

외상성 뇌손상 운전자의 운전능력과 측정방법에 관한 체계적 고찰

정남해*, 장문영**

*인제대학교 대학원 재활과학과

**인제대학교 의생명공학대학 작업치료학과

국문초록

목적: 본 연구는 체계적 고찰을 통해 외상성 뇌손상 운전자의 운전능력 측정방법을 분석하고, 운전능력을 제시하고자 하였다.

연구방법: 2013년 4월~5월까지 MEDLINE, Ovid, IOS press, OT seeker, Cochrane library, Science Direct 데이터베이스에서 'automobile driving (Mesh Term), drive, driver'와 'brain injury (Mesh Term), head injury'의 키워드로 검색하여, 최종적으로 10개의 연구를 선정하였다. 포함연구의 근거수준을 살펴보면 II는 8개, III은 1개, V는 1개이었다. Down & Black 기준에 따른 방법론적 질을 살펴보면, 완벽과 우수 연구는 0개, 보통은 3개, 나쁨은 7개이었다. 혼합 연구를 Critical Appraisal Skills Program 질적 평가에 따라 분석한 결과, 우수한 수준이었다.

결과: 운전능력측정 요인을 분석한 결과, 운전시물레이터는 8개의 요소, 자가측정보고는 7개의 요소, 실제로도로평가는 6개의 요소로 분석되었다. 요소별 빈도는 보고된 교통사고(13.3%)가 가장 많았고, 다음으로 운전능력에 관한 자기지각(10.0%)이었다. TBI 운전자의 운전능력을 분석한 결과, 보고되거나 보고되지 않은 교통사고 빈도가 일반 성인이나 CVA 운전자보다 높았고, 위험에 대한 속도는 정형외과 질환을 가진 운전자나 일반 성인보다 느렸다. 또한 TBI 비운전자 및 일반 성인보다 스스로의 운전능력에 대해 높이 평가하였다.

결론: 본 연구는 작업치료사가 TBI 환자의 운전능력 평가시 다양한 요소들을 활용할 수 있도록 제시하였고, TBI 환자의 운전 재개에 있어 적극적이고 지속적인 훈련 및 전략 관리가 필요함을 제안하였다.

주제어: 외상성 뇌손상, 운전, 운전재활, 체계적 고찰

I. 서 론

외상성 뇌손상(Traumatic Brain Injury; TBI)은 인지적, 신체적, 정서적 손상을 일으키며 이로 인하여 독립적인 일상생활 및 사회적인 활동이 제한된다(Bagiell et al., 2010). TBI는 상·하지에 마비나 강직이 나타날 수

있고, 운동 계획과 협응 능력의 손상이 있다. 인지적으로 집중력, 기억력과 사고의 유연성이 감소하고, 정신적 피로가 쉽게 나타난다(De Guise, Leblanc, Feyz, & Thomas, 2005). 또한 복합적으로 우울증과 공황 장애와 같은 심리적 질환을 가질 수 있다(Schwarzbold et al., 2008). 이러한 증상은 안전한 운전엔 영향을 미칠

수 있다. 운전은 적절한 운동 협응, 시지각, 인지, 감정조절, 자기 인식이 요구되는 복잡한 과제로, 독립적인 이동과 사회적 상호작용 및 지역사회로의 통합을 강화시켜주는 중요한 활동이다(Lane & Benoi, 2011). 운전은 일, 쇼핑, 건강관리 및 사회적 참여를 가능하도록 하며, 삶의 만족도를 높여준다(Johnston, Goverover, & Dijkers, 2005).

TBI 환자의 경우, 증상뿐만 아니라 자원의 부족이나 사회적 제약이 운전 재개를 방해하기도 한다(Rapport, Hanks, & Bryer, 2006). 대부분의 경우 TBI 환자는 가족이나 보건의료 전문가의 조언에 따라 운전 여부를 판단한다(Schanke & Sundet, 2000). TBI 환자의 운전능력에 대한 보호자의 지각은 실제 운전능력과 상관성이 부족하고(Coleman et al., 2002), 보건의료전문가들은 TBI 환자의 운전을 돕기 위한 가이드라인에 대한 인식이 부족하여, 운전에 관해 조언을 하지 않는다(Goodyear & Roseveare, 2003). 이처럼 가족이나 보건의료 전문가가는 운전의 잠재적 위험이나 적합성에 대한 정확한 인식 없이 TBI 환자의 운전 재개를 방해하는 원인이 되기도 한다.

TBI 이후에 운전을 다시 시작하는 것은 지역사회 통합, 직업 복귀, 삶의 만족에 긍정적인 영향을 준다(Kreutzer et al., 2003; Novack et al., 2010; Rapport, Bryer, & Hanks, 2008). Rapport 등(2008)은 TBI 운전자가 TBI 비운전자보다 지역사회 통합 수준이 높다고 보고하였고, TBI 비운전자들에게 다양한 대체 교통수단과 적절한 사회적 지원을 제공하더라도, 운전 중단을 완전히 보상할 수는 없다고 하였다. TBI 환자가 현대사회에서 기본적 활동인 운전 역할을 상실하면, 타인과 사회에 더욱 의존하게 되어 결과적으로 사회적 지지에 대한 수요가 높아질 뿐만 아니라(Retchin & Anapolle, 1993), 개인의 사회적 고립, 활동 감소 및 우울증까지 야기할 수 있다(Finestone & Gershkoff, 2011). TBI 환자의 삶의 질, 작업적 균형, 사회적 통합의 향상을 위해 보건의료 전문가 및 가족은 TBI 환자의 운전능력에 대한 정확한 인식이 필요하다.

