

Development of Upper Limb Training and Assessment Systems for Stroke Patient Rehabilitation using a Driving Simulator

Hosang Oh¹, Hwa-Kyung Shin², Myoungouk Park¹, Han-Seoung Choe²,

Jeon-II Moon¹, Joonwoo Son^{1*}

¹DGIST(Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology), Daegu, 711-873

²Department of Physical Therapy, Collage of Medical Science, Catholic University of Daegu, Daegu, 712-702

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to develop the upper limb training and assessment systems for stroke patient rehabilitation using a driving simulator. **Background:** About 795,000 people experience a new or recurrent stroke in the United States each year, and lots of researchers are suggesting effective rehabilitation methods. In most of their studies, however, pre- and post-assessments tool using some clinical scales were used for the assessment tool of the recovery through upper limb rehabilitation. In some studies, physiological measure was considered as important factor for rehabilitation process from earlier studies. **Method:** The experiment for the assessment is conducted at a fixed-based driving simulator. The proposed rehabilitation assessment system consists of quantitative assessment using driving simulator, motion analysis system, EMG (Electromyograph), ECG (Electrocardiograph), EEG (Electroencephalograph), gaze tracker, body pressure sensor and myotonometer and subjective assessment using clinical scale such as CNT (Computerized Neurocognitive Function Test) and UFOV(Useful Field of View). In order to quantitatively compare the upper limb function during assessment, the driving performance measures (speed, steering activity, and etc.), upper limb function (muscle activity, kinematics and etc.) and physiological measures (EEG, ECG and etc.) were collected from each subsystem. **Results:** This driving simulator based rehabilitation system can be utilized as training method for stroke patient, because the training using the steering activity can affect skeletomuscular system positively. The proposed system can offer objective method for assessing a training effect by using driving performance, upper limb function and physiological measures. In addition, the system can measure the driving performance that can be used for evaluating the driving ability of stroke drivers. **Conclusion:** The proposed upper limb rehabilitation system can be used as a combined system for quantitative and subjective assessment through driving simulator.

Keywords: Stroke, Driving simulator, Upper limb rehabilitation

1. Introduction

뇌졸중은 뇌혈관에 생기는 대표적 질환으로 인구고령화 및 만성 질환의 증가로 인해 세계 사망원인의 2위를 차지하고 있다(WHO, 2007). 뇌졸중은 우리나라에서도 성인 3대 사망원인 가운데 하나이며, 전체 사망자 중 단일 질환 사망원인 2위로 인구 10만 명 당 52.0명으로 발생률이 증가하고 있는 추세

이다(통계청, 2011).

뇌졸중 환자에게 운전은 독립적 사회적 참여 및 활동을 위하여 중요한 역할을 수행하지만, 뇌졸중 환자는 운동, 시각, 인지, 실행기능 등에 문제가 있기 때문에 뇌졸중 이전에 운전이 가능했던 환자들이 발병 이후 안전한 운전을 하는데 제약이 있다(Mazer, Komer-Bitensky & Sofer, 1998).

최근 뇌졸중 환자의 재활에 대한 연구에서는 비디오 게임 기반의 훈련이 뇌졸중 환자의 상지 기능과 일상생활 능력에

긍정적인 영향을 미친다고 보고된 바 있는데 이것은 뇌졸중 환자가 재활 과정에서 비디오 게임을 통해 재활 동기(motivation)가 높아졌기 때문이다(Betker et al., 2007). 다른 해외 연구에서도 TheraDrive 등의 재활시스템을 구축하여 뇌졸중 환자를 위한 재활용 운전 시뮬레이터를 이용한 평가가 이루어지고 있으며(Johnson et al., 2004), 이외에도 비디오게임이 재활훈련 시 상지기능과 균형능력에서 향상된 결과를 나타낸 연구 결과가 발표되고 있다(Betker et al., 2007).

상지 재활에 관한 평가 방법에는 운동기능평가, 인지기능, 시지각 평가 등이 있으며, 이러한 평가는 대부분 병원에서 재활의사, 물리치료사, 작업치료사 등의 관찰에 의한 주관적인 방법을 사용하고 있다. 이러한 평가 방법은 특정 평가 점수에 의존한 경우가 대부분이기 때문에 구체적인 평가가 이루어지지 않고, 동일 장애를 가진 환자라도 평가하는 방법에 따라 상이함을 보이고 있다(Kazuto et al., 1992). 따라서 정량적이고 객관적인 평가 방법이 마련된다면 뇌졸중 환자의 치료 목표 수립에 도움이 될 것이다.

