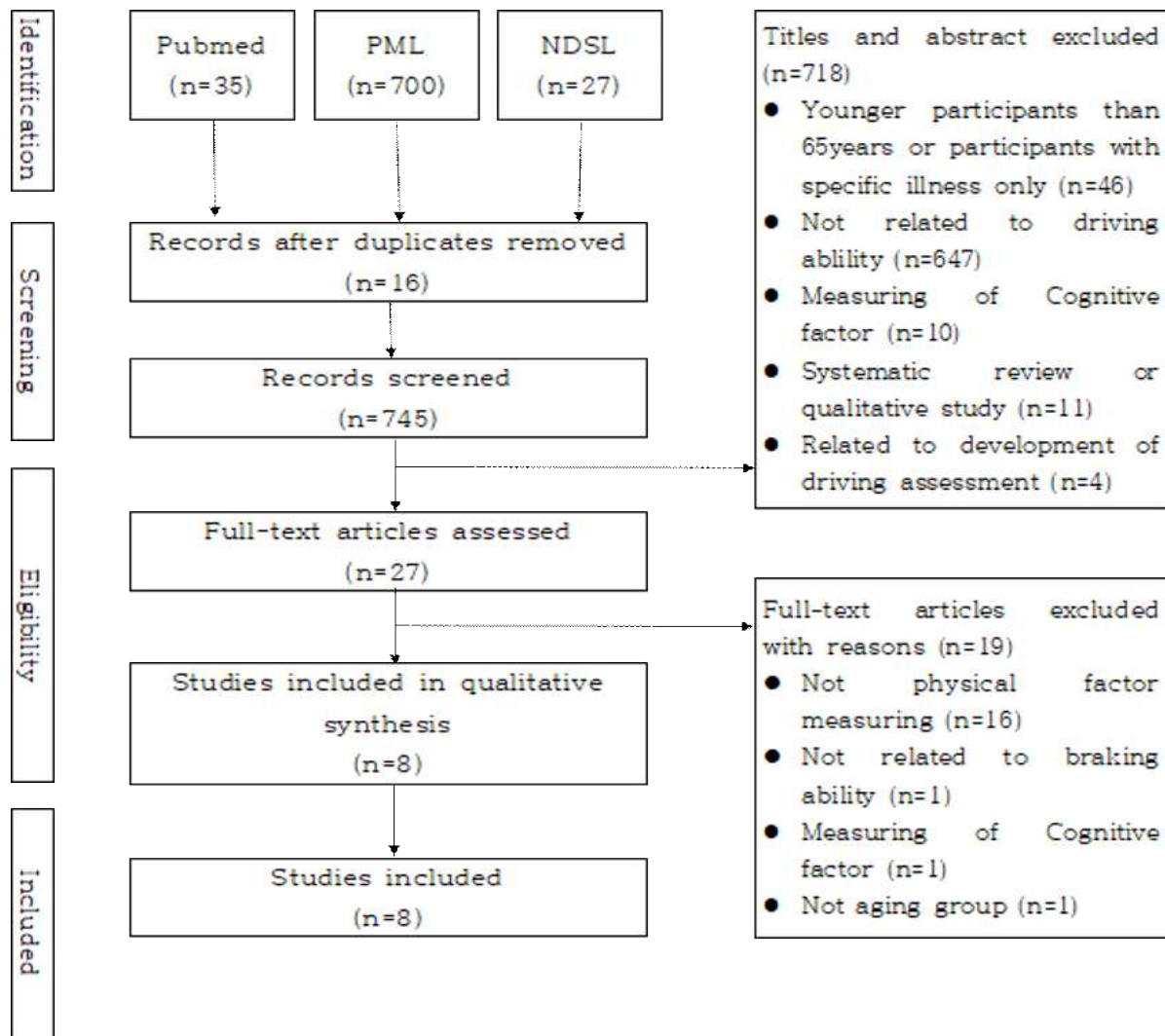


Figure 1. Process of selecting literature for analysis

Ⅲ. 연구결과

1. 근력

근력은 제동능력과 관련된 신체적 기능을 측정된 논문들 중 총 4편의 연구가 위의 요소를 분석하였다<Table 1>. 편은 하지의 근력만 측정되었으며, 1편은 상, 하지의 근력이 측정되었다. 근력을 측정하는 도구로써 페달을 이용한 측정 논문이 3편으로 분석하였다. 3편의 논문에서 고령운전자의 근력이 젊은 운전자에 비해 유의하게 낮게 나타났으며($p<.05$), 1편의 논문에서는 브레이크를 밟을 때 발생하는 최대 제동력이 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 높게 나타났다($p<.05$). 2편의 논문에서는 하지 근력과 제동능력이 연관이 없는 것으로 분석하였으며, 1편의 논문에서는 예측 불가능한 상황에서 제동능력과 하지 근력이 연관성이 있는 것으로 분석하였다.

2. 반응능력

반응능력은 제동능력과 관련된 신체적 기능을 측정된 논문들 중 총 8편의 연구가 위의 요소를 분석하였다 <Table 1>. 가장 높은 빈도로 분석된 요소이다. 8편의 논문에서 반응능력을 측정하기 위해서 운전 시뮬레이터 장비를 사용하였다. 모든 논문에서 고령운전자의 반응능력에 대한 측정 결과들이 낮게 측정되었다. 또한 반응능력을 측정하는 요소 중에서 총 7편의 논문에서 반응시간을 측정하였으며, 가장 빈도가 높았다. 뒤를 이어 제동 오류율에 대한 논문이 총 4편, 운동 전 반응시간 및 차량 간의 거리가 총 2편으로 분석하였다. 총 8편의 논문에서 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 반응시간이 길게 나타났으며($p<.05$), 주의산만한 환경, 예측불가능한 상황에서도 반응시간이 길게 나타났다($p<.05$). 또한 제동 오류율에서도 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 높게 나타났다($p<.05$).