최근 TBI 환자의 운전 재활 연구는 운전 적합성을 판별하는 평가도구 선별(Aslaksen, Orbo, Elvestad, Schafer, & Anke, 2013; Hargrave, Nupp, & Erickson,

2012)이나 운전 능력과 관련된 예측 인자 분석(Bivona et al., 2012; Ortoleva, Brugger, Van der Linden, & Walder, 2012)이 주를 이룬다. 이에 본 연구에서는 TBI 운전자의 실제 운전능력을 알아보고자 TBI 운전자를 대상으로 운전능력을 평가한 연구들을 체계적 고찰함으로써, TBI 환자를 위한 운전재활의 기초 자료로 제시하고자 한다. 세부적 목적은 다음과 같다. 첫째, TBI 운전자의 운전능력의 측정 요소를 분석하고자 한다. 둘째, TBI 운전자의 운전능력을 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 자료 수집 기준 및 과정

1) 포함기준

- (1) 현재 운전하고 있는 TBI 운전자를 대상으로 한 연구
- (2) 운전능력을 평가한 연구
- (3) 영어로 된 논문
- (4) 원문보기가 가능한 연구

2) 배제기준

- (1) 포스터
- (2) 운전능력에 대한 중재가 실시된 연구
- (3) 고찰 및 메타분석 연구
- (4) 운전 훈련과 관련된 장비개발에 관한 연구
- (5) 법과 제도에 관한 연구
- (6) 평가도구의 타당도와 신뢰도에 관한 연구

3) 검색 과정 및 선정

2013년 4월~5월에 걸쳐 MEDLINE, Ovid, IOS press, OT seeker, Cochrane library, Science Direct 데이터베이스에서 'automobile driving (Mesh Term), drive, driver' and 'brain injury (Mesh Term), head injury' 키워드로 검색하였다. 1990년 이후부터 2013년 4월까지 데이터베이스에 실린 연구를 대상으로 하였다. 검색된 연구는 제 1 저자와 제 2 저자가 각각 제목 검토 후, 초록을 확인하였고, 필요에 따라 원문확인을 하였다.

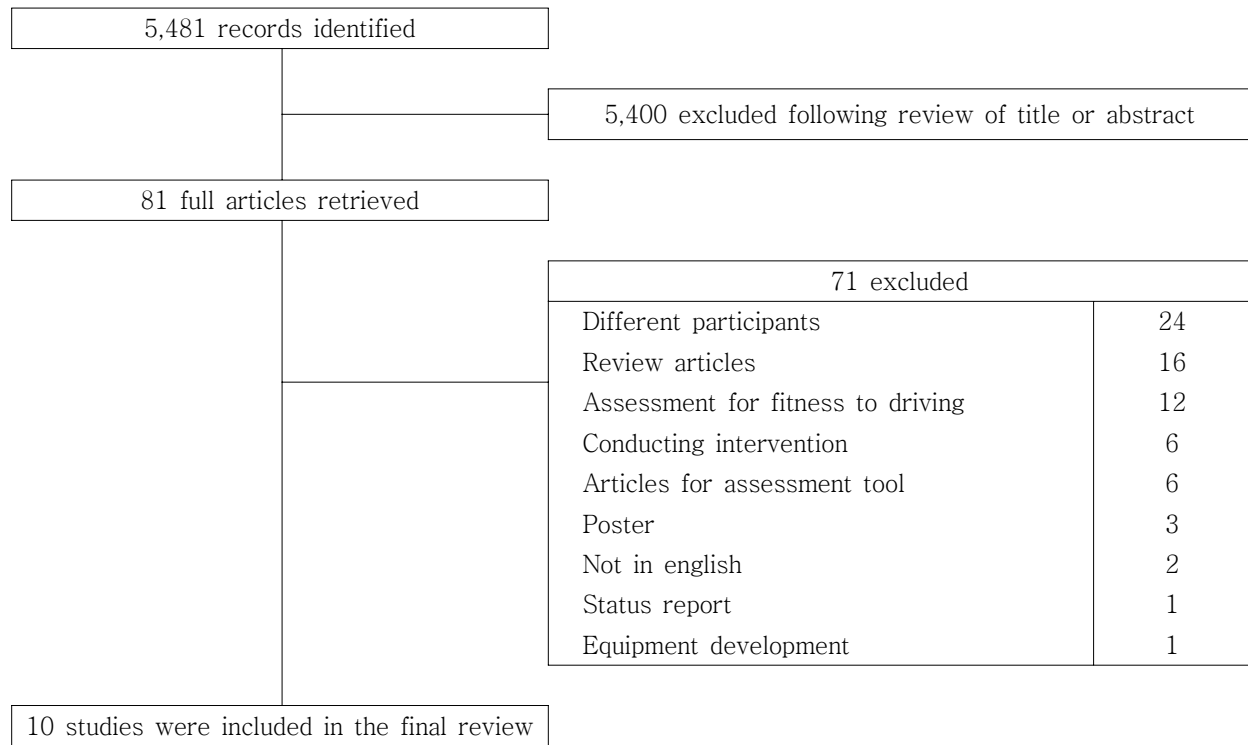


Figure 1. Search Process

Table 1. Hierarchy of Levels of Evidence for Evidence-based Practice

Evidence level	Definition	Frequency (%)
I	systematic review, meta-analysis, randomized controlled trials	0 (0.0)
II	non-randomized two group studies	8 (80.0)
III	non-randomized one group studies	1 (10.0)
IV	single experimental studies, survey studies	0 (0.0)
V	case studies, descriptive review, qualitative studies	1 (10.0)
Total		10(100.0)

이견이 있을 경우 토의를 거쳐 결정하였다. 포함 및 배제 기준을 충족시키는 연구는 총 10개가 선정되었다 (Figure 1).

