

電動車いすのための片流れ検知・軽減走行技術の臨床評価

Clinical Evaluation of a Downhill Turning Prevention Control System for Power Wheelchairs

○ 硯川潤 (国リハ研) 木下崇史 (国リハ研) 鳥井勝彦 (今仙技研)
 加茂光広 (アイシン精機) 飯田教和 (アイシン精機) 岩田拓也 (産総研)
 松本治 (産総研) 井上剛伸 (国リハ研)

Jun SUZURIKAWA, Research Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
 Takafumi KINOSHITA, Research Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
 Katsuhiko TORII, Imasen Engineering Corporation
 Mitsuhiro KAMO, AISIN SEIKI Co., Ltd.
 Norikazu Iida, AISIN SEIKI Co., Ltd.

Kakuya IWATA, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
 Osamu MATSUMOTO, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
 Takenobu INOUE, Research Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: In order to improve the running stability of power wheelchairs on a cross slope, we have developed a downhill turning prevention control (DTPC) system. The clinical evaluation of this system we have performed consists of the indoor and outdoor short-term evaluation of the first prototype (n = 6 and 1, respectively) and the indoor and outdoor short-term evaluation of the second prototype (n = 10, 5). The main feature of this evaluation sequence is the logging of joystick inputs and wheelchair behaviors during the test trials. The quantitative and objective evaluation measures calculated from the data logged have successfully ascertained the effectiveness of the DTPC system. On the other hand, the psychological and subjective scales obtained in parallel did not detect any differences between the trials with and without DTPC. These results imply the importance of the quantitative evaluation measures, which seem to have a better sensitivity than the subjective.

Key Words: Smart wheelchair, Clinical evaluation, Cross slope, Downhill turning, Safety

1. はじめに

電動車いすの安定走行を阻害する外的要因の一つに、路面の傾斜が挙げられる。特に、車いすの進行方向に対して直交した傾斜のある路面(横傾斜路)では、前部キャストが下り勾配方向に流される「片流れ」という現象が知られており、その危険性が指摘されてきた⁽¹⁾。筆者らの研究グループでは、厚生労働省障害者自立支援機器等開発促進事業の助成を受け、片流れを自動的に検出・補正する安全装置を開発してきた⁽²⁾。平成22年度から開始された同プロジェクトは、産業技術総合研究所が開発した片流れ検知・軽減走行技術をアイシン精機が簡易形電動車いすに実装し、国立障害者リハビリテーションセンター研究所が障害当事者を対象とした臨床評価を担当するという枠組みで進められてきた。平成23年度からは、今仙技術研究所が加わり、同安全装置を搭載した標準形電動車いすが並行して開発されている。具体的には、電動車いすに搭載されたレートジャイロ、加速度計、さらには車輪速度センサ情報から、ジョイスティック等によるユーザの操舵指示方向と実際の車いすの走行方向が一致するように、左右車輪のモータ駆動トルクを補正する技術を開発・実装している⁽³⁾。近年、MEMS技術の進化により、チップ化されたレートジャイロや加速度計が低コストで入手可能となり、実用化へのハードルが下がりつつある。

このような操作介入を伴う制御技術を搭載した車いすは知能化車いす (smart wheelchair, SWC) と呼ばれ、ロボット技術などを応用した研究開発が盛んである。しかし、安全性の担保が困難といった理由から、臨床評価へ進む例は極めて少なく、実用化へつながらにくい状況にある。筆者ら

が実施してきた片流れ検知・軽減走行技術を搭載した簡易形電動車いすの臨床評価は、一次試作機の模擬環境評価 (n = 6)・屋外/実生活環境走行評価 (n = 1)、二次試作機の模擬環境評価 (n = 10)・屋外走行評価 (n = 5) と、これまでにのべ22名を対象としており、SWCとしては世界的に見ても大きな規模を有する。また、操作・走行ログから算出する定量指標を主たるアウトカムとしている点も特徴的である^{(4),(5)}。本報告では、二次試作機の模擬環境評価の方法・結果について概説し、SWCの臨床評価を進めるにあたっての基礎的な指針を示す。

2. 方法

図1に模擬コースを用いた評価実験の概要を示す。片流れ検知・軽減走行技術の効果を検証するために、被験者は制御が有効・無効の設定で、それぞれ15回ずつ試験路を走行した。路面の傾斜角は7度、全長・全幅はそれぞれ9m・2mであり、そのうち4mを走行データの分析対象区間とした。10名の被験者の障害種別内訳は、脊髄小脳変性症2名、脳性まひ2名、ポリオ2名、パーキンソン病1名、多発性硬化症1名、膠原病による脳梗塞1名、頸髄損傷1名であり、全員が簡易形電動車いすを主たる移動の手段として用いている。課題遂行中の操作・走行データとして、左右駆動輪角速度、ジョイスティック操作角度(左右、前後2軸)、車体のヨー軸角速度を、20Hzのサンプリング周波数でそれぞれ記録した。

評価のアウトカムとして、操作・走行データから走行時の操作量・操作安定性・走行安定性を評価するための定量指標を算出した。走行評価指標は、4m走行後の片流れ量、

4 m 走行時間, ジョイスティック操作角度および角度変化量の絶対値の積分値 (左右, 前後方向), ヨー軸回転角度とヨー軸角速度の絶対値の積分値の計 8 指標である. また, 心理・主観評価として, 走行後に福祉用具満足度評価 (QUEST), 福祉用具心理評価スケール (PIADS), 12 問の 11 段階スケールからなる主観アンケートをそれぞれ取得した.

