

스마트 자동차 좌석을 이용한 엉덩이의 동적 균형조절이 코어 등근육 활성화도에 미치는 효과

최우진¹ · 김성훈² · 여성윤² · 강구창² · 손문준^{3,4†}

¹올바른신경외과 / ²현대트랜시스 / ³인제대학교 일산백병원 신경외과학 교실 /

⁴인제대학교 부설 뇌과학-방사선융합수술연구소

The Effect of Buttock's Dynamic Balance Control on Core Back Muscles Activity Using a Smart Car Seat

Woo Jin Choi¹ · Sung Hoon Kim² · Seong Yun Yeo² · Gu Chang Kang² · Moon Jun Sohn^{3,4}

¹Allbareun Neurosurgery Clinic, Incheon / ²Hyundai Transys Inc, Hwaseong / ³Neurosurgery Department

⁴Neuroscience & Radiosurgery Hybrid Research Center, Department of Neurosurgery, Inje University Ilsan Paik
Hospital, College of medicine, Goyang

Sitting in a car seat for a long time causes fatigue in muscles such as trapezius and paraspinal muscles, which increases muscle fatigue and tension and eventually causes in degenerative spinal changes and pain. Therefore, the authors attempt to investigate the effect of trapezius and lower back muscle activity changes on whether fatigue may be improved by balancing the buttock contact pressure in the sitting position. The purpose of this study was to assess the electrophysiologic effect of dynamic balance control for the trapezius and lower core back muscles through wireless surface electromyographic evaluation using the smart car seat equipped with an ICT-based air bladder. Surface electromyography (sEMG) was measured for each 32 participant's trapezius and lumbar back muscles in three phases: 1) initial on standing, 2) seated for 25 minutes without balancing ischial pressure, 3) seated for 25 minutes with balancing ischial pressure, and then sEMG was measured for 1 minute on the standing of three individual phases. In the trapezius and low back muscles, the sEMG value of the three-phase MVIC showed a statistically significant increase in the left side compared to the right side ($p < 0.0001$). % MVIC difference increased in unbalanced seating (7.32 ± 0.83) compared to the initial measure (7.24 ± 1.72). However, it decreased with balancing seating (6.73 ± 1.81 , $p = 0.049$). There was no statistically significant difference in the overall %MVIC differences between both lower back muscles among three phases ($p = 0.35$), but the balanced seating showed a slightly increased % MVIC difference ($p = 0.10$) in contrast to that of the trapezius. Balanced control of hip pressure using automatic logic control of ICT-based smart car seats has the effect of reducing the left-right difference in muscle activity of upper core muscles compared to that of non-balanced seating. Conclusively, it is believed that the difference in the left and right imbalances in the activity of trapezius can be alleviated through the pressure balance seating at the driver's seat, and the effect of improving muscle fatigue can be expected. Nevertheless, driving in a sitting position, regardless of balance control, the lower core muscles continue to increase the activity of the lumbar muscles, which inevitably causes pain, discomfort, and fatigue over time. Wireless bio-sensing and balanced seat control using ICT-integrated smart car seats can be used as important application science fields that can improve muscle fatigue and degenerative spinal changes associated with professional workers.

Keywords: Electromyography, Car Seat, Seat Balancing, Muscle Fatigue, Muscle Activity, Information Communication Technology (ICT)

이 논문은 2020년도 교육부의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호 : NRF-2020R111A3073930).

† 연락저자 : 손문준 교수, 10380 경기도 고양시 일산서구 주화로 170 인제대학교 부속 일산백병원, 뇌과학 방사선융합수술연구소,

Tel : 031-910-7730, Fax : 031-915-0885, E-mail : mjsohn@paik.ac.kr

2022년 8월 22일 접수; 2022년 10월 21일 수정본 접수; 2022년 11월 25일 게재 확정.

1. 서론

자동차 운전은 대부분의 현대 성인들에게 가장 흔하게 노출되어 있는 생활 및 작업 환경이다. 미국의 경우 16세 이상 운전자가 하루 평균 2.5회의 운전을 하며 하루 평균 48.2km의 주행을 하고 하루 평균 운전시간은 59분이다(AAA Foundation for Traffic Safety, 2021). 미국 교통부 연방도로국의 보고에 의하면, 운전자의 피로도 누적은 고속도로 교통 사고 발생 원인의 절반 이상을 차지하고 있다(Kim *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2002). 국내 통계에서도 치명적 교통사고 원인의 25%가 운전자의 피로이며, 사업용 자동차 운전자의 30% 이상이 만성적인 피로 증상을 호소하고 있다. 특히 직업 운전자의 경우, 운전시간의 증가에 따른 운전시 주의력의 감소와 사고발생의 위험성은 밀접하게 연관관계가 있어 직업 운전자의 운전 피로도 관리가 시급한 실정이다(Kim *et al.*, 2016).

