



- 성길희, 황윤태¹, 박지원, 신화경
- 대구가톨릭대학교 의료과학대학 물리치료학과, ¹강릉영동대학 물리치료과

The effects of brake pedaling speed on onset time of muscle contraction in the lower extremity during driving task

Gil-Hee Sung, PT, BSc; Yoon-Tae Hwang, PT, PhD¹; Ji-Won Park, PT, PhD; Hwa-Kyung Shin, PT, PhD

Department of Physical Therapy, College of Medical Science, Catholic University of Daegu; ¹Department of Physical Therapy, Gangneung Yeongdong College

Purpose: Driving is essential to maintain independent living status in modern times. Many patients want to know when they can drive again, but it's only possible if they have the ability to control lower extremity muscles. In this study, we compared the effects of velocity on onset time of lower extremity muscles during driving tasks.

Methods: Twelve participants (5 male, 7 female) were enrolled. EMGs were used to test the onset time of lower extremity muscles; tibialis anterior, soleus, rectus femoris. To analyze the data, we used two way ANOVA.

Results: According to brake pedaling velocity, there was a significant difference in brake response time ($p < 0.05$). Further, when comparing the lower extremity muscles, there was a significant difference in onset time ($p < 0.05$). The order of muscle recruitment was tibialis anterior, rectus femoris, and soleus for achieving maximal velocity, but the order was rectus femoris, tibialis anterior, soleus for achieving submaximal velocity.

Conclusion: Brake pedaling velocity has significant effects on onset time of muscle contractions in the lower extremities. We suggested that a future study needs more subjects and more detailed research such as evaluations of visuo-motor coordination and fine motor dexterity.

Keywords: Brake response time, Driving, Electromyography, Onset time

논문접수일: 2010년 7월 15일

수정접수일: 2011년 2월 7일

게재승인일: 2011년 2월 11일

교신저자: 신화경, hkshin1@cu.ac.kr

1. 서론

자동차 운전 능력은 신체 활동의 독립성과 이동권 확보를 위한 중요한 기능적 활동 중의 하나이다.¹ 특히 이동 능력(locomotion)의 감소가 특징인 노인이나 신체 장애인의 경우 운전은 삶의 질에 더욱 큰 영향을 미치며, 이들은 재활을 통해 지속적으로 운전을 할 수 있기를 원한다.² 일반적으로 안전한 운전을 위해서는 운전 규칙(driving rules), 반응 시간(reaction time), 악력(pinch strength), 근력(strength), 소운동 기민성(fine motor dexterity), 감각(sensation), 눈-손 협응(eye-hand coordination), 시력(visual

acuity), 인지(cognition), 행동(behavioral measurements) 등이 적절해야 하며, 이 중 한가지 이상의 손상은 교통사고로 인한 장애의 확률을 높일 수 있다.³

이 중 브레이크 반응시간은 신호등이나 돌발 상황에 적절하게 대처하기 위해서 필요한 운전 능력 중의 하나이며, 적절한 반응을 유발하기 위해서는 시운동 협응(visuo-motor coordination)을 통한 하지의 적절한 근육 활성이 필수적이다. 장시간 운전하는 경우 발목의 굽힘과 펴 동작을 반복하게 되고 이로 인하여 하지 근육에 피로감을 느끼게 된다. 특히, 무릎이나 발목관절에 신체적 장애가 있는 경우에는 단순한 굽힘과 펴 동

작 조차도 하지 근육에 큰 부담을 줄 수 있다.⁴

현재 운전에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있으나, 운전 시 정확한 협응을 위한 하지 근육 활성화에 대한 구체적이고 실증적인 연구가 필요함에도 불구하고 많은 연구가 이루어지지 않고 있다. Rouffet 등⁵은 운전 시 하지 근육의 활성화 정도는 페달의 위치, 운동 역학, 페달 분속수(pedaling cadence)나 외부 부하량에 영향을 받는다고 보고하였다. 그러나 각 근육의 활성화도를 비교에 관한 연구 내용을 포함하고 있지 않았다.