2. 분석 방법

1) 근거의 질적 수준

포함 연구의 근거 질적 수준을 평가하기 위해 Arbesman, Scheer와 Lieberman(2008)이 개발한 근거를 기반으로 한 연구의 수준을 사용하였다(Table 1).

2) 방법론적 수준

포함연구의 다양한 연구 설계를 고려하여, 양적 연구의 방법론적 수준 측정에는 Downs와 Black(1998)이 고안하여 Strong, Jutai, Elizabeth와 Evans(2008)가 수정한 Downs와 Black 기준(Down & Black criteria; D&B)을 사용하였다. D&B는 무작위 임상설계나 유사실험 연구뿐만 아니라 모든 양적 연구의 방법론적 수준을 점수화하도록 고안되었다. 총 27개 항목으로 보고(reporting), 외적 타당도, 내적 타당도, 파워로 구성된다. 제시된 항목에 해당되는 경우 1점, 해당되지 않는 경

Table 2. Evidence Level and Methodological Quality of Included Studies

	Author (year)	Evidence level	Methodological quality
1	Bivona et al. (2012)	II	16 ^a
2	Bottari, Lamothe, Gosselin, Gelinas, & Ptito (2012)	V	10 ^a (8) ^b
3	Neyens & Boyle (2012)	II	14 ^a
4	Classen et al. (2011)	II	17 ^a
5	Preece, Horswill, & Geffen (2011)	II	12 ^a
6	Preece, Horswill, & Geffen (2010)	II	17 ^a
7	Rapport et al. (2008)	II	12 ^a
8	Schanke, Rike, Molmen, & Osten (2008)	II	13 ^a
9	Rapport et al. (2006)	III	12 ^a
10	Schultheis, Matheis, Nead, & DeLuca (2002)	II	11 ^a

^a Down & Black's criteria^b Critical Appraisal Skills Program (CASP) for the qualitative research

우 0점으로 체크한다. 총점이 26점 이상인 경우는 완벽(excellent), 20~25점인 경우는 우수(good), 15~19점인 경우는 보통(fair), 0~14점인 경우는 나쁨(poor)으로 볼 수 있다(Strong et al., 2008). 혼합 연구 내 질적 연구 부분의 방법론적 수준을 측정하기 위해서 Critical Appraisal Skills Program (CASP)의 질적 평가를 사용하였다. CASP질적 평가는 10개의 대질문으로 구성되고, 각각 설계, 모집, 방법, 반영성, 분석, 결과를 평가하는 1~7개의 소질문으로 구성된다. 소질문을 모두 충족시키는 경우, 대질문에 1점을 부여한다. 총점이 9~10점인 경우는 완벽, 6~8점인 경우는 우수, 3~5점인 경우는 보통, 1~2점인 경우는 나쁨으로 볼 수 있다(National Health Service, 2001).

3) 근거의 질적 수준 및 방법론적 질

양적 연구의 근거 수준을 살펴보면, 무작위 임상실험 설계는 없고, 수준 II는 8개, 수준 III은 1개, 수준 V는 1개이었다. 양적연구의 방법론적 질을 D&B 기준에 따라 분석한 결과, 완벽과 우수에 해당하는 연구는 없었고, 보통은 3개, 나쁨은 7개이었다. 혼합 연구를 CASP 질적 평가에 따라 분석한 결과 우수함이었다(Table 2).

4) 결과측정분류

포함연구에서 운전능력을 측정하기 위해 분석한 요소

를 추출하여 Schaap(2012)가 제시한 연구도구에 따라 분류하였다. 연구도구는 크게 시뮬레이터, 실제 도로, 자가측정보고로 구성되었다.

III. 연구 결과

1. TBI 운전자의 운전능력 측정요소 분석

운전능력에 대한 측정 요소를 분석한 결과, 운전시뮬레이터를 사용하여 평가한 요소가 8개, 실제로도로평가를 사용하여 평가한 요소가 6개, 자가측정보고를 통해 평가한 요소가 7개이었다. 빈도에 따른 백분율을 보면, 실제로도로가 36.7%로 가장 높고, 자가측정보고 33.3%, 운전시뮬레이터 30.0%순이었다. 요소의 빈도를 살펴보면, 교통사고가 총 4회(13.3%)로 가장 많이 사용되었고, 다음이 운전능력에 대한 자각(self-awareness)으로 총 3회(10.0%)사용되었다. 위험에 대한 반응 속도, 보고되지 않은 교통사고, 주행거리, 운전 중 겪는 어려움이 각각 2회씩(6.7%) 사용되었고, 그 외의 변인은 각각 1회씩(3.3%)이었다(Table 3).

2. TBI 운전자의 운전능력

TBI 운전자의 운전능력에 관한 결과는 빈도가 높은

Table 3. Analysis on Driving Ability Measurement Variables and Frequency

Category (%)	Variables	Frequency (%)
Driving simulator (30.0)	Response speed for danger	2 (6.7)
	Overspeed	1 (3.3)
	Error of the signal	1 (3.3)
	Speed-limit error	1 (3.3)
	Adaptation for the stimulation	1 (3.3)
	Error of distance maintenance	1 (3.3)
	Error of line maintenance	1 (3.3)
	Visual scanning error	1 (3.3)
Real road (36.7)	Reported traffic accident	4 (13.3)
	Unreported traffic accident	2 (6.7)
	Distance traveled	2 (6.7)
	Accident caused by my self	1 (3.3)
	Number of violation	1 (3.3)
	Penalty points	1 (3.3)
Self-report (33.3)	Awareness of driving ability	3 (10.0)
	Difficulties in driving	2 (6.7)
	Report on driving skill by relatives	1 (3.3)
	Dangerous situation	1 (3.3)
	Responsibility for accident	1 (3.3)
	Driving pattern	1 (3.3)
	Driving strategy	1 (3.3)
Total	21 variables	30(100.0)

