

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 30 日現在

機関番号：34536

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350695

研究課題名(和文) 脊髄損傷者等車いす使用者の自動車運転を支援するための運転操作環境のデザイン開発

研究課題名(英文) Development of a driving environment for effective driving for persons with spinal cord injury

研究代表者

廣瀬 浩昭 (HIROSE, Hiroaki)

宝塚医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：90534438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：脊髄損傷者100名に対し健康関連QOL調査を行ったところ、身体機能と身体役割スコアは低く、精神項目サマリーは高く、他のスコアは比較的維持された。自動車運転が健康関連QOLに影響している可能性が示唆された。また、脊髄損傷者5名を対象としてカーブ走行時の頭部加速度を3次元動作解析したところ、低速度では左右のカーブで有意な差はなかったが、40km/hでは左と比べて右カーブ時の最大加速度が有意に高く、頭部にかかる合力が増すことが示唆された。さらに、既存の運転座席に取り付ける上体保持を支援するための座面補助具と、把持と支持をサポートする手動装置のグリップを運転操作環境として開発して、試作品を作成した。

研究成果の概要(英文)：A total of 100 motorists with a spinal cord injury (SCI) participated in this study. Participants' health-related QOL was evaluated using the SF-36. Subjects showed significantly lower scores for physical function and role physical compared with national standard values, but relatively normal scores for the other items.

To develop a driving environment for people with SCI that reduces their physical burden while driving, this study was conducted to examine the acceleration of the head while driving, using a 3D motion analysis system. The five subjects were asked to drive at 10-40 km/h. When the subjects drove at 40 km/h, the acceleration on the left-curved segments was higher than that on the right-curved segments. The design of body support equipment was developed to assist postural support under difficult situations of driving for people with SCI. It provides not only support for the waist and thighs but also stability for the upper body.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：脊髄損傷者 自動車運転 運転操作環境 健康関連QOL 3次元動作解析 カーブ走行 座面補助具 グリップ

1. 研究開始当初の背景

脊髄損傷者等の車椅子使用者は、アクセルとブレーキを左手で操作する運転補助装置を取付け、右手でハンドリング操作を可能とするノブを取付ける改造を行うことで自動車を運転する(図1)。車椅子使用者の運転行動特性は、身体障害の程度(四肢・体幹の機能障害)、道路の形状、車両の速度、運転操作環境などに影響されると推察できるが、先行研究はほとんど見られず、バリアフリー新法や福祉のまちづくり条例でも触れられていない。

これまでバリアフリーにおける人間工学的研究の一環として車椅子使用者の自動車運転に関する問題を取り上げ、車椅子使用者の道路利用実態、身体負担の調査研究を行ってきた。これまで行った聞き取り調査では、身体に障害をもつ運転者のニーズや運転における問題点などを把握した。また、抽出した問題点について、車両の加速度分析、筋電図、画像解析の評価手法を用いた検討を行った。そこでは、困難な走行条件とされる速い速度でのカーブ走行において、運転姿勢が変化することが分かった。



図1：運転補助装置の事例

上図は手動アクセル・ブレーキ装置、下図はステアリングの旋回手掌型タッチメントである。

本研究は、自動車運転を行う車椅子使用者に対して健康関連 QOL (health-related quality of life: 以下 HRQOL と略す) の調査を行い、車椅子使用者の健康関連 QOL を標準化されたスコア(国民標準値)と比較することで、車椅子使用者にとっての自動車運転

の意義を推察する。

さらに、運転免許をもつ車椅子使用者を対象にカーブ走行時の自動車運転行動と身体負担について測定・分析する。具体的には、3次元動作解析の手法を用いて身体負担を測定・分析し、それらに対応する自動車の運転操作環境の設計課題を抽出して、新しい運転操作環境をデザイン・製作することにした。