따라서 본 연구는 운전 시 브레이크 페달링 속도에 의한 브레이크 반응 속도의 차이를 알아보고, 이에 따른 하지 근육의 개시시간의 차이에 관해 알아봄으로써 노인 및 장애인의 운전 능력 평가 및 재활을 위한 기초자료로서 활용하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 운전 경험이 있는 건강한 성인 12명(남자 5명, 여자 7명)을 대상으로 하였으며, 연구 대상자의 선정조건은 다음과 같다. 근골격계 및 신경계 질환이 없는 자, 하지의 구축 및 변형이 없는 자, 연구 내용을 이해하며 의사소통이 가능한 자, 시각 및 인지에 이상이 없는 자, 저항을 주지 않은 상태에서 앉은 자세로 균형을 유지할 수 있는 자로 정하였다. 실험 전 연구 목적과 방법에 대하여 피험자는 충분한 설명을 하였고, 모든 피험자는 실험에 참여할 것을 동의하였다. 본 연구에 참가한 대상자의 연령은 23.50±1.89세, 키는 169.67±7.96 cm, 몸무게는 58.50±10.16 kg이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

Gender	Age (yrs) (Mean±SD)	Height (cm) (Mean±SD)	Weight (kg) (Mean±SD)
Male	24.50±1.87	176.83±2.79	67.17±5.98
Female	22.50±1.38	162.50±2.88	49.83±3.31
Total	23.50±1.89	169.67±7.96	58.50±10.16

2. 실험방법

1) 실험 장치 및 전극 위치

브레이크를 작동시키는 데 필요한 근육 중 앞정강근(tibialis anterior muscle, TA), 넓다리곧은근(rectus femoris muscle, RF), 가자미근(soleus)을 선택하여 표면근전도 신호를 측정하였다.⁴ 표면 근전도 신호에 대한 피부저항을 감소시키기 위해 부착부위를 가는 사포로 3~4회 문질러 피부각질층을 제거하고, 소독용 알코올로 피부지방을 제거한 후에 소량의 전해질 겔

(electrolyte gel)을 바른 후 표면전극을 피부에 부착하였다. 표면 전극의 부착부위는 앞정강근은 종아리뼈 몸통과 하퇴의 외측면까지 거리의 1/4 지점에 부착하였고, 넓다리곧은근은 전상장골극과 무릎뼈를 연결하는 선의 중간 지점에 부착하였고, 가자미근은 하퇴 후면 중앙선 위에 하퇴 하부 1/3 지점과 2/3 지점의 경계선에 부착하였다. 접지전극(ground electrode)은 동측 무릎뼈에 부착하였다.⁶

1채널 표면전극인 Bagnoli DE3-1 EMG (DelSys Inc., Boston, MA., 미국)에서 수집된 근전도 아날로그 신호는 MP 150 시스템으로 보내져디지털 신호로 바뀐 다음, 개인용 PC에서 Acqknowledge 소프트웨어를 이용하여 필터링과 기타 신호처리를 하였다. 근전도 신호의 표본추출율은 1000 Hz이고, 주파수 영역(band width)는 20~450 Hz이었으며, 60 Hz 노치 필터(notch filter)를 사용하였다.

2) 실험 과정

실험은 대구가톨릭대학교 기계자동차공학부 차량 실습실 내의 TUCSON (HYUNDAI Inc, 대한민국) 자동차를 이용하여 실시하였다. 오른쪽 발이 닿거나 떼는 시점을 확인하기 위하여 압력센서로 이루어진 풋스위치(foot switch)를 브레이크 페달 표면의 중심에 부착하였다(Figure 1). 자세조절 근육의 활동과 하부 허리뼈 척추사이원반에 미치는 압력을 최소화하기 위하여 등받이 각도는 100°로 제한하고, 대상자가 편안하게 페달을 밟을 수 있도록 페달과 좌석의 거리를 조절하였다.⁷ 대상자들은 페달의 위치에 대한 적응을 위해 30초 동안 자율적으로 페달 밟는 연습을 하도록 하였다. 가속 페달에 발을 올려놓고 있다가 자동차 밖의 눈높이 지점에 위치한 모니터 화면에 신호가 나타나면 가속페달에서 브레이크 페달로 발을 이동하여 밟도록 하였다. 페달을 밟는 속도는 대상자가 편안하게 밟는 것과 대상자



Figure 1. Experimental setting. EMG was used to test the onset time of muscle contraction in the lower extremity muscles; tibialis anterior, soleus, rectus femoris.