근골격계 질환은 장시간 운전을 하는 직업 운전자에서 발생하는 중요한 업무상 질환이다. 이는 운전자세가 목, 어깨, 체간의 움직임에 제한하는 고정된 자세(Postural Fixity)를 유지하기 때문이다(Kolich and Taboun, 2002). 고정된 자세는 앉은 자세에서 운전시트와 맞닿는 좌골 결절부위에 체중의 70% 이상이 집중되는 국소적인 체압 증가를 발생시킨다(Kim *et al.*, 2016). 이러한 국소적 압박은 조직의 허혈성 변화와 염증성 반응을 유발하며, 중국에는 골반자세의 비틀림 변형을 초래하기도 한다. 이러한 변형은 요추 및 골반 근육의 움직임이 최소화되는 지속적인 근긴장 상태와 근피로도의 증가에 의해서도 발생한다. 또한, 이러한 고정 자세에서 주행에 따른 노면 상태 변화나 교차로 회전과 같은 운전대 조작을 수행하게 되면 경직된 어깨-허리의 자세에서 단순히 어깨와 관련 등척성(Isometric) 동작에 필요한 근육만을 이용하게 된다. 이렇듯 자세 움직임없이 등척성 운동이 지속되는 경우에는 근육의 수축력이 감소하게 되는데, 이는 근피로가 그 원인이다(Nacpil *et al.*, 2019). 이러한 근피로에서 기인하는 승차 불편감을 해소하기 위하여 지금까지 자동차 시트에 마사지 시스템을 적용하는 등의 방법으로 승차 불편감과 근피로도를 개선하려는 노력이 있어 왔다(Donnelly *et al.*, 2009; Durkin *et al.*, 2006). 운전자가 체감하는 인체 부위별 승차감 지수는 머리, 척추 및 복부 부위가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Liu, 2018). 자동차 승차감은 척추 부위 자체보다는 착석시 운전석 시트에서 체감되는 척추-골반의 근긴장도 및 통증과 밀접한 연관이 있다고 알려져 있다. 이러한 사유에서 운전자들은 무게 중심을 이동시키기 위한 자세 변화 동작을 취한다고 하며, 이는 엉덩이에 집중된 국소적 체압을 변화시키기 위하여 운전석 시트내에서 재위치 보상 동작(macro-repositioning)을 취한다고 한다(Maradei *et al.*, 2017). 그러나, 운전 에 따른 고정된 자세에서의 근피로도에 대한 구체적인 신체 및 근육 변화에 대한 연구는 부족한 실정이다.

근피로도는 반복적인 근육활동에 의해서 발생하는 불편감 혹은 통증과 같은 주관적인 감각이다. 이를 객관적으로 측정

하기 위하여 표면 근전도가 활용되고 있다(Oberg *et al.*, 1994). 표면 근전도는 근육 운동단위의 종합 신호를 분석하는 방법으로 근활성도를 측정하는 RMS분석과 근피로도를 측정하는 주파수 분석이 활용되고 있다. 근활성도는 측정하는 근전도 신호를 기준값에 대한 RMS값으로 계산하는 표준화 방법으로 %MVIC(maximum voluntary isometric contraction, 최대수의 등척성 수축)값으로 측정하고 있다(Boettcher *et al.*, 2008). 표면 근전도의 RMS분석은 근전도 연구에 가장 널리 사용되고 있으며, %MVIC값은 서로 다른 피험자 또는 다른 근육군의 값을 비교시에 객관화된 동일 동작을 측정하는 장점이 있다(Kim *et al.*, 2005). 그러나, 역동적 혹은 등속성(isokinetic) 동작에서는 근육의 길이와 수축력이 계속 변화하기 때문에 근전도 신호의 진폭과 근수축력이 일관 없이 측정되어 RMS방식의 표준화는 사용하지 않는다. 이렇듯 복잡한 신호의 특성을 보이는 동작에서는 주파수 분석방법이 사용된다. 흔히 사용되는 주파수 분석 방법은 주파수 중간값(median frequency, MF)과 평균 출력주파수(mean power frequency, MPF)가 사용된다. 주파수 중간값(MF)은 근전도 속도(muscle conduction velocity)를 측정하는 신뢰할 수 있는 지표로 사용된다(Jang and Kim, 2004). 국소 근피로도는 근전도에서 신호 주파수의 변화로 측정할 수 있는데, 자발적 수축에 따른 근피로도의 누적은 근전도 신호에서 주파수 성분이 낮은 값으로 측정되어 이를 근피로도 측정 지표로 사용하고 있다(Han and Kwak, 2000).

운전 동작은 고정된 자세에서 근육의 힘을 증가시키는 등척성 동작에 해당되며, 근육 수축이 오래 지속되면 수축력이 감소하게 되고 결국 근피로도가 누적되게 된다(Lee and Nam, 2010). 이러한 근전도 결과는 각 근육 혹은 각기 다른 피험자마다 근전도 측정을 할 때 발생할 수 있는 여러 변수들을 최대한 배제시키기 위해서 정규화 과정을 거치게 되는데, RMS값은 피험자의 나이, 체중, 근육두께, 운동량, 피부두께 등에 의해 영향을 받는다. 따라서, 본 연구에서는 운전 동작에 따른 근활성도 및 피로도 평가를 위하여 RMS 방식의 근전도 신호 측정 계산 값인 %MVIC를 사용하였다. 본 연구는 주행 시뮬레이션 환경에서 자주 발생하는 척추-골반 불균형(spino-pelvic imbalance)에 따른 근피로도와 자동제어를 통한 균형조절이 근피로도에 미치는 영향을 비교, 평가하고자 하였다. 이를 위해서 좌관의 좌우 불균형을 자동 감지 제어하는 스마트 카시트를 이용하였고, 운전 중 척추-골반 균형 변화를 표면 근전도 측정을 통하여 자세의 균형조절이 운전자의 근피로도에 미치는 영향을 비교 분석하고자 하였다.