Table 4. Driving Ability for Driver With TBI

Measurement variables	Number of study	Results	Comparison
Reported traffic accident	1	0	· Pre-traumatic driver (TBI)
	3	·	
	8	+	· Normal adults
	10	0	· Normal adults
Awareness of driving ability	8	0	· Driver with CVA
	9	+	· non-drivers with TBI
	10	+	· Normal adults
Response speed for the dangerous situation	5	–	· Normal adults
	6	–	· Drivers with orthopedics disease
Distance traveled	1	–	· Pre-traumatic drivers (TBI)
	8	0	· Post-traumatic drivers before the accident
Unreported traffic accident	8	+	· Drivers with CVA
	10	0	· Normal adults
Difficulties in driving	2	·	
	10	·	· Normal adults

(0): not a significant difference, (+): TBI drivers showed the higher, (–): TBI drivers showed the lower, (·): not a statistical evidence

운전능력에 관한 측정 요소에 따라 제시하였다(Table 4). 보고된 교통사고의 빈도에 관한 연구는 총 4개로 통계학적인 근거가 제시되지 않은 1개의 연구를 제외하면, TBI운전자의 보고된 교통사고 빈도는 사고 전 운전자(TBI)와 유의한 차이가 없고, 일반 성인과 유의한 차이가 없거나 더 높은 것으로 나타났다. 운전 능력에 대한 자각을 보고한 연구는 총 3개였고, CVA 운전자와는 유의한 차이가 없었고 TBI 비운전자와 일반 성인보다 높았다. TBI 운전자의 위험에 대한 반응 속도는 일반 성인과 정형외과 질환을 가진 운전자보다 유의하게 느렸다. 주행거리는 사고 전 운전자(TBI)와 유의한 차이가 없거나 더 짧았고, 보고되지 않은 교통사고 빈도는 일반 성인과 유의한 차이가 없고, CVA 운전자보다 높았다. 운전시 어려움에 관해 보고한 2개의 연구는 통계학적인 근거를 제시하지 않았다. 포함연구에 대한 전반적인 내용은 Appendix 1에 제시되어 있다.

IV. 고 찰

본 연구는 TBI 운전자의 운전능력 및 특성에 관해 체계적인 고찰을 함으로써 TBI 대상자 뿐만 아니라 작업치료사와 가족들에게 운전 재개를 위한 기본 정보를 제공하고자 하였다. 포함 및 배제기준에 따라 10개의 연구가 선정되었고, 각 연구의 근거수준 및 방법론적 질, 운전능력 및 특성에 관한 결과를 분석하였다.

체계적 고찰을 위해 문헌 검색을 할 때에는 그 범위에 대해서 COSI (Core, Standard, Ideal)라는 틀을 사용한다(김수영, 2006). 주요(core)는 문헌 검색의 핵심으로 국내 문헌, 핵심 데이터베이스, 포함연구의 참고 문헌이 여기에 해당되고, 표준(standard)은 표준 검색 범위로 수기 검색, 주요 데이터베이스외의 일반적, 특이적 데이터베이스를 말한다. 이상(ideal)은 이상적인 검색 범위로 학술대회 초록집, 미출판 문헌, 회사 접촉, 현재 진행 중인 임상실험을 포함한다. 세 범위의 문헌을 모두 검색하는 것이 이상적이지만, 본 연구에서는 이상 범위를 제외한 주요, 표준 범위의 문헌만을 포함하였다. 또한 본 체계적 고찰은 출판편향과 언어편향의 제한점이 있다.

본 체계적 고찰에는 무작위 할당 임상실험이 포함되지 않았고, 전반적으로 포함연구의 방법론적 질이 낮았다.

하지만, 포함연구의 설계에 따른 근거수준을 제시하였고, 타당한 양적 연구 측정방법(Aubut, Marshall, Bayley, & Teasell, 2013)인 D&B와 CASP를 통해, 방법론에 따른 질적 수준을 제시함으로써 포함연구의 수준을 명확하게 제시하였다.

본 연구 결과, TBI 운전자의 운전능력은 운전시뮬레이터를 이용하여 8개의 요소로, 실제도로평가를 통해 6개의 요소로, 자가측정보고를 통해 7개의 요소로 분석하였다. 각 측정방법은 장·단점이 있다. 운전시뮬레이터는 안전과 비용적인 측면에서 가장 효율적인 평가이나 실제적인 안전 운전 능력을 평가한다는 근거가 부족하다(Classen et al., 2009). 실제도로에서 실시하는 운전평가는 가장 실제적인 운전 능력을 평가하지만, 비용이 많이 들고 채점 기준이 운전시뮬레이터 보다 주관적일 수 있다(Korteling & Kaptein, 1996). TBI 운전자의 경우, 자신의 손상에 대한 통찰력 수준이 낮아 운전의 제한이나 중단에 대해 인정하지 않고, 적응에 어려움을 겪을 수 있기 때문에 자가측정보고는 중요한 평가이다(Tamietto et al., 2006). 하지만, 객관성이 떨어지기 때문에 다른 평가와 더불어 활용할 필요가 있다. 각각의 측정방법의 장·단점과 환경 및 환자를 고려하여 효과적인 운전능력 평가 방법을 선택해야 할 것이다.