가 최고 속도로 밟는 2단계의 방법으로 이루어 졌다. 각 단계에서 총 3회를 반복하여 밟았으며, 실험순서는 실험참가자 마다 무작위로 실시하였다. 대상자의 하지 근피로를 방지하기 위해 각 단계에서 1분간 휴식을 취한 후 반복 측정했다.

3. 자료분석

브레이크 반응시간은 신호 시작부터 브레이크에 발이 처음 닿는 시점으로 하였다. 또한 근수축 개시 시간은 Di Fabio의 결정법에 따라 모니터 화면에 신호가 시작한 후 역치값(기초선 기간의 평균값 +3SD) 이상이 되는 지점 중에서 25ms 이상 지속되는 첫 번째 값을 구하여 분석하였다.8,9 속도에 따른 브레이크 반응시간을 알아보기 위해 짝비교 t-test(paired t-test)를 실시하였으며, 두 요인(속도 X 근육)에 따른 근수축 개시 시간의 차이를 알아보기 위해 이요인 분산분석(two-way ANOVA)를 통해 분석하였다. 유의성을 검정하기 위하여 유의수준 α 는 0.05로 정하였다. 자료의 통계처리는 상용통계프로그램인 윈도 우용 SPSS Ver. 12.0을 사용하였다.

III. 결과

1. 브레이크 페달링 속도에 따른 브레이크 반응시간 비교

브레이크 반응 시간은 브레이크 페달링 속도가 최대일 경우 0.48 ± 0.00 초, 편안한 속도에서 0.86 ± 0.03 초로 나타났으며, 브

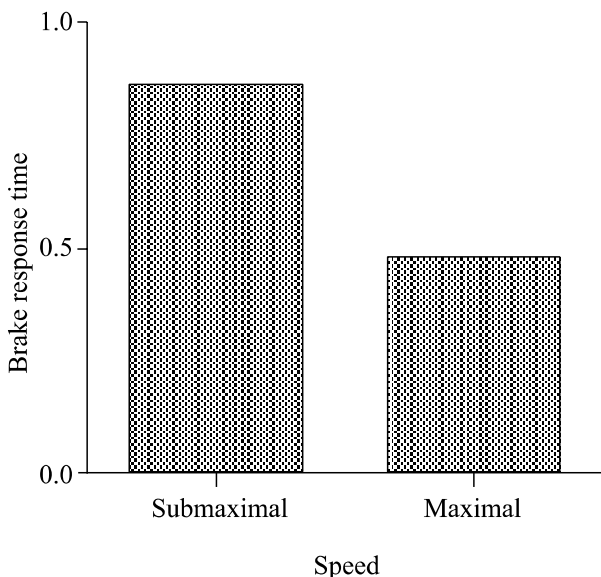


Figure 2. Brake response time in different brake pedaling speed. There was significant difference between submaximal speed and maximal one in brake response time ($p < 0.05$).

레이크 페달링 속도가 최대일 경우 브레이크 반응시간은 유의하게 빠르게 나타났다($p < 0.05$)(Figure 2).

2. 브레이크 페달링 속도와 근육의 종류에 따른 근수축 개시 시간 비교

이요인 분산분석 결과, 페달링 속도와 근육의 종류에 따라 근수축 개시시간은 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 즉, 페달링 속도가 빠를 경우 근수축 개시시간은 편안한 속도에 비해 유의하게 빠르게 나타났다($p < 0.05$). 또한, 근육에 따른 근수축 개시시간에서 넙다리곧은근은 가자미근에 비해 유의하게 빨리 수축하였고($p < 0.05$), 앞정강근은 가자미근에 비해 유의하게 빨리 수축하였다($p < 0.05$). 그러나 넙다리곧은근과 앞정강근은 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$)(Figure 3).

근수축 개시시간에서 속도와 근육 간에는 상호작용 효과가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 최대화 속도에서는 근육의 평균 개시시간은 넙다리곧은근, 앞정강근 가자미근 순으로이었으나, 최대속도에서는 앞정강근, 넙다리곧은근, 가자미근 순서의 결과를 나타냈다(Figure 3).