3. 운동조절

운동조절은 제동능력과 관련된 신체적 기능을 측정된 논문들 중 총 2편의 연구가 위의 요소를 분석하였다 <Table 1>. 측정은 총 2편 모두 근전도와 페달을 사용되었다. 페달을 조작 할 때 앞정강근에 대한 근활성도의 변화를 측정하기 위해 근전도 장비가 사용되었다(허재석과 이상열, 2020). 총 2편의 논문에서 고령운전자의 발등 굽힘근, 발바닥 굽힘근 등의 운동 수행능력의 변화가 젊은 운전자에 비해 더 크게 나타났다($p<.05$).

4. 그 외 제동능력 관련 요소

근력과 반응능력, 운동조절 이외에 관련 요소들로 동적 균형능력 과 상,하지 유연성, 지구력 등을 측정되었다 <Table 1>. 위의 요소를 측정된 논문은 총 1편으로 분석하였다. 동적 균형능력 측정은 8 fit FUG를 사용하였고, 상,하지 유연성은 등뒤 손잡기 검사(Back Scratch Test), 앉아 윗몸 앞으로 굽히기 검사(Chair Sit and Reach Test) 평가도구가 사용되었다. 상지유연성은 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 높게 나타났으며($p<.05$), 하지유연성은 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 높게 나타났으나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 동적 균형능력은 고령운전자가 젊은 운전자에 비해 낮게 나타났으며($p<.05$), 예측할 수 없는 상황에서 반응속도와 동적 균형능력 간의 관련성이 있다는 결과로 분석하였다.