3. 結果と考察

表 1 に, 走行評価指標の制御有効・無効時の平均値と標準偏差を示す. 左右方向のジョイスティック操作量の積分値 (JDA_x) と, ヨー軸回転角速度 (YRA) と同角度の積分値 (YDA) に有意差が見られた. JDA_x は, 片流れを補正するためのジョイスティック操作を反映する. 制御無効時の JDA_x が有効時のそれを上回ったことは, 開発した片流れ検知・軽減走行技術が人的な片流れの補正操作を代替したことを示している. YRA と YDA は車いすの左右方向へのぶれと, その安定性をそれぞれ示す指標である. 両者ともに制御無効時の値が有効時の値を上回っており, 片流れ検知・軽減走行技術によって車体挙動の安定性が改善されたことがわかる.

このように, 走行評価指標に制御有効・無効間の明確な差が見られ, 同制御の有用性が示された一方で, 心理・主観指標には統計的に有意な差が検出されなかった. ただし, 10 人中 7 人が制御の有効・無効の状態は正しく判別できた. これらの結果は, 片流れ検知・軽減走行技術による操作負担の軽減が, 本研究で実施した心理・主観評価では検出できない水準であったことを示唆している.

筆者らがこれまでに実施した一次試作機での模擬環境評価では, JDA_x のみに制御有効・無効間で有意差が検出され, YRA と YDA に差は見られなかった⁽⁴⁾. これは, 一次試作機のホイールベースが二次試作機に比べて短く, 片流れの影響を受けにくい車体であったことに起因すると考えられる. 二次試作機は安定走行の難易度が高く, 安定性向上の効果が顕在化されやすかった可能性がある. 先行研究でも, 操作ログから得られる走行指標は走行課題の難易度に大きく影響されることが指摘されており⁽⁶⁾, 評価課題の難易度を適切に設定することが重要であることがわかる. 心理・主観評価に関しても, 走行課題の難易度次第では制御による変化が検出され得ると考える.

従来の SWC の臨床評価では, 操作・走行ログなどの数値データよりも, 被験者の主観的な評価に重きが置かれる傾向にあった. しかし, 主観評価の感度は課題の難易度など様々な要因に影響されるため, 客観指標の併用が望ましい. 操作・走行ログの取得は, ログ取得装置の実装が必要であることや, 長期評価での連続取得が困難であることなど, 臨床評価での使用には技術的な課題も多い. 今後, 実生活環境からの長期的な評価データの収集を可能にする, 臨床評価支援システムの開発が求められる.

4. おわりに

本報告では, 片流れ検知・軽減走行技術を搭載した簡易形電動車いすの模擬環境下での臨床評価について述べた. 10 名の肢体不自由者を被験者として, 走行課題遂行中の操作・走行ログデータを取得した. これらのログデータから算出したジョイスティックの左右方向操作量や車体挙動の安定性を示す評価指標には, 制御有効・無効間で有意な差が見られ, 同制御技術の有用性が示された. 一方で, 心理・主観評価には統計的に有意な差は見られず, 数値指標の重要性が示唆された.



Fig. 1 Test course with a 7-degree cross slope. A test wheelchair with the DTPC is shown in the inset.

Table 1. Evaluation measures in trials with and without DTPC (N = 10).

Evaluation measure	With DTPC		Without DTPC		p value (t-test)
	Mean	SD	Mean	SD	
Displacement, m	0.09	0.04	0.10	0.06	0.116
Time to finish, s	7.02	2.13	7.58	2.27	0.0835
JDA_x , deg s	34.1	16.6	53.4	19.2	0.00175
$JDVA_x$, deg	83.5	60.0	101	67.8	0.399
JDA_y , deg s	209	22.6	213	19.3	0.146
$JDVA_y$, deg	71.8	44.4	68.4	22.1	0.784
YRA, deg	0.34	0.14	0.54	0.254	0.00105
YDA, deg s	41.1	26.5	55.3	37.6	0.0248

DTPC: Downhill turning prevention control, JDA: Joystick displacement amount, $JDVA$: Joystick displacement variation amount, YRA: Yaw rate amount, YDA: Yaw-angular displacement amount.

参考文献

- (1) Brubaker CE, McLaurin CA, McClay IS, Effects of side slope on wheelchair performance. *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 23, pp. 55-57, 1986.
- (2) 厚生労働省障害者自立支援機器等開発促進事業, 安全で使い勝手の良い簡易形電動車いすに関する開発, 平成22年度 総括・分担報告書, 2011.
- (3) Takei T, Suzuki Y, Matsumoto O, Adachi Y, Sasaki Y, Kamo M, Development of assistive technologies for safe operation of electric wheelchairs on sloping sidewalks and grade height differences. *Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)*, pp. 55-57, 2010.
- (4) Suzurikawa J, et al., Evaluation of Changes in Power Wheelchair Maneuver Induced by a Downhill Turning Prevention Control on Cross Sloped Surfaces. *IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.*, in press.
- (5) 硯川潤, 木下崇史, 加茂光広, 飯田教和, 岩田拓也, 松本治, 井上剛伸, 簡易形電動車いすのための片流れ検知・軽減走行技術による操作量変化の予測モデル構築. *ライフサポート*, in press.
- (6) Sorrento GU, Archambault PS, Routhier F, Dessureault D, Boissy P, Assessment of Joystick control during the performance of powered wheelchair driving tasks. *J. NeuroEng. Rehabil.* Vol. 8, art. # 31, 2011.