2. 研究の目的

(1) 車椅子使用者の健康関連 QOL の特徴—自動車運転を行う脊髄損傷者における検討—

日常生活で自動車運転を行う脊髄損傷者の HRQOL を国民標準値と比較して、その特徴を明らかにする。

(2) 車椅子使用者の自動車運転における走行時の頭部加速度解析

車椅子を使用している脊髄損傷者の自動車運転時の運転行動について3次元動作解析システムを用いた加速度解析の手法を用いて検討し、運転者の身体負担を評価する。

(3) 車椅子使用者の自動車運転操作環境のデザイン・製作

研究結果から、車椅子使用者にとっての自動車運転操作環境の設計課題を抽出して、新しい運転操作環境をデザイン・製作する。

3. 研究の方法

(1) 車椅子使用者の健康関連 QOL の特徴—自動車運転を行う脊髄損傷者における検討—

日常生活で自動車運転を行う脊髄損傷者100名を対象として、集合調査を実施した。対象者の性別は男性96%、女性3%、不明1%、20歳代17%、30歳代31%、40歳代37%、50歳代11%、60歳代1%、不明2%であった。神経学的分類は四肢麻痺92%、対麻痺0%、不明8%、完全麻痺69%、不全麻痺24%、不明7%であった。

HRQOLは日本版SF-36第2版(以下SF-36と略す)によって評価された。SF-36の各項目の回答は、コード化されて合計され、0から100のスケールに変換された。本研究におけるSF-36の下位8項目(身体機能:PF、身体役割:RP、身体の痛み:BP、一般的健康認知:GH、活力:VT、社会的機能:SF、情緒的役割:RE、精神的健康:MH)の各スコアは日本人のデータに基づいて標準化された。また、身体項目サマリー(PCS)、精神項目サマリー(MCS)、役割/社会項目サマリー(RCS)を求めた。

(2) 車椅子使用者の自動車運転における走行時の頭部加速度解析

日常生活に手動式車椅子を使用している脊髄損傷者5名を対象に、自動車運転時の頭部加速度を解析して身体負担を評価した。対象者は全例男性、年齢は平均39.0歳(27-58歳)であり、全例運転免許の取得者で自家用車を所有していた。対象者の身体障害の内訳

は、完全損傷 4 名、不全損傷 1 名、身体障害等級は全例 1 級、脊髄損傷レベル（残存レベル）は C5 または C6 であった。実験は対象者が日常使用している車両で実施し、運転補助装置はすべての車両で四肢運動障害を補うためにアクセル・ブレーキとステアリングが改造され、左手でアクセル・ブレーキ操作、右手でステアリング操作を行った。

他の自動車が進入しない走行コースの左カーブまたは右カーブを 10、20、30、40km/h で走行した。なお、左カーブと右カーブは図 2 のように定め、左カーブ区分①から区分⑤、右カーブ区分①から区分⑤とした。対象者には走行の速度条件を一定に保つように口頭指示し、数回の練習走行を行った。速度条件の順序は無作為とし、実際の走行速度は各車両の速度メータで確認した。なお、走行は区分①の手前 30m から開始し、区分①で各速度条件に達するようにした。また、区分⑤以降は 30m 以上走行を維持するよう口頭指示した。

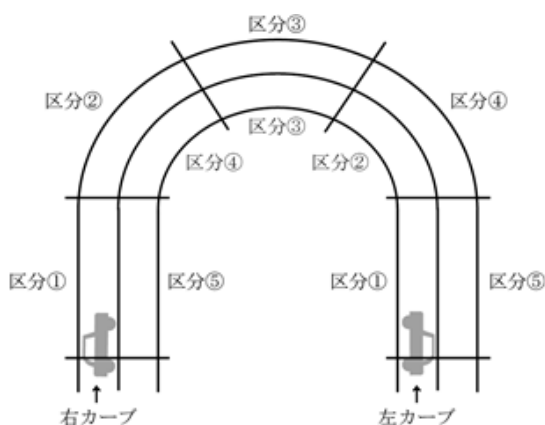


図 2：実験で使用した走行コースの概略図

左カーブと右カーブを図のように定め、左カーブ区分①から区分⑤、右カーブ区分①から区分⑤とした。

動作撮影は、汎用デジタルビデオカメラ 2 台を車両内部に三脚を用いて固定し、自動車運転中に身体各部（左側の耳孔、肩峰、肘頭、手関節、上前腸骨棘）に両面テープで装着した直径 10mm の球状反射マーカを記録した。また、LED 型シンクロナイザ（株式会社ディケイエイチ）を用いて、デジタルビデオカメラ 2 台の同期を行った。