Table 1. Physical Functional Factors Affecting Braking Ability of Older Drivers

Study	Participant(Age)	^a P/F	Measurement	Result
Kim et al.,(2019)	Young Group: 14명(24.6±3.1) Older Group: 16명(72.4±5.6)	Reaction Ability, Motor Control	EMG, Brake Pedal	Anterior Tibialis Variability: Older Group > Young Group Braking Reaction Time & Force Errors: Older Group > Young Group
Bock et al.,(2021)	Young Group: 69명(23.2±2.8) Older Group: 65명(70.0±3.2)	Reaction Ability	Research- Grade Driving Simulator (Carnetsoft® version 8.0)	Braking Reaction Time: Older Group > Young Group Distance between the front car and the bumper, etc.: Older Group > Young Group
Huang & Pitts,(2022)	Young Group: Exercise: 12명(21.3±0.6) Non-Exercise: 12명(22.6±1.7) Older Group: Exercise: 12명(72.5±5.7) Non-Exercise: 12명(70.8±4.3)	Reaction Ability Muscle Power	National Advanced Driving Simulator(NADS)	Braking Reaction Time: Older Group > Young Group Maximum Braking Force: Older Group > Young Group
Karthus et al.,(2020)	Young Group: 24명(23.0±2.0) Middle Group: 17명(40.0±3.4) Older Group: 24명(61.3±3.3) Older Group2: 24명(75.6±2.9)	Reaction Ability	Static Driving Simulator (ST Sim, St Software B.V. Groningen, NL)	Braking Reaction Time: Older Group2 > Older Group > Middle Group > Young Group
Lodha et al.,(2016)	Young Group: 12명(27.8±3.7) Older Group: 16명(72.7±7.4)	Reaction Ability, Motor Control, Muscle Power	Isometric Power- Force Transducer (model 41BN, Honeywell, Morristown, NJ), Brake Pedal Power- Force Transducer (Model LAU200, 100 lbF capacity, FUTEK Advanced Sensor Technology, Irvine, CA)	Braking Reaction Time & Force Errors: Older Group > Young Group Dorsiflexion & Plantarflexion Variability: Older Group > Young Group Dorsiflexion & Plantarflexion Force: Older Group < Young Group
Park & Bae,(2020)	Young Group: 34명(26.5±7.4) Older Group: 52명(72.4±5.9)	Reaction Ability, Muscle Power, Balance et al.,	DrivingHealth® Inventory(TransAnalytics Health& Safety Services, Quakertown, PA, USA), 8-ft up-and-go Test Arm Curl	Braking Reaction Time: Older Group > Young Group Upper & Lower Muscle Power(Arm Curl & Chair Stand up Test): Older Group < Young Group Balance(8-ft up-and-go Test): Older Group >

			Chair Stand up Test Back Scratch Test	Young Group Back Scratch Test: Older Group > Young Group
Yuda et al.,(2020)	Young Group: 24명(21.0±1.0) Middle Group: 11명(48.0±12.0) Older Group: 17명(73.0±6.0)	Reaction Ability	Pedal Selective Psychomotor Vigilance Test (PS-PVT)	Braking Reaction Time & Force Errors: Older Group > Middle Group > Young Group
Song et al.,(2018)	Young Group: 21명(28.1±5.7) Middle Group: 40명(52.9±7.2) Older Group: 14명(70.5±3.5)	Reaction Ability, Muscle Power	Driver test Station, Autoadapt AB, Stenkullen, Sweden)	Timer Test: Older Group > Middle Group > Young Group Emergency Brake Test: Older Group > Middle Group > Young Group Muscle Power: Older Group < Middle Group < Young Group

^aP/F=physical function.

IV. 고찰

본 연구에서는 제동능력에 영향을 끼치는 신체적 기능을 근력, 반응능력, 운동조절, 그 외 제동능력과 관련된 요소로 나누어서 분석을 하였다. 고령운전자는 운전을 하는 동안 예상치 못한 상황에서 노화로 인해 신체적 기능의 감소가 제동능력에 영향을 미쳤다. 이러한 제동능력의 감소는 예상치 못한 상황에서 가속 페달에서 브레이크 페달로 발을 옮기는 속도 또는 페달을 밟는 반응속도가 느려지게 되거나 페달을 정확히 밟는 수행능력의 오류가 증가하게 되면서 사고의 위험성이 커지게 된다. 반응능력은 예상치 못한 상황 및 다양한 시각적인 정보가 제공될수록 노인의 운동 수행능력의 변화에 영향을 미치게 된다(Baweja 등, 2012; Kennedy와 Christou, 2011). 이러한 부분은 반응능력에도 영향을 미치게 된다. 노화로 인해 근력이 약화가 되면서 근육의 수축 속도가 느려지고 그에 따라 반응속도가 느려지게 되고(Sayers와 Gibson, 2012), 예상치 못한 상황 또는 위급한 상황에서 제동을 하는데 걸리는 시간이 길어지게 된다(송창순 등, 2018). 또한 노화로 인해 운동조절 능력이 감소하게 되면 필요한 동작을 수행하는데 적절하지 못한 근수축 및 동작수행 능력이 나타난다. 이러한 운동조절 능력의 감소는 반응능력의 감소와 연관성이 있다고 하였다(Lodha 등, 2016; Kim 등, 2019). 반응능력은 그 외 다른 신체적 기능들과 연관이 있으며, 하나의 신체적인 기능에서 영향을 받는 것이 아니라 다양한 신체적 요소들이 영향을 미치는 것으로 사료된다.