2. 방법

2.1 대상

본 운전 시뮬레이션 연구는 총 32명의 참가자를 대상으로 하였다. 참가자들은 본 실험의 목적과 방법에 대하여 충분한

설명을 듣고 동의를 한 후 연구에 참가하였다. 참가자 전원이 운전 습관 등에 관하여 설문지 작성하였다. 참가자들의 남녀 비율은 18:14이었고, 평균 나이는 34.97 ± 9.64 세였다. 평균 키와 몸무게는 각각 170 ± 7.83 cm와 71.31 ± 13.27 kg이었다. 평균 운전 경력은 12.79 ± 10.17 년이었으며, 하루 평균 운전 시간은 3.51 ± 2.89 시간이었다. 현재 운행중인 차량의 종류는 일반 승용차와 SUV차량으로 비율은 5:1이었다. 대상 참가자에는 근골격계 선천성 질환이나 최근 6개월 이내 척추 또는 골반의 질환으로 병원 진료를 받았거나 시술 혹은 수술적인 치료를 받은 과거 병력은 없었다.

2.2 스마트 카시트의 구성

본 연구를 위하여 다음과 같이 스마트 카시트를 구성하였다. 우선, 좌우 두개의 공기주머니를 카시트 좌판에 설치하고 공기 유량센서를 이용하여 좌판의 압력을 측정하였다. 측정된 좌판의 압력은 스마트 카시트의 자동화 논리 제어기를 통해서 공기주머니 내의 유압을 조절하여 자동제어 하였다. 자동화 논리제어는 태블릿에 블루투스 모듈로 설치하였으며, 제어기의 로직변경을 통해서 공압펌프의 흡기와 배기를 개별 구동하여 좌판의 압력을 조절하고 모니터링 하였다. 전원공급장치는 MEANWELL SMPS LRS-350-12 power supply를 이용하였다.

이렇게 구성된 스마트 카시트를 현재 시판중인 2020년식 제네시스 G80 모델의 운전석에 장착하였다. 스마트 카시트가 장착된 운전석은 정확한 표면 근전도 측정을 위해서 평탄화된 수평 바닥에서 이동식 운반장치 위에 고정하였다. 이동식 운반장치는 고정식 바퀴를 장착한 이동식 트레일러(trailer) 위에 평평한 10mm두께의 나무 합판을 고정하여 구성하였다. 수평계를 사용하여 스마트 카시트의 수평을 유지하며 표면 근전도 측정 연구를 진행하였다.

운전 시뮬레이션은 참가자들이 등받이 각도가 110도 설정된 상태의 스마트 카시트에 앉아서 정상모드(normal mode)에서 시작하였다. 이동식 운반장치 구조물에 핸들을 설치하여 시선이 일정하게 전방주시(수평으로 상하 10° 범위)가 유지될 수 있도록 하였다. 양쪽 발은 가속기 페달과 브레이크 페달 위에 위치하도록 하였다(<Figure 1>). 이후 단순 방사선 영상촬영을 통해서 운전자들은 무릎과 허벅지가 장골능선(ilic crest)를 가리지 않는 정도의 자세로 고관절 굴곡과 무릎 굽힘 각도를 확인하였다. 이와 같은 운전 시뮬레이션 자세에서 좌우 엉덩이의 압력을 공기 유량 센서에서 측정된 전압 값을 ADC값으로 변환하여 앉은 자세에서의 스마트 카시트의 엉덩이 유압 상태를 모니터링하였다. 정상모드로 착좌하여 스마트 카시트 내 좌우 엉덩이 압력 유압 차이가 2% 이내가 될 때까지 밸런싱을 하였으며, 1분 간격으로 압력을 재측정 및 밸런싱을 반복하였다. 이러한 조절을 자동모드(auto mode)로 설정하였다. 스마트 카시트에 앉아 있는 시간은 2021년 신규 북미 운전설문조사 결과를 근거로 각 단계별로 25분간 유지하는 것으로 진행하였다.

2.3 표면 근전도 측정 방법

본 연구는 다음과 같은 단계로 진행되었고, <Figure 2>는 전체 연구의 모식도이다.

표면 근전도 전극의 부착은 상부(어깨) 등 코어 근육 측정을 위해서는 양측 승모근(upper trapezius muscle)에 부착하였고, 하부 요추부 등근육 측정은 양측 요방형근(Quadratus lumborum muscle) 및 다열근(Multifidus muscle) 경계에 부착하였다. 피험자들은 테스트 진행 전 서있는 상태에서 양측 승모근 및 양측 허리에 무선 표면 근전도(wireless sEMG, surface electromyography)를 부착하였다. 그리고 근전도 측정은 같은 자세



Figure 1. Smart Car Seat Installation and Simulation under Automated Logic Controller

로 서서 측정하여 비교하였으며, 착좌시 스마트 카시트의 밸런싱 유무가 기립 후의 척추 및 골반에 미치는 영향과 변화를 측정하고 평가하였다. 다른 표면 근전도 연구 사례에서도 어깨 및 허리 근육의 변화를 기립 상태에서 측정하여 비교한 결과를 참고하였다(Snijders *et al.*, 1998; Trepman *et al.*, 1994).

각 근육 혹은 각기 다른 피험자마다 근전도 측정을 할 때 발생할 수 있는 여러 변수들을 최대한 배제시키기 위해서 정규화과정을 거치게 되는데, 본 테스트에서는 %MVIC (Maximum Voluntary Isometric Contraction)를 사용하였다. 이는 RMS값이 피험자의 나이, 체중, 근육두께, 운동량, 피부두께 등의 영향을 받기 때문이다. 근전도 검사 시 근전도 신호의 표본 추출률은 1,000Hz로 설정하였으며, 필터링 시 증폭된 파형은 20~400Hz 대역통과를 하였으며 데이터 값을 정류(Rectification)한 다음, Smoothing(RMS algorithm, 100 ms window) 과정을 거쳐 진폭의 정규화(amplitude normalization)를 통해서 저장하였다. 그리고 근전도 신호 데이터(raw EMG)를 MVIC와 동일한 과정으로 분석 후, 진폭의 정규화를 하여 각각의 대상자들에 대한 EMG 신호 데이터의 평균값을 최대 등척성 수축(%MVC)으로 정규화하여 표현하였다. 근전도 결과는 Graphpad사의 PRISM 8을 이용하여 분석을 하였으며 paired t-test 및 RM ANOVA (Repeated measures ANOVA)를 사용하였다.