본 연구에서는 운전 시뮬레이터를 이용하여 뇌졸중 환자의 재활 동기를 유발하고, 이에 따른 훈련을 통해 환자의 운전 수행능력(driving performance)과 근전도(EMG), 심전도(ECG), 뇌전도(EEG), 체압 분포(body pressure), 동작분석 및 시선 추적을 이용한 정량적 평가 항목과 CNT(Computerized Neuro-psychological Test), UFOV(Useful Field of View Test) 검사를 이용한 주관적 평가 항목을 종합하여 재활에 대한 효과를 평가하는 시스템을 제안하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 상지 재활 훈련 및 평가시스템 개발에 필요한 피험자 선정 기준, 실험 환경 구축, 실험을 위한 절차, 재활 효과 여부를 판단하는 정량적 평가 항목 및 주관적 평가 항목 등에 대해 살펴보았다.

2. Method

2.1 Subject Screening

본 연구에 필요한 피험자의 선정 기준은 다음과



Figure 1. Driving Simulator

같다. 피험자 선정은 본 연구에 필요한 운전시뮬레이터의 사용이 가능한 환자를 대상으로 모집된다.

피험자는 유병기간이 6개월이 지난 만성 뇌졸중 환자, 한국형 간이정신상태 판별검사 MMSE (Mini-Mental State Examination) 24점 이상으로 인지기능의 장애가 없다고 판단되는 환자, MVPT 검사를 통해 편측 무시를 포함한 시지각 능력에 장애가 없다고 판별된 환자, 관절의 구축이나 관절가동범위의 제한과 같은 근골격계 질환이 없는 환자, 환측 팔의 수의적 움직임(voluntary movement)이 가능하고 손으로 잡기와 약간의 손가락 신전이 가능한 Brunnstrom 회복 단계가 4단계 이상인 환자를 대상으로 선정된다.

2.2 Design of Experiment Environment

뇌졸중 환자의 상지 재활 훈련 및 평가 시스템은 훈련을 위한 운전용 비디오게임 장치(예: rFactor), 평가를 위한 운전 시뮬레이터, 근전도, 근긴장도측정기, 뇌전도, 심전도, 체압 분포기, 동작분석기 및 시선 추적기로 구성된다. 재활의 평가를 위한 운전 시뮬레이터는 Mercedes-Benz사의 smart차량이 사용되며 (Figure 1), 시뮬레이터 소프트웨어는 System Technology사의 STISIM Drive™를 사용하였다. 도로와 차량 영상이 스크린 화면(2.5 m x 2.5 m)에 약 30 Hz 주기, 1024×768 해상도로 표시된다. 시스템의 동기화(synchronization)는 운전 시뮬레이터가 주는 시간과 거리 데이터를 RS-232 통신으로부터 UDP로 다른 장비에 브로드캐스팅(broadcasting)하며, 각 장비들로부터 받은 데이터를 시간에 맞추어 저장을 한다. 동기화를 통해 정량적으로 측정된 데이터는 신호 간의 상대적 영향력을 알아보는 데 용이하다.

2.3 Experiment Procedure

피험자의 운전특성 및 각 장비에서의 신호를 추출하기 위한 실험 절차는 운전자가 뇌졸중 환자임을 감안하여 시뮬레이터 적응 시간, 실험 시간, 휴식 시간을 적절히 배분하여 고려할 수 있다. 과도한 실험 시간의 배분은 뇌졸중 환자에게 신체적 측면 뿐만 아니라 정신적 측면에서 많은 부담을 줄 수 있기 때문에 실험의 목적성과 소요되는 시간을 조절하여 설계하는 것이 중요하다.

도로의 종류는 직선 구간이 대부분인 고속국도, 차선변경 및 좌우회전이 빈번한 도심국도, S자 커브 등이 많은 지방도로 구분하여 설계할 수 있다. 이러한 설계를 이용하여 도로의 특징에 따른 뇌졸중 환자의 운전 수행도 및 생체 신호 등 운전 수행 능력을 가늠해볼 수 있다.