작업치료사는 TBI 운전자의 삶의 질 향상을 위해 운전 재개에 관심을 가져야 한다. 뿐만 아니라 이들의 안전 운전 능력을 방해하는 잠재된 위험을 평가하고 중재하는 중요한 역할을 한다. 본 연구 결과, TBI 운전자는 보고되거나 보고되지 않은 교통사고 빈도가 일반 성인이나 CVA 운전자보다 높았고, 위험에 대한 반응 속도는 정형외과 질환을 가진 운전자나 일반 성인보다 느렸다. 이는 D'apolito, Massonneau, Paillat과 Azouvi(2013)의 보고와 일맥상통하는 결과로, TBI 운전자의 안전 운전 위협이 될 수 있다.

반면, TBI 운전자는 TBI 비운전자 및 일반 성인보다 스스로의 운전능력에 대해 높이 평가하였다. Brooks와 Hawley(2005)는 TBI 환자의 운전능력에 있어 통찰력은 인지 수준보다 더 중요하다고 지적하였다. 이러한 결과는 TBI 운전자가 스스로의 운전능력에 대한 통찰력이 낮기 때문에 운전능력에 대한 객관적인 평가 절차 및 적극적인 훈련 및 전략 관리가 필요함을 시사한다.

본 연구에 포함된 대부분의 연구들은 운전능력에 영향

을 미칠 수 있는 뇌 손상의 신경학적 구조나 범위, 증상의 경중도, 사고후 기간 등(Tamietto et al., 2006)을 보고하지 않았다. 추후 운전 재활에 관한 연구에서는 TBI 후 운전 능력에 영향을 미칠 수 있는 이러한 정보에 관해 명확하게 제시할 필요가 있다.

TBI 이후, 운전 재개를 위한 운전 적합성 평가에 관해 많은 연구가 이루어지고 있다. 하지만 그에 앞서 더 궁극적으로 TBI 운전자의 운전능력에 관해 알아볼 필요가 있다. 본 연구는 실제로 운전을 하고 있는 TBI 운전자의 운전능력을 평가한 연구를 대상으로 TBI 운전자의 운전능력 측정 요인과 운전능력에 대한 결과를 분석하여 제시하였다. 이는 작업치료사가 TBI 환자들을 위한 운전평가 및 훈련시 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

V. 결 론

본 연구는 TBI 환자의 운전 재활시 기초자료로 활용하고자, TBI 운전자의 운전능력을 평가한 연구를 체계적으로 고찰하여, TBI 운전자의 운전능력 측정 방법을 분석하고, 운전 능력의 결과를 제시하였다. TBI 운전자의 운전능력을 측정하기 위해서 운전시뮬레이터, 실제로도평가, 자가측정보고의 방법이 사용되었고, 가장 많이 측정된 요소는 실제로도평가를 통하여 보고된 교통사고 빈도였고, 다음은 자기측정보고를 통한 운전능력에 대한 자기 지각 순이었다. TBI 운전자의 운전능력을 분석한 결과, 보고되거나 보고되지 않은 교통사고 빈도가 일반 성인이나 CVA 운전자보다 높았고, 위험에 대한 속도는 정형외과 질환을 가진 운전자나 일반 성인보다 느렸다. 또한 TBI 비운전자 및 일반 성인보다 스스로의 운전능력에 대해 높이 평가하였다. 본 연구는 작업치료사가 TBI 환자의 운전능력 평가시 다양한 요소들을 활용할 수 있도록 제시하였고, TBI 환자의 운전 재개에 있어 적극적이고 지속적인 훈련 및 전략 관리가 필요함을 제안하였다.

Reference

대한비뇨기과학회 . (2006). 근거중심의학에 대한 이해.

<http://truemedicine.or.kr>

- Arbesman, M., Scheer, J., & Lieberman, D. (2008). Using AOTA's Critically Appraised Topic (CAT) and Critically Appraised Paper (CAP) series to link evidence to practice. *OT Practice*, 13(5), 18–22.
- Aslaksen, P. M., Orbo, M., Elvestad, R., Schafer, C., & Anke, A. (2013). Prediction of on-road driving ability after traumatic brain injury and stroke. *European Journal of Neurology*, 20, 1227–1233. doi:10.1111/ene.12172
- Aubut, J. L., Marshall, S., Bayley, M., & Teasell, R. W. (2013). A comparison of the PEDro and Downs and Black quality assessment tools using the acquired brain injury intervention literature. *NeuroRehabilitation*, 32(1), 95–102. doi:10.3233/NRE-130826
- Bagiell, E., Novack, T. A., Ansel, B., Diaz-Arrastia, R., Dickmen, S., & Hart, T. (2010). Measuring outcome in traumatic brain injury treatment trials: Recommendations from the traumatic brain injury clinical trials network. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 25, 375–382. doi:10.1097/HTR.0b013e3181d27fe3
- Bivona, U., D'Ippolito, M., Giustini, M., Vignally, P., Longo, E., Taggi, F., & Formisano, R. (2012). Return to driving after severe traumatic brain injury: Increased risk of traffic accidents and personal responsibility. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 27, 210–215. doi:10.1097/HTR.0b013e31822178a9
- Bottari, C., Lamothe, M. P., Gosselin, N., Gelinas, I., & Ptito, A. (2012). Driving difficulties and adaptive strategies: The perception of individuals having sustained a mild traumatic brain injury. *Rehabilitation Research Practice*, 2012, 1–9. doi:10.1155/2012/837301
- Brooks, N., & Hawley, C. A. (2005). Return to driving after traumatic brain injury: A British