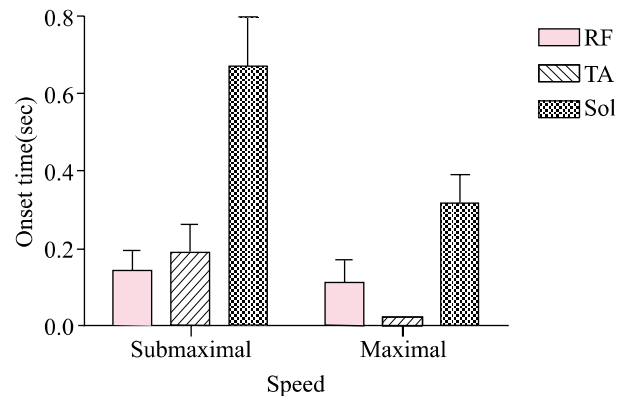


Figure 3. Muscle recruitment pattern in different speed. There was significant difference in onset time of muscle contraction ($p < 0.05$). The order of muscle recruitment was tibialis anterior, rectus femoris, soleus in maximal velocity, but that was rectus femoris, tibialis anterior, soleus in submaximal velocity.

IV. 고찰

자동차 운전은 일상생활의 독립성을 유지하고, 사회활동의 범위를 증대시키며, 나아가 직업활동을 가능하게 하는 수단으로 매우 중요한 역할을 하게 된다. 안전한 운전을 위해서 운전자는 운전 중에 생길 수 있는 다양한 시지각 정보를 인지하고 협응적 움직임이 가능해야 한다. 적절한 협응(coordination)이란 순

서(sequencing), 시간(timing), 거리(scaling)의 관점에서 신체를 조절할 수 있음을 의미하며, 순서 조절의 이상이 있을 경우 적절한근육을 순서에 맞게 활성화시키지 못함으로써, 관절과 근육에서 불필요하고 기능적이지 못한 움직임을 유발하게 된다. 시간조절의 손상은 적절한 시간에 근육을 활성화시키지 못했을 때 발생하며, 이로 인해 근수축의 개시 지연(onset delay), 느린 운동 시간(slow movement time), 종료 지연(offset delay) 등이 나타나게 된다. 거리조절의 이상은 적절하게 근력과 운동 범위를 조절하고 등급화(grading)하지 못했을 때 발생하며, 이로 인해 측정이상(dysmetria)이나 목표 추적 능력(target tracking performance) 손상이 나타나게 된다. 이와 같은 순서, 시간, 거리 조절의 이상이 있을 때 하지의 브레이크 조정 능력은 감소하게 되고 결국 브레이크 반응시간이 증가하게 된다.³ 특히, 노인 및 중추신경계 손상으로 인한 운동 손상이 있을 경우 나타나는 느린 운동 반응(slow movement), 경직(spasticity), 진전(tremor)과 같은 운동 손상은 조종이나 브레이크 반응에 영향을 줄 수 있다.

본 연구에서 사용된 근수축 개시시간은 외부 자극이 제시된 후 근전도 상에서 근육이 수축하는데 걸리는 시간을 의미한다. 이는 자극을 인지하고 판단하게 되는 뇌와 척수에서 일어나는 중앙 정보 처리과정(central processing)에 의한 시간적 지연이라고 할 수 있다. 반면 브레이크 반응시간은 외부 자극 후 브레이크를 밟는데 걸리는 시간을 의미한다. 본 연구에서는 자동차 운전시 하지 움직임의 속도에 따른 하지 근육의 개시 시간 및 브레이크 반응시간에 미치는 영향을 살펴보았다. 연구 결과 하지 움직임이 빠를수록 브레이크 반응시간이 유의하게 증가하였으며, 넙다리곧은근, 앞정강근, 가자미근 모두 근수축 개시시간이 감소하였다. 또한 편안하게 움직이는 속도인 최대하 속도에서는 하지 근육의 운동단위 순서가 넙다리곧은근, 앞정강근, 가자미근 순서이었으나, 최대 속도에서는 앞정강근, 넙다리곧은근, 가자미근 순으로 나타나 넙다리곧은근과 앞정강근의 운동 단위 순서가 역전된 것을 알 수 있었다.