주행 시나리오에 영향을 미치는 요소로는 주변 차량의 위치, 표지판 등과 같은 운전 수행 시 시각적 영향을 주는 요소, 제한 속도 규정, 신호등, 차선 유지, 차량 간격 유지 등과 같은 운전 제한 요소 및 이중 과업, 선행 차량이 갑자기 차선을 변경하는 것과 같은 위험요소 등이 있으며, 이러한 요소들을 적절히 시나리오에 배치하여 뇌졸중 환자가 운전 수행 시 여러 상황에 대한 대처 능력을 향상시키고 이에 따른 향상된 능력을 평가할 수 있다.

2.4 Quantitative Assessment Components

뇌졸중 환자의 운전 시뮬레이터 수행 시 운전기 능, 시각, 인지 평가 등을 고려하기 위한 정량적 평가 항목으로 차량 운전 수행과 관련된 운전수행도(driving performance), 차량 운전 수행 시 발생하는 환자의 근전도(Electromyography; EMG), 심전도(Electrocardiography; ECG), 뇌전 EH(Electroencephalograph; EEG), 체압 분포(body pressure), 동작 및 시선 신호 등을 사용하였다. 근전도를 이용하여 상지의 근활성도(muscle activation), 근피로도(muscle fatigue) 등을 평가할 수 있으며(Olney and Richards, 1996), 심전도는 심박수(Heart Rate; HR)나 심박변이도(Heart Rate Variability; HRV) 등을 평가할 수 있다(Mehler, Reimer and Coughlin, 2012). 뇌전도는 뇌파를 이용하여 운전자의 각성, 졸림, 피로도 등을 측정할 수 있다(Coutin-Churchman et al., 2003). 체압 분포 신호는 인체의 체압 분포를 고려하여 운전 자세와 운전 자세의 변화를 정량적으로 나타낼 수 있다(Kang, Yang and Cho, 2011). 동작 신호는 상지의 운동학적 변화를 관찰하여 관절의 ROM 등을 평가할 수 있으며(Jung et al., 2007), 시선 추적기는 운전자의 시선 정보를 검출하여 운전 시나리오에 따른 상황 별 시선 분포 등을 확인하는데 용이하다(Son, Park and Oh, 2012).

2.5 Subjective Assessment Components

뇌졸중 환자의 주관적 평가 항목은 CNT(Computerized Neuro-psychological Test), UFOV(Useful Field of View Test) 검사로 구성된다. CNT검사는 운전자의 작업기억이나 시공간 기억력, 실행기능 및 추론 능력 등을 평가할 수 있으며(Gu and Park, 2010), UFOV검사는 시각적 집중력을 3가지 측면(처리 속도, 집중력 분산, 선택적 집중)에서 분석하여 뇌졸중 환자의 시각 및 인지 기능을 평가할 수 있다(Wood et al, 2011).

3. Results

3.1 Quantitative Components Analysis

3.1.1 EMG

근전도 신호는 표면 근전도(surface electrode)로 한 근육을 구성하는 다수의 motor unit들의 활동전위들을 합한 결과이다. 근전도 신호는 진폭과 주파수를 이용하여 분석이 가능하다. 진폭을 이용한 근육 활성도는 적분근전도, 진폭확률분포함수(Amplitude Probability Distribution Function; APDF), 근육의 동시 수축정도(Cocontraction Index; CI) 등을 이용하여 평가가 가능하며 근피로도는 근육의 주파수 분석을 통해 평가가 가능하다(Hagberg, 1979; Gail et al., 1997). APDF는 일정시간 동안 일을 하는 근육의 전기적 신호인 진폭(amplitude)을 근육의 강도(Load)의 수준으로 나타내기 위해 근전도 신호에 대한 RMS(Root mean square)값의 진폭확률(amplitude probability)을 기준 자발적 수축 백분율(%Reference Voluntary Contraction; %RVC)의 크기 순서대로 회귀시켜 누적된 진폭확률로 나타낼 수 있다. 즉, 뇌졸중 환자가 운전 시 근육의 다양한 강도 수준에서 근육의 분포 정도를 분석함으로써 해당되는 근육의 활성도를 평가할 수 있다(Hagberg, 1979).