2.4 세 가지 단계별 표면 근전도 측정(three phase measurements)

근전도 측정은 다음과 같은 세 단계 자세에서 각각 측정하였다. 초기 서 있는 자세에서 근전도를 먼저 측정하였으며 이후 25분간 스마트 카시트에 조치가 없는 상태에서 착좌 후 서 있을 때의 어깨 및 허리 근육의 근전도 변화를 측정하였다. 그리고 마지막으로 스마트 카시트에 착좌 후 25분간 연속적인 조치 후 서 있을 때 어깨 및 허리 근육의 근전도 변화를 측정하여 각각의 차이를 비교하였다.

- 1) Phase 1: 초기 단계의 기초 표면 근전도 값을 서 있는 상태에서 1분간 측정하였다.
- 2) Phase 2: 자동차 좌석에 앉은 상태로 25분간 유지한 이후에, 다시 일어선 자세에서 1분간 표면 근전도를 측정하였다.
- 3) Phase 3: 자동차 좌석에 앉은 상태에서, 스마트 카시트에 장착된 공기유량 센서에서 측정된 생체 불균형 측정값에 따라서 양측 엉덩이의 압력차이를 측정 및 분석하여 좌우 공기주머니의 공기량 조절을 통하여 좌우 시트팬의 균형 조절을 시행하였고, 이후 25분간 균형착석을 유지한다. 이후 다시 일어선 자세에서 1분간 표면 근전도를 측정하였다.

3. 결과

3.1 각 단계별 표면 근전도 결과

각 단계에서 측정된 상부 및 하부 등 코어근육의 표면 근전도 결과값(%MVIC)은 아래 표와 같다(<Table 1>).

초기 측정값과 균형조절 전, 후의 착석 운전 후 측정된 표면 근전도 수치에서 각 그룹간 큰 차이는 아래와 같은 패턴이 관찰되었다.

상부 등 코어근육에 해당하는 표면 근전도의 %MVIC 결과값의 비교 분석한 결과는 다음과 같다. 우측 어깨에서 각 단계별 %MVIC 값은 통계적으로 유의한 변화가 관찰되지 않았다. 다만, 좌측 어깨에서의 측정값은 Phase 1에 비해 Phase 2에서 0.97%가 증가하였으며, 균형조절(phase 3) 이후에는 Phase 1과 비교해서 1.1%가 감소한 결과가 관찰되었다. 또한 Phase 2와 비교해서는 균형조절 이후 2.01%의 %MVIC 측정값 감소가 관찰되었다. 그러나, 상부 등 코어근육 %MVIC 값의 좌우 차이는 각 단계에서 통계적으로 유의한 변화는 관찰되지 않았다 ($p=0.7843, p=0.1480$, respectively, <Table 1>, <Figure 3>).

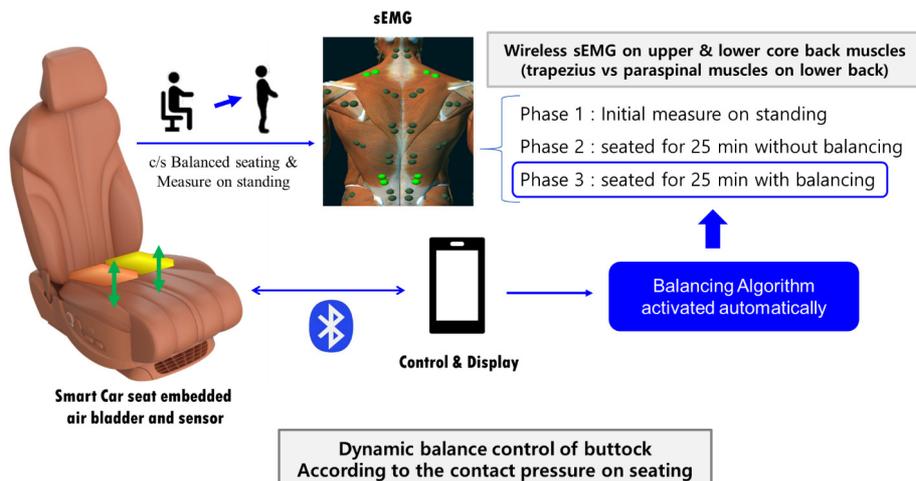


Figure 2. Overall Research Flow Chart

Table 1. sEMG on upper and Lower Core Back Muscles (%MVIC, average±SD)

Phases		Phase 1 (initial)	Phase 2 (without balancing)	Phase 3 (with balancing)	p-value (ANOVA)	F	DF
Upper & Lower core back muscles	Right	28.66±1.64	28.92±1.29	28.79±1.56	0.7843	0.2419	95
	Left	35.90±1.58	36.25±1.11	35.52±1.99	0.1480	1.981	95
Shoulder	Right	22.77±1.49	23.32±1.08	22.92±1.05	0.1520	1.996	95
	Left	26.20±1.83	26.33±1.64	26.48±1.10	0.6249	0.4369	95

하부 코어근육에서의 표면 근전도상의 %MVIC 결과값의 각 단계별 변화 결과는 다음과 같다. 우측 하부 요추근에서 측정된 %MVIC 값은 Phase 1에 비해 Phase 2에서 2.42%가 증가하였으며, 균형조절(phase 3) 이후에는 Phase 1과 비교해서 0.66%로 증가 변화가 감소하였다. 또한, Phase 2와 비교하여 균형조절 이후 1.79%의 %MVIC 값이 감소되는 결과가 나타났다. 그러나, 우측 하부 요추근에서의 각 단계별 %MVIC 값의 변화는 통계적으로 유의한 차이는 관찰되지 않았다($p=0.1520$, <Table 1>, <Figure 4>).