일반적으로 속도가 빠른 움직임은 피드포워드(feedforward)에 의해 조절된다. 피드포워드 조절은 스스로 유발된 동요(self-induced disturbance) 이전에 발생하므로 선행적 자세 조절(anticipatory postural control)이라고 부르며, 이러한 피드포워드 조절은 피드백 조절을 배제하지 않는다.¹⁰ 선행적 자세 조절 기전에 의해 움직임 이전에 자세조절근을 먼저 수축함으로써 반발력으로부터 야기되는 자세동요에 대해 원위부 움직임이 효과적으로 일어날 수 있도록 근위부 안정성을 형성한다.¹¹ 본 연구에서 최대하 속도로 발목 굽힘과 폼 동작시 원위부의 넙다리곧은근 보다 근위부 근육인 앞정강근이 선행하여 수축했던 것과 다르게 최대속도에서 원위부의 근육이 먼저 수축한 후 근

위부에서 근수축이 일어났다. 그러므로, 최대속도에서는 굽힘과 폼 동작에 있어서 반발력에 의한 자세동요로 인해 원위부에서 움직임이 일어나기 위한 안정성 형성의 부족으로 인해 부자연스러운 움직임이 나타난다. 하지만, 근육의 활동패턴은 잘 조절된 훈련에 의해 변화될 수 있다.¹² 따라서, 최대 속도로 발목의 굽힘과 폼 동작시 최대하 속도에서와 같이 선행적 자세 조절 기전에 의해 보다 안정적인 움직임이 나타날 수 있도록 넙다리곧은근과 앞정강근에 반복적인 자극 입력을 통해 적절한 근수축 개시 패턴을 형성하기 위한 학습이 필요할 것이다.

장기간 운전 동안 최대속도로 발목관절의 굽힘과 폼을 반복시, 피로에 저항력이 적은 속근 섬유(fast twitch fiber)의 비율이 높은 근육일수록 상대적으로 피로가 빠르게 나타나게 된다. 그러므로 편안한 속도 이상에서 굽힘과 폼을 반복했을 때 앞정강근의 피로가 빠르게 증가하게 될 것이다. 특히, 앞정강근의 약화나 경직으로 인해 발목 관절의 움직임이 어려운 뇌졸중 환자의 경우는 운전시 브레이크 페달링 기능은 더욱 감소할 수 있다. 그러므로, 뇌졸중 환자의 운전 재활 마지막 단계에서는 앞정강근의 근지구력 향상 훈련이 반드시 필요할 것이다.

노인 및 장애인의 재활치료에서 빠뜨릴 수 없는 것이 기능적인 이동성의 독립을 추구하는 것이다. 직업적 또는 비직업적 활동을 가능하게 해주고 자기 가치를 실현할 수 있는 운전으로의 복귀는 이동의 독립으로 가는 중요한 단계일 수 있다. 장애로 인해 운동 손상을 가진 사람들에게 운전은 궁극적인 자유를 의미한다.¹³ 신경계 손상 환자 또는 고령자에 관한 연구에서는 대체 이동 수단이 있더라도 운전을 할 수 없는 것이 삶의 질을 실질적으로 떨어뜨린다고 보고했다.¹⁴ 이처럼 환자들의 운전에 대한 요구도가 높음에도 불구하고 현재 임상에서는 운전과 관련된 재활치료 분야에서의 객관적이고 실증적인 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 장애인 및 노인의 운전 재활 치료를 위한 기초 자료를 얻고자 자동차 운전시 하지 페달링 속도에 따른 하지 근육의 개시 시간 및 브레이크 반응시간에 미치는 영향을 살펴보았다. 하지만 연구의 대상자의 수가 적어 연구 결과를 일반화하기에 다소 어려움이 있다. 추후 연구 대상자의 수를 늘리고, 정상인 뿐만 아니라 장애인을 대상으로 한 평가가 이루어져야 할 것으로 본다.