動画解析は、パーソナルコンピュータを用いてデジタルビデオカメラから取り込んだ動画を Avi 形式の動画ファイルに変換し、3 次元動作解析システム Frame-DIASIV（株式会社ディケイエイチ）を用いて 2 方向からの動画ファイルをデジタル化した。なお、サンプリング周波数は 30Hz とし、1 フレーム（1/30 秒）毎にデジタル化を行った。次に、3 次元動作解析システム Frame-DIASV（株式会社ディケイエイチ）にて、時間の正規化処理後、時系列での 3 次元座標における左右方向、前後方向、上下方向の頭部マーカを解析し、さらに速度データと加速度データを求

めた。

解析した加速度データ（左右方法、前後方向）は、表計算ソフトウェアを用いて左右方向と前後方向の最大値、最小値を求め、その後に加速度の大きさとして左右方向と前後方向の加速度絶対値の最大を計算した。そして、速度条件別に左カーブの代表値と右カーブの代表値を算出した。さらに、統計学的に有意差がみられた速度条件については、その速度条件において区分別の解析を行った。

4. 研究成果

(1) 車椅子使用者の健康関連 QOL の特徴—自動車運転を行う脊髄損傷者における検討—

標準化された下位 8 項目の平均値（標準偏差）は、身体機能 10.9(18.9)、身体役割 41.8(12.7)、身体の痛み 45.9(13.1)、一般的健康認知 47.1(10.7)、活力 46.1(11.0)、社会的機能 46.7(12.4)、情緒的役割 46.0(12.2)、精神的健康 47.4(10.5) であった（図 3）。身体機能と身体役割のスコアは低値を示したが、他のスコアは比較的維持された。

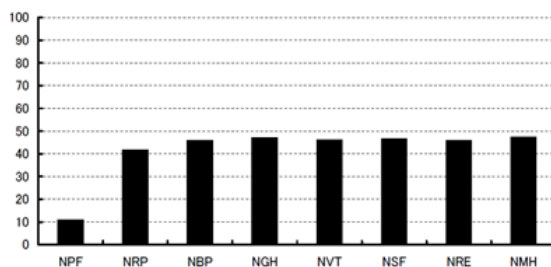


図 3：標準化された下位 8 項目の平均値 (N=100)

NPF：標準化された身体機能、NRP：標準化された身体役割、NBP：標準化された身体の痛み、NGH：標準化された一般的健康認知、VT：標準化された活力、SF：標準化された社会的機能、RE：標準化された情緒的役割、MH：標準化された精神的健康

各サマリースコアの平均値（標準偏差）は、身体項目サマリー 21.9(14.9)、精神項目サマリー 56.0(11.4)、役割/社会項目サマリー 50.0(13.6) であった（図 4）。身体項目サマリーは低値を示したが、精神項目サマリーは高値を示し、役割/社会項目サマリーは維持された。

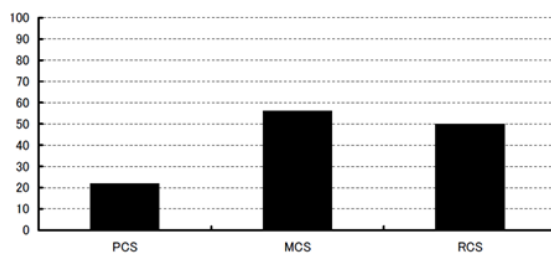


図 4：各サマリースコアの平均値 (N=100)

PCS：身体項目サマリー、MCS：精神項目サマリー、RCS：役割/社会項目サマリー

Westgren(1998)らは、脊髄損傷群では健常群に対して全ての下位項目で有意に低値を示したと報告している。本研究では、対象者の身体機能と身体役割のスコアは低値を示したが、他のスコアは比較的維持され、精神項目サマリーは高値を示した。これは、本研究対象者が日常的に自動車運転を行っており、自動車運転がHRQOLの精神に関する項目、社会的/役割の項目に影響を与えていることが推察された。