좌측 하부 요추근에서는 측정된 %MVIC 값이 Phase 1에 비해 Phase 2에서 0.49%가 증가하였으며, 균형조절 후에는 1.06%로 더욱 증가하는 결과가 나타났다. Phase 2와 비교해서도 균형조절 후에 약 0.57%의 %MVIC 값 증가가 관찰되었다. 하지만 좌측 하부 요추의 %MVIC 수치 변화에 있어서도 각 단계별 변화 차이는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.6249$, ANOVA, <Table 1>, <Figure 4>).

각 단계별 표면 근전도 측정값의 좌우 차이 비교에서는 모든 단계에서 좌측의 %MVIC 값이 우측에 비해서 유의하게 증가된 조건이 관찰되었고, 이는 통계적으로 $p<0.001$ 로 모두 유의한 차이를 보였다. (paired t-test, <Figure 3>, <Figure 4>).

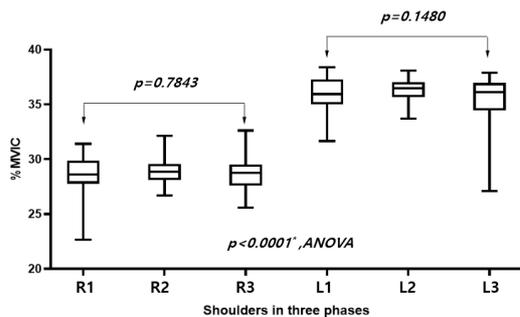


Figure 3. Overall sEMG on both side of Right (R) and Left (L) Side of Shoulders during Three Phases (1,2,3)

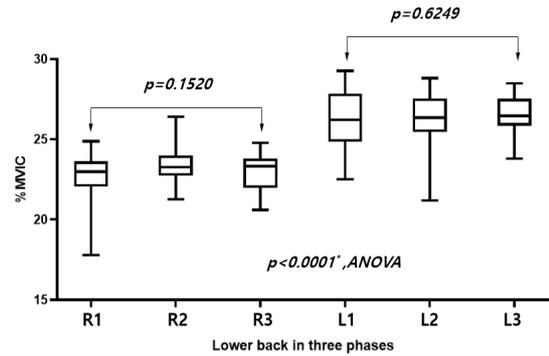


Figure 4. Overall sEMG on Both Side of Right (R) and Left (L) Side of Lower Back during Three Phases (1,2,3)

3.2 각 단계별 %MVIC의 좌우 차이값 변화에 대한 분석

상부 코어근육인 어깨에서 측정된 좌우 %MVIC 수치의 좌우 차이는 7.24±1.72(phase 1), 7.32±0.83(phase 2), 6.73±1.81(phase 3)이었으며, 각 단계별 차이 변화에 있어서는 통계적 유의성이 관찰되지 않는($p=0.15$, ANOVA, <Table 2>, <Figure 5>), phase 3 균형조절 이후의 어깨 %MVIC의 좌우 차이값 변화는 균형조절 이전인 phase 2에 비해 통계적으로 유의하게 감소하는 것이 관찰되었다($p=0.049$, paired t-test, <Table 2>, <Figure 5>).

한편, 하부 코어근육인 요추에서 측정된 좌우 %MVIC 수치의 좌우 차이는 3.44±1.83(phase 1), 3.01±1.94(phase 2), 3.56±0.97(phase 3)으로, 착석 내 엉덩이 압력의 균형조절에도 불구하고 각 단계별 차이 변화는 통계적으로 유의하지 않았다($p=0.35$, ANOVA, <Table 2>, <Figure 6>). Phase 1과 2 및 Phase 2와 3간에서도 통계적으로 유의한 요추부 %MVIC의 좌우 차이 변화 관찰되지 않았다($p=0.34$, $p=0.10$, respectively, paired t-test, <Figure 6>).

Table 2. Comparison of sEMG Differences between Right and Left Sides on Shoulder and Lower Back(%MVIC, average±SD)

Difference between right and left	Phase 1 (initial)	Phase 2 (without balancing)	Phase 3 (with balancing)	p-value (ANOVA)	F	DF
Shoulder	7.24±1.72	7.32±0.83	6.73±1.81	0.15	1.994	95
Lower back	3.44±1.83	3.01±1.94	3.56±0.97	0.35	1.049	95