- perspective. *Brain Injury*, 19, 165–175. doi:10.1080/02699050410001720004
- Classen, S., Levy, C., Meyer, D. L., Bewernitz, M., Lanford, D. N., & Mann, W. C. (2011). Simulated driving performance of combat veterans with mild traumatic brain injury and post-traumatic stress disorder: A pilot study. *American Journal of Occupational Therapy*, 65, 419–427. doi:10.5014/ajot.2011.000893
- Classen, S., Levy, C., McCarthy, D., Mann, W. C., Lanford, D., & Waid-Ebbs, J. K. (2009). Traumatic brain injury and driving assessment: An evidence-based literature review. *American Journal of Occupational Therapy*, 63, 580–591. doi:10.5014/ajot.63.5.580
- Coleman, R. D., Rapport, L. J., Ergh, T. C., Hanks, R. A., Ricker, J. H., & Millis, S. R. (2002). Predictors of driving outcome after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83, 1415–1422. doi:10.1053/apmr.2002.35111
- D'apolito, A. C., Massoneau, A., Paillat, C., & Azouvi, P. (2013). Impact of brain injury on driving skills. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(1), 63–80. doi:10.1016/j.rehab.2012.12.002
- De Guise, E., Leblanc, J., Feyz, M., & Thomas, H. (2005). Effect of an integrated reality orientation programme in acute care on post-traumatic amnesia in patients with traumatic brain injury. *Brain Injury*, 19, 263–269. doi:10.1080/02699050400004971
- Downs, S. H., & Black, N. (1998). The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomized and non-randomized studies of health care interventions. *Journal of Epidemiology Community Health*, 52, 377–384. doi:10.1136/jech.52.6.377
- Finestone, H. M., & Gershkoff, A. (2011). Driving after stroke: What are the appropriate criteria. *American Academy of Physical Medicine and Rehabilitation*, 3, 873–878. doi:10.1016/j.pmrj.2011.08.001
- Goodyear, K., & Roseveare, C. (2003). Driving restrictions after stroke: Doctor's awareness of DVLA guidelines and advice given to patients. *Clinical Medicine*, 3(1), 86–87. doi:10.7861/clinmedicine.3-2-187
- Hargrave, D. D., Nupp, J. M., & Erickson, R. J. (2012). Two brief measures of executive function in the prediction of driving ability after acquired brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 22, 489–500. doi:10.1080/09602011.2012.662333
- Johnston, M. V., Goverover, Y., & Dijkers, M. (2005). Community activities and individual's satisfaction with them: Quality of life in the first year after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86, 735–745. doi:10.1016/j.apmr.2004.10.031
- Korteling, J. E., & Kaptein, N. A. (1996). Neuropsychological driving fitness tests for brain-damaged subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77, 138–146. doi:10.1016/S0003-9993(96)90158-6
- Kreutzer, J. S., Marwitz, J. H., Walker, W., Sander, A., Sherer, M., Bogner, J., ... Bushnik, T. (2003). Moderating factors in return to work and job stability after traumatic brain injury. *Journal Head Trauma Rehabilitation*, 18(2), 128–138.
- Lane, A. K., & Benoi, D. (2011). Driving, brain injury and assistive technology. *NeuroRehabilitation*, 28, 221–229. doi:10.3233/NRE-2011-0651
- National Health Service. (2001). *Critical appraisal skills program Birmingham: Qualitative research*. Retrieved from <http://medweb4.bham.ac.uk/websites/caspb/cribsheets/>

- Neyens, D. M., & Boyle, L. N. (2012). Crash risk factors related to individuals sustaining and drivers following traumatic brain injuries. *Accident Analysis and Prevention*, 49, 266–273. doi:10.1016/j.aap.2012.01.008
- Novack, T. A., Labbe, D. M., Grote, M. N., Carlson, M., Sherer, J. C., Arango-Lasprilla, T., ... Seel, R. T. (2010). Return to driving within 5 years of moderate severe traumatic brain injury. *Brain Injury*, 24, 464–471. doi:10.3109/02699051003601713
- Ortoleva, C., Brugger, C., Van der Linden, M., & Walder, B. (2012). Prediction of driving capacity after traumatic brain injury: A systematic review. *Journal of Trauma Rehabilitation*, 27, 302–313. doi:10.97/HTR.0b013e3182236299
- Preece, M. H. W., Horswill, M. S., & Geffen, G. M. (2011). Assessment of drivers ability to anticipate traffic hazards after traumatic brain injury. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 82, 447–451. doi:10.1136/jnnp.2010.215228
- Preece, M. H. W., Horswill, M. S., & Geffen, G. M. (2010). Driving after concussion: The acute effect of mild traumatic brain injury on drivers hazard perception. *Neuropsychology*, 24, 493–503. doi:10.1037/a0018903
- Rapport, L. J., Hanks, R. A., & Bryer, R. C. (2006). Barriers to driving and community integration after traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 21(1), 34–44.
- Rapport, L. J., Bryer, R. C., & Hanks, R. A. (2008). Driving and Community integration after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89, 922–930. doi:10.1016/j.apmr.2008.01.009
- Retchin, S. M., & Anapolle, J. (1993). An overview of the older driver. *Clinics Geriatric Medicine*, 9, 276–279.
- Schaap, T. W. (2012). *Driving behaviour in unexpected situations. A study into drivers' compensation behaviour to safety-critical situations and the effects of mental workload, event urgency and task prioritization*. Delft, Netheland: TRAIL Research School.
- Schanke, A. K., Rike, P. O., Molmen, A., & Osten, P. E. (2008). Driving behavior after brain injury: A follow-up of accident rate and driving patterns 6–9 years post-injury. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40, 733–736. doi:10.2340/1650 1977-0256
- Schanke, A. K., & Sundet, K. (2000). Comprehensive driving assessment: Neuro-psychological testing and on-road evaluation of brain injured patients. *Scandinavian Journal of Psychology*, 41(2), 113–121. doi:10.1111/1467-9450.00179
- Schultheis, M. T., Matheis, R. J., Nead, R., & DeLuca, J. (2002). Driving behaviors following brain injury: Self-report and motor vehicle records. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 17(1), 38–47.
- Schwarzbold, M., Diaz, A., Martins, E., Rufino, T. A., Amante, L. N., Thais, M. E., ... Walz, R. (2008). Psychiatric disorders and traumatic brain injury. *Journal of Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 4, 797–816.
- Strong, J. G., Jutai, J. W., Elizabeth, R. M., & Evans, M. (2008). Driving and low vision: An evidence-based review of rehabilitation. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 102, 410–419.
- Tamietto, M., Torrini, G., Adenzato, M., Pietrapiana, P., Rago, R., & Perino, C. (2006). To drive or not to drive (after TBI)? A review of the literature and its implications for rehabilitation and future research. *NeuroRehabilitation*, 21(1), 81–92.