(2) 車椅子使用者の自動車運転における走行時の頭部加速度解析

①各速度条件における左カーブと右カーブの最大加速度(左右・前後方向、m/s²)

10km/hでは、左カーブは左右方向2.4、前後方向2.7、右カーブは左右方向2.6、前後方向2.5であった。

20km/hでは、左カーブは左右方向2.3、前後方向2.2、右カーブは左右方向2.4、前後方向2.8であった。

30km/hでは、左カーブは左右方向2.3、前後方向2.5、右カーブは左右方向2.6、前後方向2.9であった。

10、20、30km/hでは、頭部最大加速度は左右方向、前後方向とも、統計学的に有意な差はみられなかった。

一方、40km/hでは左カーブは左右方向2.6、前後方向2.5、右カーブは左右方向3.1、前後方向3.2であった。前後成分最大加速度について統計学的に有意差が認められた(p<0.05)。

表1：各速度条件における左カーブと右カーブの最大加速度(N=5)

	10km	20km	30km	40km
左カーブ				
左右成分	2.4	2.3	2.3	2.6
	0.6	0.4	0.5	0.6
前後成分	2.7	2.2	2.5	2.5
	0.7	0.4	0.4	0.2
右カーブ				
左右成分	2.6	2.4	2.6	3.1
	0.4	0.5	0.3	0.3
前後成分	2.5	2.8	2.9	3.2*
	0.3	0.4	0.6	0.5

注 上段に平均値、下段に標準偏差を示す。
*p<0.05

②40km/hにおける左カーブと右カーブの各区分の最大加速度(左右・前後方向、m/s²)

左カーブは左右方向において区分①3.6、

区分②2.4、区分③2.6、区分④2.5、区分⑤1.8、前後方向において区分①3.2、区分②2.3、区分③2.1、区分④2.3、区分⑤2.1であった。

右カーブは左右方向において区分①3.4、区分②3.1、区分③2.6、区分④3.4、区分⑤2.7、前後方向において区分①3.6、区分②3.6、区分③1.8、区分④3.8、区分⑤3.1であった。

カーブ初期である区分②において、左カーブと比較して右カーブの前後方向最大加速度は有意に大きかった(p<0.05)。

表2：40km/hにおける左カーブと右カーブの各区分の最大加速度(N=5)

	区間①	区間②	区間③	区間④	区間⑤
左カーブ					
左右成分	3.6	2.4	2.6	2.5	1.8
	1.2	0.7	1.7	0.5	0.4
前後成分	3.2	2.3	2.1	2.3	2.1
	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4
右カーブ					
左右成分	3.4	3.1	2.6	3.4	2.7
	0.5	0.5	0.7	0.9	0.5
前後成分	3.6	3.6*	1.8	3.8	3.1
	0.4	0.5	0.3	1.0	0.9

注 上段に平均値、下段に標準偏差を示す。
*p<0.05

以上から10、20、30km/hでは左カーブと右カーブで頭部最大加速度(左右方向・前後方向)に有意な差は認められなかったが、40km/hでは左カーブと比較して右カーブのほうが最大加速度は大きく、特に前後方向の最大加速度には有意差が認められた。これは、低速度では頭部加速度はカーブの向きに影響しないが、40km/hでは左カーブより右カーブの加速度が大きくなることを示しており頭部にかかる合力が増すことが示唆された。池田ら(2010)は走行速度が増すと左カーブのほうが頭部位置変化量は増大すると報告しており、本研究結果と合わせて考察すると、自動車運転における身体負荷を評価する際には頭部位置変化量に加えて、頭部加速度を評価指標とする必要性が示唆された。

車椅子使用者の自動車運転において、一般的な運転補助装置により改造した運転操作環境では、高速度での右カーブの走行で頭部加速度が高まり、運転者の身体負担が増大すると考察される。