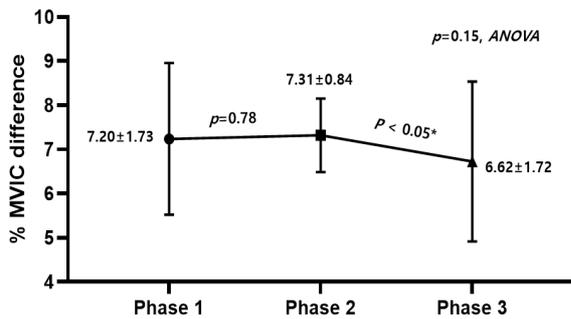


Figure 5. Comparison of %MVIC Differences in Both Shoulders in Three Phases

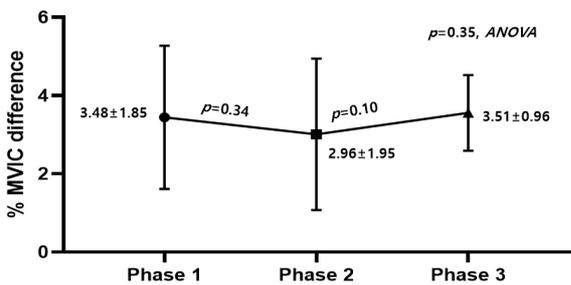


Figure 6. Comparison of %MVIC Differences in Both Lower Back in Three Phases

4. 논의

4.1 운전과 근피로도

운전자의 도로 주행에 따른 근피로도의 증가는 현대생활에서 가장 흔하게 경험되고 고려되는 건강 문제 중에 하나이다. 근피로도는 많은 사람들이 흔히 경험하는 비특이적인 증상으로, 피로감, 정력의 소진, 지침, 탈진들의 증상으로 발현되며 누적되면 만성 피로 증후군으로 진행되기도 한다. 운전 중에 발생하는 근피로도는 운전 시간 및 주행거리와 밀접한 연관이 있으며, 운전 자세도 중요한 요인 중 하나이다. 이러한 근피로도를 객관적으로 측정하는 생체지표에 대한 연구로는 혈중 내 축적된 젖산 농도를 측정하는 생화학적 검사부터 비관혈적 검사방법으로 근전도 검사가 주로 활용되고 있으며 이에 대한 연구결과가 각 분야에서 활발하게 보고되고 있다(Wan *et al.*, 2017). 특히 운전으로 인해서 발생하는 근피로도에 대한 연구에는 표면근전도가 적극적으로 활용되고 있다(Katsis *et al.*, 2004 ; Balasubramanian *et al.*, 2007).

4.2 운전자세와 승차감

운전 자세와 관련해서 운전석의 인체공학적인 디자인 및 설계를 바탕으로 승차감 개선을 위한 산업적 발전이 이루어져 왔다. 운전 자세와 관련된 인체공학적인 관점에서 자동차 좌석에 접촉

되는 엉덩이 압력에 대한 연구도 중요한 고려사항 중 하나이다 (Michida *et al.*, 2001). 또한 승차감 향상을 위해서 여러가지 자동차 부품의 개선, 타이어의 재질 및 성능 개선, 서스펜션의 개선, 진동제어 등의 노력이 있어왔으며 시트 재질의 변경에 대한 연구도 있었다(Hong *et al.*, 2004 ; Kang, 2015). 이중 운전 상황에서 가장 움직임이 적은 부분이 엉덩이이며 시트에 닿는 부분이다. 오히려 상체의 움직임은 반복적으로 있지만 엉덩이를 운전 중에 떼거나 이동을 시키는 것은 거의 불가능 하기 때문에 척추의 전후방 움직임과 좌우로 발생하는 비틀림 등으로 인하여 엉덩이 중 특히 골반 및 엉치부위는 지속적으로 눌리는 압박 및 하중을 받게 되고 특히 궁둥뼈가 가장 큰 하중을 받고 결국 통증으로 이어진다. 운전자가 시트에 착좌 시 인체 무게의 70% 이상은 시트 쿠션이 지지하게 되고 특히 좌골 결절에서 상당한 체압이 발생하게 된다. 그리고 이 체압은 혈액 순환을 방해 하기에 충분한 압력이며 결과적으로 통증과 마비를 유발하게 되고 안락감을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다(Kim *et al.*, 2016). 또한 이는 승차감을 저하시키고 운전자의 만족도를 감소시킨다. 정적인 자세는 국소적인 근골격계 불편감(통증, 근육경련, 무감각), 정신적인 피로감, 장기간에 걸친 만성 근골격계 문제들을 유발할 수 있다(Varela, 2019). 실제로 장시간 운전을 하게 되면 불가피하게 척추와 관련된 문제점들이 발생한다고 보고되고 있다(Kolich and Taboun, 2002).

4.3 운전시 엉덩이 접촉면 압력과 승차감 그리고 근피로도와의 관계

엉덩이와 운전 좌석의 접촉면에서 발생하는 국소적인 압력 분포는 주행 중 착좌 자세에서 느끼는 불편함과 밀접한 연관되어 있다고 알려져 있다(Looze *et al.*, 2003). 엉덩이에 압력을 받는 국한된 면적부위에 집중될수록 국소적으로 엉덩이 부위를 눌리는 힘이 증가하여 단위면적당 압력이 증가하고 국소적인 조직 영양 상태가 나빠져서 허혈성 변화 및 염증 반응을 일으켜 불편함을 유발시키는 기전으로 설명되고 있다(Varela *et al.*, 2018). 따라서 본 연구에서는 주행 중에 자동차 운전석 시트내에서 발생하는 운전자의 좌,우 좌골 결절의 압력을 측정하고, 압력차이를 자동화 논리 제어기로 조절하여 압력의 불균형을 조정하는 스마트 카시트 적용이 근피로도 개선에 어떠한 영향을 주는지에 대해서 근활성도를 이용하여 규명하고자 하였다. 그리하여, 총 3단계로서 있는 자세에서 양측 어깨의 표면 근전도 검사를 하였고 근활성도의 좌우 차이 값은 스마트 카시트를 이용하여 밸런스 착석 후 서서 측정한 결과가 밸런스를 하지 않고 착석 후 서서 측정한 결과에 비해 통계적으로 유의하게 감소되어($p=0.049$) 운전시 승모근의 근육피로도를 개선하는 효과가 기대된다는 결론을 얻었다. 그러나, 어깨와 달리 허리의 근전도 결과는 운전석에 밀착한 엉덩이 부위의 정적 자세 유지 및 호흡시마다 일어나는 척추 및 골반의 상하 움직임에 따른 요추부 근육의 근긴장도 유지를 위한 근활성도가 지속되어 결과적으로 근피로감이 지속되는 것으로 나타