Appendix 1 Summary of Studies on Driving Ability of the Drivers With TBI

	Purpose	Participants	Assessment tool and contents	Results
1	To compare frequency and responsibility of traffic accident between pre-traumatic drivers and post-traumatic drivers with TBI.	60 severe TBI and caregiver 52 pre-traumatic drivers - post-traumatic drivers	- RDQ - GOS	- Frequency of traffic accidents between two groups showed not a significant difference. - Post-traumatic drivers with TBI had more frequency of traffic caused by their own than pre-traumatic drivers with TBI. - Post-traumatic drivers with TBI had shorter traveled distance than pre-traumatic drivers with TBI. - Post-traumatic drivers with TBI had frequency traffic accident per traveled distance more about 3.38 times and showed higher responsibility of traffic accidents than pre-traumatic drivers with TBI.
2	- To know awareness of driving ability in mild TBI. - To analyze relationship between reported difficulties during driving and driving ability. - To explore adaptive strategies for safe driving.	27 mild TBI	- Semi-structured interview based on ADL profile - PCSR - BAI - PCL-S - FSS	- Difficulties in ADL 93.0% of participants reported at least one difficulty perceived as having an impact on ADL (fatigue, reduced concentration, memory problem, angry, fear ...). - Analysis on driving difficulties according to Michon's model - Operational level: Visual problem, physical pain, loss of automatic driving reflex. - Tactical level: Headache, anxiety, decreased anticipation, memory problem, problem of spatial orientation ... - Strategic level: One participant reported that he did not really ask himself whether he's able to drive or not. - Strategies for safe driving: Twenty among 27 participants had specified strategy concerning driving. - Strategic level: Reduction for travel distance and continuous driving time, avoiding to drive with fatigue or headache and avoiding to drive at the night. - Tactical level: Reducing speed, Being careful, taking fewer risks and changing drivers along the way ...
3	To analyze factors affecting traffic accident in drivers with TBI.	22929 TBIs registered Brain Injury registry.	Data from the low a department and transportation's crash records department of Public Health's Brain Injury Registry.	- Number of traffic accidents caused by TBI drivers was 1583 from 2001 to 2006. - TBI drivers tends to unfasten their seat belt or have no passengers in the vehicle and have more crash at night TBI drivers (14.0%) had more involved in multiple crash than drivers who have not experienced a TBI (14.0%) and the younger they are, the more multiple crash happen.

Appendix 1> Summary of Studies on Driving Ability of the Drivers With TBI (Cont.)

	Purpose	Participants	Assessment tool and contents	Results
4	· To know difference among mild TBI, PTSD and normal adults. · To analyze correlation among cognition, vision, motor function and driving performance.	· 18 TBI · 20 normal adults	· MMSE · Trail making Test Part B · Visual test · Visual acuity score · Optec 2500 · UFOV · Rapid Pace Walk Center for Epidemiologic Studies · Depression Scale · CDRS	· Normal adults showed higher signal error and TBI drivers showed higher speed control error and adaptation for stimulation than the other. · Overspeed had more correlation with man and the younger. · Overspeed had negative correlation with age and no correlation with gender. · Age had negative correlation with speed control and distance maintaining and positive correlation with signal error. Left visual field had negative correlationship with adaptation error for stimulation and visual acuity on left eye had negative correlationship with visual scanning error. Trails test B was associated with distance maintaining error and the number of total errors.
5	· To investigate expecting ability for the dangerous traffic situation in TBI.	· 31 TBI · 24 normal adults	· HPT	· TBI drivers showed slower expecting ability for the dangerous traffic situation than normal adults. · Time to respond for dangerous situation was associated with PTA duration but GCS. · Mild TBI showed faster expecting ability than moderate to severe TBI.
6	· To investigate expecting ability for the dangerous traffic situation in mild TBI.	· 42 mild TBI · 43 minimal orthopedic disease patients	· HPT · Spatial reaction time task · Pain and emotionality scale · Depression anxiety stress scale · Digit symbol substitution Test · Galveston orientation and Amnesia Test · Manchester driver behavior Questionnaire · Diving questionnaire · Recovery questionnaire · National adult reading test · Logmar visual acuity test	· Mild TBI responded slowly to dangerous traffic situation than minimal orthopedic disease patients.

Appendix 1 Summary of Studies on Driving Ability of the Drivers With TBI (Cont.)