CI는 근육의 동시수축을 나타낼 수 있는 지표가 된다. 근육의 동원형태를 이해하기 위한 연구가 다양한 작업 상황에서 수행되어 왔으나, 대부분 주동근(agonist)의 동원 형태에 집중되어 왔다. 하지만 주동근의 작용과 다른 방향으로 모멘트를 발생시키는 길항근(antagonist)에 대한 연구도 다양하게 진행되었기 때문에 주동근과 길항근의 동시수축(cocontraction) 활동이 중요한 분석 기법으로 제기되고 있다. 이러한 동시수축 활동은 동작의 안정성, 기민성, 정확성을 나타내기 때문에 뇌졸중 환자에게 근육의 동시수축에 관한 평가는 중요한 지표로 활용될 수 있다(Gail et al., 1997). 근피로도는 주파수 측면에서 정상상태보다 피로도가 높을 시 저주파성이 증가하게 되는 점을 이용하여 분석할 수 있다.

근전도를 통한 여러 가지 분석 방법을 통해 운전 수행 시에 여러 상황에 따른 뇌졸중 환자의 운동 기능(근육의 활성화 정도 및 피로도)을 판단하는 척도가 될 수 있다.

3.1.2 Motion

뇌졸중 환자의 경우 상지 운동 시 환측 길항근의 과도한 작용과 주위 근육들의 협응적 반응으로 인해 비정상적인 동작을 수행한다. 상지 움직임의 상

호작용에서 여러 동작 수행시 과도한 체간의 움직임과 함께 중간범위에서의 분리된 팔꿈치 움직임의 부족으로 인하여 수행에 어려움이 있다(Roby-Brami et al., 2003). 또한 뇌졸중 환자는 신체 동요(자세 불안정)와 상지 기능의 다양한 수행형태에 따라 자세 전략의 제한된 적응성을 보여준다(Slijper et al., 2002). 이는 정형화되고 획일화된 움직임 패턴의 사용과 함께 다양한 과제 수행에 따라 적절한 자세 조절을 수용할 수 있는 능력이 현저히 떨어지는 것이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 뇌졸중 환자가 가지는 동작의 불안정성을 운전 시뮬레이터 훈련을 통해 향상시키고 이를 관절가동범위(Range of Motion; ROM)등 다양한 운동 평가를 통해 확인할 수 있다.

3.1.3 Driving Performance

운전 수행도(driving performance)는 크게 세 가지 형태로 구분된다. 첫 번째는 차량의 횡측방향(lateral)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 속도(speed), 가속도(acceleration)와 각각의 표준편차(standard deviation)가 있다. 두 번째는 차량의 종측방향(longitudinal)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 SDLP(Standard Deviation Lateral Position), SRR(Steering wheel Reversal Rate)이 있다(Son and Park, 2011). 세 번째는 앞 차량(front vehicle)에 관련된 driving performance이며, 대표적으로 TH(Time Headway)와 TTC(Time To Collision)가 있다. TH는 앞차와의 거리를 시간으로 환산한 값을 의미하며, 앞차와의 거리 및 절대 속도를 이용하여 계산한다. TTC는 현재 차량 상태를 유지할 때 앞차와 충돌 시간을 의미하며, 앞차와의 거리와 상대 속도를 이용하여 계산한다. 뇌졸중 환자의 운전 수행도 평가는 재활 훈련에 따른 운전 능력의 향상을 확인할 수 있는 직관적인 지표로 사용될 수 있다.

3.1.4 EEG

뇌파는 중추신경계로부터 측정할 수 있는 대표적인 신호이다. 뇌파신호는 자극이 제시될 때 발생하는 머리부위의 신경전도를 전극을 통하여 측정하는 것으로, 뇌전도를 통해 측정된 뇌파에 따른 파워스펙트럼을 분석하기 위하여 FFT(Fast Fourier Transformation)를 이용하여 변환한 후 주파수 별로 분류한다. 뇌파는 주파수 범위에 따라 세타(θ)파(3~7Hz), 알파(α)파(8~12Hz), 베타(β)파(13~30Hz)로 분류할 수 있으며(Coutin-Churchman et al., 2003), 분류된 주파수는 정신적 부하(Mental workload), 집중도(Engagement), 졸림(Sleepiness), 지루함(Boredom), 흥분(Excited) 등으로 뇌졸중 환자의 상태를 평가할 수 있다(Kim, Park and Yoon, 2011).