근력은 예상치 못한 상황에서는 노화로 인한 근력의 감소가 제동능력과 연관성이 있는 것으로 분석되었다. 노화로 인해 단백질 합성 속도가 느려지고 단백질 조직이 줄어들게 된다(Schulte와 Yarasheski, 2001). 또한 신경운동계가 쇠퇴하여 척수에서의 운동신경세포들이 감소하면서 근육양이 감소하고 이러한 근육양의 감소는 근섬유의 수와 크기가 줄어드는 것과 관련있다(Akima 등, 2001; Newman 등, 2003; Ahmadiyahangar 등, 2018; Larsson 등, 2019). 이러한 근력 감소는 움직임을 수행하는 속도에도 영향을 미치게 된다(Petrella 등, 2005). 따라서 노인을 대상으로 근력운동을 진행 시 근육의 수축 속도가 향상되며 발을 옮기는 속도 또한 증가된다. 그리고 근력의 증가는 예측 불가능한 상황에서 브레이크 페달의 위치로 발을 빠르게 이동시킴으로써 제동속도를 증가시킨다.(Sayers와 Gibson, 2012).

운동조절은 고령운전자의 근활성도의 변화 및 운동 수행능력의 변화가 젊은 운전자에 비해 더 크게 나타난 것으로 분석되었다. 노화로 인해 대뇌운동영역(motor cortical region), 소뇌(cerebellum)등의 영역이 기저핵 경로(basal ganglia pathways), 신경전달물질의 구조 및 기능적 저하로 인해 제 기능을 발휘하지 못하게 되면서 동일한 운동과제를 수행할 때 젊은 사람에 비해 노인의 경우 인지적 요구가 증가하게 된다고 가정하였다(Seidler et al. 2010). 이러한 노화로 인한 운동조절 능력의 감소가 근활성도의 변화 및 운동 수행능력의 변화에 영향을 미치며, 고령운전자의 운전 시 제동능력에도 많은 영향을 미치는 것으로 보고하였다(Lodha 등, 2016). 또한 다양한 시각적인 정보가 제공될수록 노인의 운동 수행능력의 변화를 증가시킨다고 하였다(Baweja 등, 2012; Kennedy와 Christou, 2011). 또한 근활성도의 변화 및 운동 수행능력의 변화가 반응능력의 감소와 연관성이 있다고 하였다(Lodha 등, 2016; Kim 등, 2019). 이러한 결과는 운동조절 능력의 감소가 제동능력에 영향을 미치는 것을 시사하고 있다. 또한 시각정보의 다양성은 운동 수행능력의 방해요소로 작용하고 있음을 시사한다.

그 외 제동능력과 관련된 요소에서 동적 균형능력 및 머리/목의 유연성과 같은 자세조절능력은 고령일수록 운동 수행능력의 변화를 증가시키면서 동적 균형능력 및 자세 제어능력을 감소시킨다(Kouzaki와 Masani, 2012; 이경순, 2011). 균형능력 및 자세조절 능력은 노화로 인해 감각통합능력의 저하가 나타나며, 신체의 질량중심

(center of mass)과 압력중심(center of pressure)을 제어하기 어려워진다(이경순, 2012). 또한 자세를 조절하는 상황에서는 자극과 환경에 적절한 반응을 하지 못하게 된다(Maki와 Mellroy, 1996). 다른 선행연구에서도 동적 균형능력의 감소는 브레이크 반응시간을 늦추는 요인이 될 수 있다고 하였으며(Lacherez 등, 2014), 예측 불가능한 상황에서 브레이크 반응시간은 동적 균형능력과 관련이 있다고 하였다(Park와 Bae, 2020). 동적 균형능력 및 자세조절능력의 감소는 운동 수행능력의 변화가 증가하게 된다. 이러한 증가의 원인은 중추신경계의 오류발생으로 운동 명령, 감각 입력 및 계획, 수립 능력이 저하되었기 때문으로 사료된다(Faisal 등, 2008).