	Purpose	Participants	Assessment tool and contents	Results
7	To know relationship between resuming to drive of TBI and integration with society.	261 TBI	- BDQ - Driver Survey - CIM - CHART - Social Provision Scale - Neuropsychologic functioning	44.0% of TBI resumed to drive. 48.0% of other TBI wanted to resume to drive. - Social and resource problem was reported as the biggest barrier to drive reported. - Cognitive ability between non-drivers with and without good mind to drive was similar and lower than drivers with TBI. Social integration of non-drivers with TBI was lower than drivers with TBI, allowing for severity of illness, social support, negative behavior and use of transportation. - Only non-drivers with TBI used alternative transportation and it was not associated with local social integration. - Traffic accident had negative relationship with cognitive level and positive relationship with time spend to drive.
8	- To know driving pattern of TBI and CVA after 6~9years. - To know relationship between traffic accident rate and change associated with fitness to drive.	65 CVA 28 TBI	- Questionnaire including 51 items. - Reported or unreported accident, annual travel distance, driving pattern, self-awareness of driving behavior, information on driving skills from someone close.	- Drivers with CVA decreased significantly travel distance and changed continuously than before onset. But drivers with TBI didn't show any difference than before onset. - Awareness on driving skill between CVA and TBI drivers was not different significantly. - Age and awareness on driving skill have a negative correlationship. - Driving skills report from someone close did not show a significant difference. - Frequency of reported accident between CVA and normal adults was not different significantly, but TBI was higher than normal adults. Frequency of unreported accident of TBI was higher than CVA.
9	To investigate relationship among driving status, self-awareness of resuming to driving barriers and results of local social integration.	51 TBI	- BDQ - Self-assessment driving ability - CIM - CHART - PANAS - Social Provision Scale	- GCS wasn't associated with result of driving. - Educational level between driver and non-driver wasn't different. - Driving status could be expected by BDQ domain. - Awareness of social barriers was associated with result of local social integration significantly (social mobility and occupation in CHART, CIM). - Social mobility and occupation between drivers and non-drivers were different significantly. - Use of alternative transportation was associated with overall driving barriers, but not associated with results of local social integration except for social mobility in CHART. - Non-drivers rated high on their driving skills than drivers.

Appendix 1 Summary of Studies on Driving Ability of the Drivers With TBI (Cont.)

Purpose	Participants	Assessment tool and contents	Results
10 · To compare objective and subjective assessment of driving behavior for the past 5 years in TBI and normal adults.	· 27 TBI · 22 normal adult	· By call and questionnaire on driving carrier · Validity of driving liscence, completion of driving re-evaluation, violation of traffic regulation, frequency of reported and unreported accident, judged dangerous traffic situation · Records on driving by NJ-DMV	· 37.5% of TBI and 18.2% of normal adults felt limitation during driving. · Results of self report, violation of regulation, frequency of reported and unreported traffic accident didn't show significant difference between two groups. Self-reported dangerous traffic situation in normal adults was more than TBI. · Awareness of driving ability in TBI was higher, but not significant. · Objective information (penalty point, traffic accident, violation experience) between two groups was not different significantly.

ADL: Activities of Daily Living, BAI: Beck Anxiety Inventory, BDQ: Barriers to Driving Questionnaire, CDRS: Certified Driving Rehabilitation Specialist, CHART: Craig Hospital Assessment and Reporting Technique, CIM: Community Integration Measure, CVA: Cerebral Vascular Accident, FSS: Fatigue Severity Scale, GCS: Glasgow Coma Scale, GOS: Glasgow Outcome Scale, HPT: University of Queensland Hazard Perception Test, MMSE: Mini Mental Status Examination, NJ-DMV: New Jersey Division of Motor Vehicle, PANAS: Positive and Negative Affectivity Scale, PCSR: Post-Concussion Scale Revised, PCL-S: post-traumatic Stress Disorder Checklist, PTSD: post-traumatic Stress Disorder, RDQ: Return to Driving Questionnaire, TBI: Trumatic Brain Injury, UFOV: Useful Field of View

Abstract

A Systematic Review on Driving Ability and Measurement Method of Drivers After a Traumatic Brain Injury

Jung, Nam-Hae^{*}, M.S., O.T., Chang, Moon-Young^{**}, Ph.D., O.T.

^{*}Dept. of Rehabilitation Science, Graduate School of Inje University

^{**}Dept. of Occupational Therapy, College of Biomedical Science and Engineering, Inje University

Objective : This study was conducted to determine a method for measuring the driving ability of drivers suffering from a traumatic brain injury.

Methods : We systematically searched published studies in MEDLINE, Ovid, IOS press, OT seeker, Cochrane library, and the Science Direct database from April to May 2013. The keywords used in the search were 'automobile driving', 'drive', 'driver', and 'brain injury or head injury'. Grade II rated evidence was found from eight studies, and grade III and V rated evidence was found from one study each. The methodological levels of the quantitative studies were fair (3) and poor (7), and the qualitative study was good (1).

Results : The measurements for the driving ability were 8, 7, and 6 based on a driving simulation, self-administration, and a real road test, respectively. The reported traffic accident variable was used most frequently (13.3%), and the self-perception of the driving ability was the next frequently used. The results of the driving ability showed that TBI drivers had a significantly greater number of accidents and as a lower response for dangerous situations than normal persons or other patients. TBI drivers rated high in ability to drive on their own.

Conclusion : This study presented a variety of variables to use when occupational therapists assess the driving ability for persons with TBI, and proposed that active and consistent training and management for an adaptive strategy are needed for the resumption of driving with drivers with TBI.

Key words : Driving, Driving rehabilitation, Systematic review, Traumatic brain injury