3.1.5 ECG

뇌졸중 환자의 정신적 부하 수준은 심전도 측정치를 이용해 분석할 수 있다. 이러한 정신적 부하 수준은 심전도 신호를 통해 계산되는 심박수(HR)와 심박 주기의 변동(HRV)을 분석하여 파악될 수 있다. HR은 정신적 부하 수준이 높아질수록 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며(Mehler et al., 2009), 반면, HRV는 정신적 부하 수준이 높아지면 유의하게 감소하는 것으로 나타났다(Bernston et al., 1997). HR과 HRV는 모두 심전도 신호의 RR 간격(R-R interval)을 이용하며 이것은 뇌졸중 환자가 운전 수행 시 인체의 정신적 부하 수준을 알 수 있는 중요한 변수가 된다.

3.1.6 Body Pressure

운전석의 시트는 신체무게를 적당히 배분시켜주는 중요한 구성요소이며, 신체무게가 주로 좌골결절에 의해 지지된다. 특히, 높은 체압이 좌골결절의 25cm에 집중되어 있으며, 신체무게의 18%가 좌골결절에 포함된다. 이러한 부하는 동맥을 통과하는 혈액순환을 방해하기에 충분하며, 결과적으로 통증, 마비 등을 유발한다. 운전과 관련된 체압 분포의 기존 연구를 살펴보면, 동적 체압 분포를 이용하여 운전자세와 운전자세의 변화를 분석하고 평가한 연구 결과가 있다(Na, Lim and Jung, 2003). 뇌졸중 환자에게는 운전 시 편마비로 인한 자세 불안정이 운전 수행에 영향을 주는 요소로 작용할 수 있기 때문에 본 연구에서 평가할 수 있는 척도로 사용할 수 있다.

3.1.7 Gaze

기존의 연구를 살펴보면, 정상인 운전자의 경우 운전자의 안전을 저해할 수 있는 이중과업(dual task) 등이 인지부하로 인한 시선 집중화(visual tunneling)를 유발할 수 있으며, 이로 인해 운전 수행 능력이 저하될 수 있다(Son, Park and Oh, 2012). 특히 신체적, 인지적 능력이 쇠퇴되어 있는 뇌졸중 환자의 경우 이러한 인지부하로 인하여 위급 상황의 대처 능력이나 운전 수행 능력이 저하될 수 있기 때문에 시야 분포(gaze distribution)등은 중요한 평가 요소로 사용될 수 있다.

3.1.8 Muscle Tension

근긴장도검사기(Myotonometer)는 근육의 안정시나 근수축시에 긴장도(tension)나 경도(stiffness)를 평가하기 위한 장비로, 비침습적(noninvasive)인 방법을 이용하여 전기적으로 조직의 탄력성을 측정하는 장

비이다. 근수축시 측정된 데이터는 간접적으로 근육의 근력을 의미하는데 이것은 근육의 정도가 근수축에 의한 힘과 선형적인 비례관계이기 때문이다. 자극을 받은 근섬유는 정도가 증가하게 되며, 정도의 증가는 동시에 근긴장도를 함께 상승시킨다 (Wolledge et al., 1985). 근긴장도검사기를 이용한 연구들로는 정상인의 근긴장도와 근력의 비교, 상위신경원 손상환자의 근긴장도 등 다양한 피실험자를 대상으로 실시한 사례들이 이전 연구들을 통해 보고되고 있다(Kim, 2007).

3.2 Subjective Components Analysis

3.2.1 CNT

CNT검사는 주의력 검사(attention test), 기억력 검사(memory test), 고위인지기능검사(higher cognitive function test)로 구성된다. CNT의 성인 장애인에 대한 연구는 외상성 두뇌손상환자, 외상후 스트레스 장애 알츠하이머환자, 경도인지장애, 알콜중독환자 등에 대한 연구가 있다(Gu and Park, 2010). 뇌졸중 환자에게 운전 시뮬레이터를 이용한 재활 훈련을 통해 뇌졸중 환자의 작업 기억, 시공간 기억력, 실행 기능 및 추론 능력을 평가할 수 있다.

3.2.2 Visual (UFOV)

UFOV검사는 크게 3가지 실험으로 구분된다. 첫 번째는 뇌졸중 환자의 처리 속도 실험(processing speed), 두 번째는 집중력 분산 실험(divided attention), 세 번째는 실험 및 선택적 집중 실험(selective attention)이다(Wood et al, 2011).

UFOV검사는 뇌졸중 환자가 가질 수 있는 교통사고의 위험성을 평가할 수 있는 중요한 평가 도구이다. 뇌졸중 환자는 감소된 UFOV 능력을 가지고 있기 때문에 운전 시뮬레이터를 사용한 재활 훈련이 운전 수행의 가능 여부를 확인할 수 있다.