본 연구의 제한점으로는 분석된 논문의 수가 적으며 각 논문 간의 근거 수준 간의 차이가 있으므로 일반화하기 어렵다는 것이다. 또한 신체적인 요소를 논문을 통해 각각 분석하였기 때문에 각각의 요소들마다 연관성이 있음을 설명하기에 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서 추후연구에서는 더 많은 논문의 수와 근거수준의 차이를 고려하여 일반화할 수 있도록 하면서 각각의 요소마다 연관성이 있는 부분을 결과로 제시하면서 그에 따른 연관성을 설명할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 실제로 고령 운전자의 신체적 기능과 제동능력의 상관성에 대한 연구 또한 진행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구는 고령운전자의 신체적 기능이 제동능력에 어떤 영향을 미치는지 분석하였다. 고령화가 가속화되면서 고령운전자는 더욱 증가할 것이며, 이에 따라 고령운전자와 관련된 신체적 기능에 대한 연구도 중요한 연구 분야가 될 것으로 예상된다. 또한 노인의 안전한 운전수행을 위해 사고와 밀접하게 관련된 제동능력에 영향을 미칠 수 있는 신체적 요소의 중요성을 인지하여야 한다. 노인의 운전능력에 대한 재활프로그램의 개발에 있어 신체적 기능을 증가시킬 수 있는 요소를 필수적으로 포함해야 할 것을 제시하며, 운전능력에 대한 평가 시, 신체적 활동 능력에 제한항목을 필수적으로 포함시켜야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 경찰청. 운전면허소지자 상태: 65세 이상고령운전자. <http://www.police.go.kr>; 2021.
- 김훈주, 감경윤, 신중일. 노인운전자들의 인지기능과 운전실태에 대한 연구. 한국산학기술학회논문지. 2014;15(5):2946-52.
- 도로교통공단. 고령운전자의 교통사고 추세. <https://www.koroad.or.kr>; 2017.
- 송창순, 이안나, 임현준, 등. 운전운동평가-기반 연령별 운전자 행태 분석 연구: 20 대부터 70 대까지. 한국산학기술학회 논문지. 2018;19(10):483-9.
- 심은석. 고령운전자 인적요인별 교통사고 피해손상연구. 경찰연구논집. 2009;5:81-110.
- 우예신, 신가인, 박상미 등. 고령자의 운전능력 영향요인 및 측정도구에 대한 체계적 문헌고찰. 한국노년학. 2018;38(1):225-41.
- 이경순. 정적직립자세에서 노인들의 자세동요 분석. 대한물리치료과학회지. 2011;18(1):69-77.
- 이경순. 노인여성의 정적직립자세에서 지면반력 주파수 분석. 대한물리치료과학회지. 2012;19(1):63-9.
- 통계청. 2021년 노인통계. <https://kostat.go.kr>; 2021.
- 허재석과 이상열. 한발서기 동안 동측, 반대측 방향의 상지부하가 다리근육의 근활성도에 미치는 영향. 대한물리치료과학회지. 2020;27(1):34-42.
- Ahmadiyahangar A, Javadian Y, Babaei M., et al. The role of quadriceps muscle strength in the development of falls in the elderly people, a cross-sectional study. *Chiropr Man Therap.* 2018;26(1):1-6.
- Akima H, Kano Y, Enomoto Y, et al. Muscle function in 164 men and women aged 20–84 yr. *Med Sci Sports Exerc*

2001;33(2):220-6.