(3) 車椅子使用者の自動車運転操作環境のデザイン・製作

本研究でデザインされた脊髄損傷者等車椅子使用者の自動車運転中に座位安定性を

高めるために使用する「上体保持を支援するための座面補助具」と把持と支持を行いやすい形状の「把持と支持をサポートする手動装置のグリップ」を紹介する。

①上体保持を支援するための座面補助具

図5は既存の運転座席の上に設置して使用することができ、大腿部と腰部を安定化させ上体の安定性を高めるための補助具である。その形状の特徴は、両大腿内側部の三角錘の隆起構造物にある。補助具外壁で大腿部を内側へ圧迫し、隆起構造物によって外側へ圧迫できるようにデザインされている。本補助具を実際に使用したところ、この隆起構造が大腿部・腰部を安定させ、上体の安定性に寄与することを確認できた。



図5：上体保持を支援するための座面補助具

②把持と支持をサポートする手動装置のグリップ

図6は手動装置グリップ部分の試作品である。カーブなどの上体が不安定になる走行場面では手動装置が身体を支えるためにも使用されることから、握力が低く十分にグリップを握ることができない場合でも、残存している能力で把持と支持ができるデザインとした。試作されたレバー部分の形状は、脊髓損傷者ドライバーにとって特に運転操作が困難とされる左右カーブ走行時における運転操舵の特徴を考慮に入れた形状になっている。その形状は、グリップの両端に支持部を作ることによって運転操舵において手部橈側および手部尺側で支持力を受けることができ、かつグリップ上面を滑らかにすることで支持力を左右へ移行しやすいようデザインされている。

本研究では、既存の運転座席に取り付ける座面補助具と市販されている手動装置のグリップ部分についてデザイン開発を行った。座面補助具については、脊髓損傷者ドライバーの運転特性を考慮に入れた形状になっているため、運転操作が困難とされるカーブなどでも上体の安定に繋がるような座面形状になっている。また、手動装置のグリップ部分については、握力が低下しているドライバ

ーでも把持と支持が可能になっており、既存の手動装置にはない機能が特徴である。



図6：把持と支持をサポートする手動装置のグリップ

今後の課題は、自動車運転における「上体保持を支援するための座面補助具」と「把持と支持をサポートする手動装置のグリップ」の効果を検証して、脊髓損傷者等車椅子使用者にとって自動車運転時の身体負担が軽減する運転操作環境デザインを開発することである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 廣瀬浩昭、池田宏史、武田功、脊髓損傷者の自動車運転における走行時の頭部加速度解析に関する研究、人間環境学研究、査読有、Vol. 13、2015、163-168
- ② Hiroaki Hirose, Hiroshi Ikeda and Isao Takeda, Health-related QOL of motorists with spinal cord injury in Japan, International Journal of Medical, Health, Biomedical, Bioengineering and Pharmaceutical Engineering, 査読有, Vol. 9, 2015, 654-657

〔学会発表〕(計4件)

- ① Hiroaki Hirose, Hiroshi Ikeda and Isao Takeda, Health-related QOL of motorists with spinal cord injury in Japan, ICTP2015: 17th International Conference on Traffic and Transport Psychology, 2015.10.8-9, ハイアットリージェンシー大阪(大阪府大阪市)
- ② Hiroshi Ikeda, Hiroaki Hirose, Masaru Nakaseko, Isao Takeda and Shigeyuki Minami, Development of support equipment for driving posture of persons with lower-limb dysfunctions, TRANSED2015: The 14th International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons, 2015.7.28-31, Lisbon(Portugal)

- ③ 廣瀬浩昭、池田宏史、武田功、脊髄損傷者の健康関連 QOL の特徴－自動車運転を行う脊髄損傷者における検討－、第 27 回兵庫県理学療法学会、2015. 7. 5、都ホテルニューアルカニック（兵庫県尼崎市）
- ④ 廣瀬浩昭、池田宏史、武田功、頸髄損傷者の自動車運転に関する研究、宝塚医療大学第 2 回 3 学科学内発表会、2014. 11. 18、宝塚医療大学（兵庫県宝塚市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

廣瀬 浩昭 (HIROSE, Hiroaki)
宝塚医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号：9 0 5 3 4 4 3 8

(2) 研究分担者

池田 宏史 (IKEDA, Hiroshi)
大阪市立大学・複合先端研究機構・特別研究員
研究者番号：5 0 5 2 4 7 1 6

武田 功 (TAKEDA, Isao)
宝塚医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号：0 0 1 6 3 4 0 2