4. Discussion & Conclusion

본 연구에서는 뇌졸중 환자를 대상으로 상지 재활 훈련 및 평가를 위한 시스템을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 시스템은 자동차 운전용 비디오 게임을 기반으로 훈련을 실시하고, 운전 시뮬레이터를 사용하여 훈련에 따른 재활 정도를 정량적 평가와 주관적 평가를 통해 고려할 수 있는 종합적 시스템이다. 따라서 시스템 개발에 필요한 피험자 선정 기준, 실

험 환경 구축, 실험 절차, 정량적 평가 항목 및 주관적 평가 항목 등에 대해 고려해야 할 필요성이 있다.

제안한 시스템은 운전용 비디오 게임을 사용, 환자의 흥미를 유발할 수 있는 시스템이기 때문에 훈련에 따른 더 나은 재활 효과를 기대할 수 있다. 이것은 가상 현실 및 게임 시스템이 환자의 상지 기능 등 능력을 향상시킬 수 있다는 이전 연구 결과가 밝혀진 바 있기 때문에 본 연구에서 제안한 시스템이 사용될 수 있다. 또한 본 연구에서는 훈련에 따른 운전 수행 시 상지운동기능, 인지기능, 시지각기능 등의 평가를 정량적 방법과 주관적 방법을 종합적으로 사용하여 제안하였으며, 이는 환자의 운전 수행 가능여부의 평가뿐만 아니라 운전시 환자의 상태나 상황을 종합적으로 판단하여 보다 정확하게 평가할 수 있는 방법이 될 것이다.

하지만 본 연구에서는 평가를 위한 실험이 이루어지지 않은 한계점을 가지고 있고 뇌졸중 환자는 정상인과 여러 가지 측면에서 다르기 때문에 향후 연구에서는 제안한 시스템을 토대로 뇌졸중 환자에 적합한 환경 구축, 실험 절차 및 평가 항목 등을 적절히 이용하여 실험을 실시해야 할 것이다.

Acknowledgements

This research was supported by Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology (DGIST) Basic Research Program of the Ministry of Education, Science, and Technology (MEST) (Project No. 12-RS-01).

References

- Berntson, G G, Bigger Jr, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G, Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H., and Van Der Molen., M. W., "Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats", *Psychophysiology*, 34, 623-648, 1997.
- Betker, A.L., Desai, A., Nett, C., Kapadia, N. and Szturm, T., "Game-based exercises for dynamic short sitting balance rehabilitation of people with chronic spinal cord and traumatic brain injuries", *Physical Therapy*, 87(10), 1389-1398, 2007.
- Coutin-Churchman, P., Anez, Y., Uzcategui, M., Alvarez, L., Vergara, F., Mendez, L. and Fleitas, R., "Quantitative Spectral Analysis of EEG in Psychiatry Revisited: Drawing Signs out of Numbers in a Clinical Setting", *Clinical Neurophysiology*, 114, 2294-2306, 2003.
- Gail, F., James, D., Kerry D. and Oded B.O., "Cocontraction in three age