- Baweja HS, Kwon M, Christou EA. Magnified visual feedback exacerbates positional variability in older adults due to altered modulation of the primary agonist muscle. *Exp Brain Res.* 2012;222(4):355-64.
- Bock O, Stojan R, Wechsler K, et al. Distracting tasks have persisting effects on young and older drivers' braking performance. *Accid Anal Prev.* 2021;161:106363.
- Christou EA. Aging and variability of voluntary contractions. *Exerc Sport Sci Rev.* 2011;39:77-84.
- Darling WG, Cole KJ, Abbs JH. Kinematic variability of grasp movements as a function of practice and movement speed. *Exp Brain Res.* 1988;73:225-35.
- Diermayr G, McIsaac TL, Gordon AM. Finger force coordination underlying object manipulation in the elderly—a mini-review. *Gerontology.* 2011;57:217-27.
- Dugan E, Barton KN, Coyle C, et al. US policies to enhance older driver safety: a systematic review of the literature. *J Aging Soc Policy.* 2013;25(4):335-52.
- Earles DR, Judge JO, Gunnarsson OT. Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 2001;82(7):872-8.
- Enoka RM, Christou EA, Hunter SK, et al. Mechanisms that contribute to differences in motor performance between young and old adults. *J Electromyogr Kinesiol.* 2003;13:1-12.
- Faisal AA, Selen LP, Wolpert DM. Noise in the nervous system. *Nat Rev Neurosci.* 2008;9:292-303.
- Huang G, Pitts BJ. The effects of age and physical exercise on multimodal signal responses: Implications for semi-autonomous vehicle takeover requests. *Appl Ergon.* 2022;98:103595.
- Green M. "How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times. *Transportation human factors.* 2000;2(3):195-216.
- Karthus M, Wascher E, Falkenstein M, et al. The ability of young, middle-aged and older drivers to inhibit visual and auditory distraction in a driving simulator task. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav.* 2020;68:272-84.
- Kennedy DM, Christou EA. Greater amount of visual information exacerbates force control in older adults during constant isometric contractions. *Exp Brain Res.* 2011;213(4):351-61.
- Kim C, Yacoubi B, Christou EA. Visual load and variability of muscle activation: Effects on reactive driving of older adults. *Hum Mov Sci.* 2019;63:172-81.
- Kouzaki M, Masani K. Postural sway during quiet standing is related to physiological tremor and muscle volume in young and elderly adults. *Gait Posture.* 2012;35:11-7.
- Lacherez P, Wood JM, Anstey KJ, et al. Sensorimotor and postural control factors associated with driving safety in a community-dwelling older driver population. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2014;69:240-4.
- Larsson L, Degens H, Li M, et al. Sarcopenia: aging-related loss of muscle mass and function. *Physiol Rev.* 2019;99(1):427-511.
- Lodha N, Moon H, Kim, C, et al. Motor output variability impairs driving ability in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2016;71(12):1676-81.
- Maki BE, McIlroy WE. Postural control in the older adult. *Clin Geriatr Med.* 1996;12(4):635-58.
- Muhrer E., Vollrath M. Expectations while car following—The consequences for driving behaviour in a simulated driving task. *Accident Analysis & Prevention.* 2010;42(6):2158-2164.
-

- Najm WG, Sen B, Smith JD, et al. Analysis of light vehicle crashes and pre-crash scenarios based on the 2000 general estimates system(No. DOT-VNTSC-NHTSA-02-04). United States. National Highway Traffic Safety Administration 2003.
- Newman AB, Kupelian V, Visser M, et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(11):1602-9.
- Park Y, Bae Y. Brake time is correlated with lower extremity strength, dynamic balance and low-contrast sensitivity in unpredictable driving situations in elderly drivers compared with young drivers: A cross-sectional study. *Geriatrics & Gerontology International.* 2020;20(6):571-7.
- Petrella JK, Kim JS, Tuggle SC, et al. Age differences in knee extension power, contractile velocity, and fatigability. *J Appl Physiol.* 2005;98(1):211-20.
- Rantanen T, Guralnik JM, Foley D, et al. Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *JAMA.* 1999;281:558-60.
- Sayers SP, Gibson K. Effects of high-speed power training on muscle performance and braking speed in older adults. *J Aging Res:* 2012.
- Schulte JN, Yarasheski KE. Effects of resistance training on the rate of muscle protein synthesis in frail elderly people. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2001;11:111-8.
- Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev.* 2010;34(5):721-33.
- William CM, Dennis PM, Samuel SW, et al. Relationship of health status, functional status and psychosocial status to driving among elderly with disabilities. *Phys Occup Ther Geriatr.* 2005;23(2/3):1-24.
- Woodworth RS. Accuracy of voluntary movement. *The Psychological Review: Monograph Supplements.* 1899;3(3),i.
- Yuda E, Yoshida Y, Ueda N, et al. Effects of aging on foot pedal responses to visual stimuli. *J Physiol Anthropol.* 2020;39(1):1-7.
-