현재 운전 재활을 위한 능력을 평가하는 기준으로는 핸들 조작, 발 브레이크 조작, 수동식 브레이크 조작 등으로 구성된 단순 운동 검사항목이 있으며, 이를 통과하면 운전 면허가 재발급되고 있다. 즉, 안전 운전에 필수적인 브레이크 반응 시간을 포함하는 시운동 협응이나 기민성에 관한 평가는 구체적으로 이루어지지 않고 있어, 이러한 기능에 손상이 있을 경우 실제로 운전에서는 큰 위험 요소로 작용할 수 있게 된다.¹⁵ 추후 운전자 재활을 위한 효과적인 운동치료 프로그램과 임상에서

적용하기에 용이한 운전 능력 평가도구 개발에 관한 연구가 필요하다

V. 결론

본 연구는 운전 시 브레이크 페달링 속도가 하지의 근수축 개시시간에 미치는 영향에 관해 알아 보고자 하였다. 연구 결과 브레이크 페달링 속도가 빠를수록 브레이크 반응시간은 유의하게 감소하였다. 브레이크 페달링 속도가 최대하일 경우 하지 근육의 근수축 개시시간은 넙다리곧은근, 앞정강근, 가자미근 순이었으나, 최대 속도에서는 앞정강근, 넙다리곧은근, 가자미근 순으로 나타나 넙다리곧은근과 앞정강근의 운동단위 순서가 역전됨을 알 수 있었다. 그러므로, 장기간 운전 시 최대속도로 발목관절의 굽힘과 폼을 반복할 경우 속근 섬유인 앞정강근의 피로가 최대하 속도에서 보다 빠르게 증가하게 될 것이므로, 이를 예방하기 위하여 앞정강근의 근지구력 훈련이 필요할 것으로 사료된다.

Author Contributions

Research design: Sung GH, Shin HK

Acquisition of data: Sung GH, Hwang YT, Shin HK

Analysis and interpretation of data: Sung GH, Shin HK

Drafting of the manuscript: Sung GH, Shin HK, Park JW

Research supervision: Shin HK

참고문헌

- Rappoport LJ, Bryer RC, Hanks RA. Driving and community integration after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(5):922-30.
- Ponsford AS, Viitanen M, Lundberg C et al. Assessment of driving after stroke-a pluridisciplinary task. *Accid Anal Prev.* 2008;40(2):452-60.
- Shin HK, Lee HC. Characteristics of brake response time during the driving performance in the elderly. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(3):81-5.
- Kim JY, Seo KB. The Effect of the heel rest on the lower leg muscle activity and fatigue during repetitive pedaling. *Journal of the Ergonomics Society of Korea.* 2005;24(4):55-62.
- Rouffet DM, Mornieux G, Zameziati K et al. Timing of muscle activation of the lower limbs can be modulated to maintain a constant pedaling cadence. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(6):1100-7.
- Gong WT, Han JT, Ro HL. The influence of contract-relax exercise on functional leg length inequality and muscle activity. *J Kor Soc Phys Ther.* 2009;21(1):49-56.
- Harrison DD, Harrison SO, Croft AC et al. Sitting biomechanics, part II: optimal car driver's seat and optimal driver's spinal model. *J Manipulative Physiol Ther.* 2000;23(1):37-47.
- Di Fabio RP. Reliability of computerized surface electromyography for determining the onset of muscle activity. *Phys Ther.* 1987;67(1):43-8.
- Jung YJ, Cho SH, Lee JH et al. Reliability of the onset time determinations during maximal isometric contraction in surface EMG. *KAUTPT.* 2003;10(1):51-62.
- Chae YW, Kim MH, Cho BM. The effect of anticipatory postural adjustment on balance performance in postural disturbance. *J Kor Soc Phys Ther.* 2000;12(1):65-71.
- Massion J. Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination. *Prog Neurobiol.* 1992;38(1):35-56.
- Stevens VK, Coorevits PL, Bouche KG et al. The influence of specific training on trunk muscle recruitment patterns in healthy subjects during stabilization exercises. *Man Ther.* 2007;12(3):271-9.
- Boulias C, Meikle B, Pauley T et al. Return to driving after lower-extremity amputation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(9):1183-8.
- Rappoport LJ, Hanks RA, Bryer RC. Barriers to driving and community integration after traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil.* 2006;21(1):34-44.
- Klimkeit EI, Bradshaw JL, Charlton J et al. Driving ability in Parkinson's disease: current status of research. *Neurosci Biobehav Rev.* 2009;33(3):223-31.