- groups of children during treadmill locomotion”, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 7(3), 179-186, 1997.
- Gu, S.S. and Park, J.K., “Discriminant Function Analysis between Children with Cerebral Palsy and Average Children by Computerized Neurocognitive Function Test”, *The Journal of Special Education : Theory and Practice*, 11(4), 143-161, 2010.
- Hagberg, M., “The amplitude distribution of surface EMG in static and intermittent static muscular performance”, *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 40(4), 265-272, 1979.
- Johnson, M.J., Trickey, M., Brauer, E. and Feng, X., “TheraDrive: A new stroke therapy for home-based, computer-assisted motivating rehabilitation”, *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Francisco, CA, USA, 2004.
- Jung, M.Y., Jun, H.S., Park, H.S., Choi, M.S., Kim, J.R. and Yoo, E.Y., “The effect of constraint-induced movement therapy on persons with stroke evaluated by using 3D motion analysis”, *The Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 15(1), 2007.
- Kang, Y.S., Yang S.H. and Cho, M.S., “Analysis and Evaluation of Pressure Distribution on Frontal Driver Seat Cushion in 1000cc Minicar”, *Journal of the Korean Institute of Plant Engineering*, 16(2), 79-83, 2011.
- Kazuto, A., Eiichi, S., Kozo, H., Ken, K., Kazuhisa, D., Eiji, M., Akio, K. and Naoichi, C., “Comprehensive Assessment of Physical Function in Stroke Patients by Fugl-Meyer Physical Performance Scale”, *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, 29(2), 131-136, 1992.
- Kim, J.Y., Park, J.S. and Yoon, S.Y., “Assessment of Driver's Emotional Stability by Using Bio-signals”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 203-211, 2011.
- Mazer, B.L., Komer-Bitensky, N.A. and Barbara, L., “Predicting ability to drive after stroke”, *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 79, 773-750, 1998.
- Mehler, B., Reimer, B. and Coughlin, J.F., “Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: An on-road study across three age groups”, *Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 54(3), 396-412, 2012.
- Mehler, B., Reimer, B., Coughlin, J. F. and Dusek, J. A., “The impact of incremental increases in cognitive workload on physiological arousal and performance in young adult drivers”, *In Proceedings of Transportation Research Board 88th Annual Meeting*, Washington DC, 2009.
- Na, S.H., Lim, S.H. and Jung, M.K., “Quantitative Evaluation of Driver's Postural change and lumbar support using dynamic body pressure distribution”, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 22(3), 57-73, 2003.
- Olney, S.J. and Richards, C., “Hemiparetic gait following stroke. Part I: Characteristics”, *Gait & Posture*, 4(2), 136-148, 1996.
- Roby-Brami, A., Feydy, A., Combeaud, M., Biryukova, E. V., Bussel, B. and Levin, M. F., “Motor compensation and recovery for reaching in stroke patients”, *Acta Neurologica Scandinavica*, 107(5), 369-381, 2003.
- Slijper, H., Latash, M., Rao, N. and Aruin, A., “Task-specific modulation of anticipatory postural adjustments in individuals with hemiparesis” *Clinical Neurophysiology*, 113(5), 642-655, 2002.
- Son, J., Park, M. and Oh, H.S., "Detecting Cognitive Workload Using Driving Performance and Eye Movement in a Driving Simulator", *AVEC12-The 11th International Symposium on Advanced Vehicle Control*, Seoul, Korea, 2012.
- Son, J. and Park. S., "Cognitive workload estimation through lateral driving performance", 16th Asia Pacific Automotive Engineering Conference, 2011.
- Wood, J.M., Chaparro, A., Lacherez, P. and Hickson, L., “Useful field of view predicts driving in the presence of distracters”, *Optometry and Vision Science*, 89(4), 373-381, 2011.
- Wolledge, R.C., Curtin, N.A. and Homsher, E., “Energetic aspects of muscle contraction”, *Monogr Physiol Soc*, 41, 1985.

Author listings

Hosang Oh: ohs2384@dgist.ac.kr

Highest degree: MS, Biomedical Engineering, Konkuk University

Position title: Researcher, HumanLAB, DGIST

Areas of interest: Designing for older drivers, Driver's workload assessment,

Hwa Kyung Shin: hkshin1@cu.ac.kr

Highest degree: PhD, Rehabilitation, Yonsei University

Position title: Professor, Physical Therapy, Catholic University of Daegu

Areas of interest: Rehabilitation Welfare, Physical Therapy, Physical Agents, EMG & Motion Analysis

Myoungouk Park: violet1211@dgist.ac.kr

Highest degree: MA, Psychology, Kyungpook National University (Candidate)

Position title: Researcher, HumanLAB, DGIST

Areas of interest: driver's cognitive workload assessment methodology, eco-drive assistant technologies

Jeon-II Moon : jimoon@dgist.ac.kr

Highest degree: PhD, Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University

Position title: Director, Robotics Research Division, DGIST

Areas of interest: Embedded System and Robotics application, Medical Robotics

Han Seong Choe: khsc0224@gmail.com

Highest degree: BH, Sc. Physical therapy, Catholic University of Daegu

Position title: Researcher, Physical therapy, Catholic University of Daegu

Areas of interest: Motion Analysis, Physical Therapy

Joonwoo Son: json@dgist.ac.kr

Highest degree: PhD, Mechanical Engineering, Pusan National University

Position title: Project Leader, HumanLAB, DGIST

Areas of interest: Designing for older drivers, Driver's workload assessment (On-Road & Simulator), Safety assessment for Human-Vehicle Interface