났다. 이를 종합해 볼 때, 자동화 논리제어를 이용한 운전석 시트 벨런스의 균형 조절은 고정된 운전 자세에 운전시트에 직접적으로 위치한 요추부 보다는 상부 코어 근육인 어깨의 근활성도에 더 효과적으로 근피로 개선효과를 줄 것으로 기대된다.

또한, 본 연구결과에서 관찰되는 특징적 소견은 표면근전도 검사 결과에서도 좌측 어깨 및 허리의 근활성도 결과가 우측에 비해 모두 통계적으로 유의하게 높았다는 점이다 ($p < 0.0001$). 이는 자동차 시트에 앉게 되면 요추 전만(lumbar lordosis)이 감소하면서 흉추후만(thoracic kyphosis)이 소실되고 경추전만(cervical lordosis)이 감소하며 이때 시상수직선(sagittal plumb line)이 전방으로 이동되게 되어 골반의 좌우 이동에 따른 요추 다열근 및 요방형근의 비대칭적인 수축으로 인하여 관상면(coronal view)에서 수직선(plumb line)이 좌우 이격이 증가하여서 발생하는 것으로 판단된다. 본 연구 참가자 전원이 오른손잡이였고, 위와 같은 기전에 의해서 운전 자세 유지를 위하여 우측 근육을 사용하는 과정을 통해서 지지 역할을 하는 좌측의 코어 근육의 근긴장도를 증가시켰을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 2021년 신규 북미 운전설문조사를 바탕으로 운전자의 평균 1회 운전 시간에 따른 운전 환경을 설정하였으나 향후 장시간 운전에 따른 신체 각 부위의 근육의 근활성도의 영향에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론 및 제언

ICT 기반 스마트 카시트의 자동논리제어를 활용한 엉덩이 압력의 균형제어는 비균형 착석과 비교해서 상부 코어근육의 근육 활동 차이를 줄이는 효과가 관찰되었다. 운전석의 압력 균형 착석을 통해서 승모근 근육의 활성화도 좌우 불균형 차이가 완화되어 근피로감의 개선효과를 기대할 수 있다고 하겠다. 그럼에도 불구하고 앉은 자세에서 운전은 균형 조절의 여부와 상관없이 하부 코어근육은 요추부 근육의 활동을 지속적으로 증가시켜, 시간이 지남에 따라 불가피하게도 통증, 불쾌감, 피로감을 유발할 수 있다. 향후 장시간 운전으로 발생하는 만성 근피로도 경감 및 승차감 개선효과에 미치는 영향에 대한 평가와 어깨 및 요추 근활성도 개선의 차이의 연관성에 대하여 보다 많은 연구개발과 평가가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

Agten A., Stevens S., Verbrugghe J., Eijnde B. O., Timmermans, A., and Vandenabeele, F. (2020), The lumbar multifidus is characterised by larger type I muscle fibres compared to the erector spinae, *Anat Cell Biol*, **53**(2), 143-150.

AAA Foundation for Traffic Safety (2021), *New American Driving Survey: Updated Methodology and Results from July 2019 to June 2021*,

American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, Washington DC, USA.

Balasubramanian, Venkatesh, and Adalarasu, K. (2007), EMG-based analysis of change in muscle activity during simulated driving, *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, **11**(2), 151-158.

Boettcher, C. E., Ginn, K. A., and Cathers, I. (2008), Standard maximum isometric voluntary contraction tests for normalizing shoulder muscle EMG, *Journal of Orthopaedic Research*, **26**(12), 1591-1597.

Donnelly, C. J., Callaghan, J. P., and Durkin, J. L. (2009), The effect of an active lumbar system on the seating comfort of officers in police fleet vehicles, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, **15**(3), 295-307.

Durkin, J. L., Harvey, A., Hughson, R. L., and Callaghan, J. P. (2006), The effects of lumbar massage on muscle fatigue, muscle oxygenation, low back discomfort, and driver performance during prolonged driving, *Ergonomics*, **49**(1), 28-44.

Han, J. S. and Kwak, H. S. (2000), Quantification of Degree of Fatigue in Back Muscle and Its Influence on Back Injury Using Electromyography Measurement, *Journal of Biomedical Engineering Research*, **21**(2), 219-224.

Jang, K. and Kim, Y. H. (2004), Muscle Fatigue Analysis by Median Frequency and Wavelet Transform During Lumbar Extension Exercises, *Journal of Biomedical Engineering Research*, **25**(5), 377-382.

Kang, J. S. (2015), Ride Quality Analysis Using Seated Human Vibration Modeling, *Journal of the Korean Society for Railway*, **18**(3), 194-202.

Katsis, C. D., Ntouvas, N. E., Bafas, C. G., and Fotiadis, D. I. (2004), Assessment of muscle fatigue during driving using surface EMG, In *Proceedings of the IASTED International Conference on Biomedical Engineering*, 262.

Hong, K. S., Hwang, S.-H., Hong, K.-T., Yoo, W. S. (2004), Modeling and Active Control of an Air-Cell Seat for Ride-Comfort Improvement, *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A*, **28**(11), 1672-1684.

Kim, J. J., Kwon, D. K., Kim, K., Yu, C. H., Oh, S. Y., Lee, C. K., Kim, D. W., Hwang, B. H., Moon, Y. J., and Jung, K. Y. (2012), The Fatigue Analysis of Urban Bus Driver with Electromyography (EMG) Analysis, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, **29**(10), 1149-1156.

Kim, J. J., Lee, M. H., Kim, Y. J., Chae, W. S., Hanm Y. S., and Kwon, S. W. (2005), Comparison of the maximum EMG Levels recorded in maximum effort isometric contractions at five different knee flexion angles, *Journal of the Korea society of sport Biomechanics*, **15**(1), 197-206.

Kim, S. W., Seong, H. M., and Park, S. J. (2022), An Evaluation of Driving Fatigue on Long-term Driving, *Proceedings of the Spring Conference on Society for Emotion and Sensibility*, 177-180.

Kim, S. Y., An J. R., and Kim, K. S. (2016), The analysis on characteristics of seat pad considering the body pressure of vehicle drivers, *Proceedings of the Spring Conference on Korean Society of Automotive Engineers*, 619-619.

Kolich, M. and Taboun, S. M. (2002), The effect of microadjustment on low back comfort in the context of automotive seating, *International Journal of Vehicle Design*, **29**(4).

Lee, G. J. and Nam, J. H. (2010), A Study on the Electromyography Change for Analysis of rectus femoris muscle stiffness with muscle fatigues, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, **14**(10), 2317-2323.

- Lee, S. Y., Shin, H. K., and Cho, S. H. (2003), Characteristics of Median Frequency According to the Load During Fatiguing Isometric Exercise, *Physical Therapy Korea*, **10**(3), 141-149.
- Liu, M. R. (2018), An investigation of a ride comfort index using a human-vehicle combined model, *Master's thesis*, Hanyang University, Seoul.
- Looze M. P., Kuijt-Evers, L. F., Dieën, J. (2003), Sitting comfort and discomfort and the relationships with objective measures, *Ergonomics*, **46**(10), 985-997.
- Maradei, F., Quintana, L., and Castellanos, J. (2017), Influence of seat tilt motion on discomfort perception during a simulated driving activity, *Work*, **56**(1), 99-110.
- Michida, N., Okiyama, H., Nishikawa, K., and Nouzawa, T. (2001), A Study of Drivers' Fatigue Mechanisms During Long Hour Driving, *SAE Transactions*, **110**, 284-292.
- Nacpil, E. J. C., Zheng, R., Kaizuka, T., and Nakano, K. (2019), A surface electromyography controlled steering assistance interface, *Journal of Intelligent and Connected Vehicles*, **2**(1), 1-13.
- Oberg, T., Sandsjö, L., and Kadefors, R. (1994), Subjective and objective evaluation of shoulder muscle fatigue, *Ergonomics*, **37**(8), 1323-1333.
- Varela, M., Gyi, D., Mansfield, N., Picton, R., Hirao, A., and Furuya, T. (2019), Engineering movement into automotive seating: Does the driver feel more comfortable and refreshed?, *Applied Ergonomics*, **74**, 214-220.
- Snijders, C. J., Ribbers, M. T., de Bakker, H. V., Stoeckart, R., and Stam, H. J. (1998), EMG recordings of abdominal and back muscles in various standing postures: Validation of a biomechanical model on sacroiliac joint stability, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, **8**(4), 205-214.
- Trepman, E., Gellman, R. E., Solomon, R. U. T. H., Ramesh Murthy, K., Micheli, L. J., and De-Luca, C. J. (1994), Electromyographic analysis of standing posture and demi-pile in ballet and modern dancers, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **26**, 771-771.
- Wan, J. J., Qin, Z., Wang, P. Y., Sun, Y., and Liu, X. (2017), Muscle fatigue: General understanding and treatment, *Exp Mol Med.*, **49**(10), 384.

저자소개

최우진 : 인제대학교 의학과를 2002년에 졸업 및 의사면허증 취득 후 일산백병원에서 인턴, 신경외과 레지던트 과정을 수료하고 2007년 신경외과 전문의 자격증을 취득 및 2013년부터 올바른 신경외과를 운영하고 있으며 척추측만증, 척추골반 불균형, 자세교정, 척추관련 퇴행성 질환 위주 진료를 하고 있다.

김성훈 : 선임기술자는 세종대학교 항공우주공학과를 졸업하였으며 현재 (주)현대트랜시스 시트기능설계팀에서 선임기술자로 근무하고 있고 관심분야는 자동차 및 시트 공압 시스템이다.

여성윤 : 전북대학교 항공우주공학과를 졸업하였으며 현재 (주)현대트랜시스 시트기능설계팀에서 엔지니어로 근무하고 있고 관심분야는 자동차 및 시트 공압 시스템이다.

강구창 : 울산대학교 기계공학과를 졸업하였으며 현재 (주)현대트랜시스 시트기능설계팀에서 엔지니어로 근무하고 있고 관심분야는 자동차 및 시트 공압 시스템이다.

손문준 : 인제대학교 의과대학을 졸업하고 고려대학교에서 박사학위를 취득하였다. 현재 인제의대 일산백병원 신경외과 정교수로 재직하면서 인제대 부설 뇌과학 방사선 융합수술연구소 소장으로 재직하고 있다. 전공 진료 및 연구분야는 전이성암, 뇌/척추 종양분야와, 방사선수술, 영상유도 미세현미경수술, 최소 침습적 신경외과 수술, 척추 생체역학적 연구이다.