傾斜路面通行時の移動支援機器の手押し動作負担を軽減する 制動補助装置の開発

長瀬浩明（長野県情報技術試験場）

Development of braking-assist system which reduce burden on care provider of wheelchair
and so on when passing through the inclined road

Hiroaki Nagase (Information Technology Research Institute of Nagano Prefecture)

1. はじめに

車いす等の使用者（介助者を含む）が片流れ傾斜路面等を無理なく安全に通行できるようにするため、車体の姿勢をコントロールする制動補助装置を開発した。本装置は前後・左右方向の傾斜角に応じ、車いすの車輪に左右非対称な制動力をかけることにより、傾斜方向へ車体が流される挙動を押さえるものである。開発した装置を市販の車いすに搭載し、介助者の筋活動量により装置の効果を検証した。

2. 傾斜路面における車いすの運動特性

傾斜路面上の車いすには常に斜面下方向へ重力が作用しているため、これに抗して直進を維持しようとするすると介助者は左右非対称の力を加え続ける必要がある。筆者らのこれまでの研究¹⁾によると、横断勾配を通行する際、たとえば左に傾斜している路面であれば、介助者は右側（以降便宜的に山側）のハンドルを右腕で手前に引きつけながら手首の捻り操作を加えて舵取りをしていると考えられる。一方、傾斜の下方に位置する左側（同様に谷側）のハンドルには左腕をこわばらせて支えながら推進力を加えていると考えられる。つまり、無意識に山側の車輪にブレーキをかけながら前に進んでいくことになるが、この微妙な舵取り動作が介助者に身体的・心理的負担を与えていると思われる。

この片流れ現象を機械的にコントロールし介助者の舵取り動作負担を軽減する方策としては、前輪キャストの回旋角を制御する方法や、電動車いすのように車輪をモータで駆動させる方法などが挙げられるが、我々は操舵制御のしやすさに加えてコスト面や生産性の観点から、傾斜に応じて駆動輪に制動力を加えることで重力の影響を相殺し、操作に必要な力を平地同様左右対称に近づけて舵取りの負担を軽減させる方法を試みた。

3. 制動補助装置の試作

傾斜角センサにより車いすの姿勢を検出し、電磁ブレーキにより制動トルクを発生させることにより横断勾配における片流れ現象を防止する車いす用制動補助装置を試作した。

ブレーキには、電氣的なトルク制御が容易で、小型で大トルクを得やすいパウダクラッチ[小倉クラッチ社製 OPB10N]を利用した。クラッチのトルク制御は専用コントローラ[小倉クラッチ社製 OTA1200]への外部入力電圧により行う。

水平面上で電源を投入し、一定時間、傾斜角センサユニットのリファレンスを行う。リファレンス終了後、傾斜角センサユニットからの入力信号を元に、路面傾斜角、車輪に与えるべきトルクの順で演算を行い、結果をD/Aポートへ出力して各車輪の負荷を制御する。角度のサンプリング周波数は10Hzである。

4. 制動補助装置の評価実験

4. 1 実験の概要

試作した制動補助装置の効果を検証するため、車いすを押す介助者の上肢の筋電図を計測し、筋活動量により試作品の評価を行った。比較対象として装置を付けない同型の車いす（ベース車）を用意し、次の条件で実験を行った。

- 1) 車いす：試作車とベース車は寸法が同じで重量が異なる。被介助者を含めた重量はそれぞれ91.9kg, 73.4kgである。
- 2) 被験者：成人男性1名（30歳）
- 3) 傾斜路：傾斜角6°（左勾配）、長さ4.8m
- 4) 歩調：65/min
- 5) 歩行条件：表1に示す5パターンについて計測
- 6) 試行回数：1条件につき10回

4. 2 筋電図の計測と評価方法

4. 2. 1 計測方法

上肢の左右一対で3カ所の筋電図を計測した。前述のとおり、横断勾配で谷側へ流される状況でこれを修正して直進を維持するためには、谷側ハンドルを押し山側ハンドルを捻る操作が必

要であり、介助者はハンドルを操作する前腕・手首への負荷を強く感じていることがわかっていいる。このため被計測筋として、ハンドル操作に関わる前腕の2筋（撓側手根伸筋と撓側手根屈筋）、およびハンドルを押す際に活動する上腕二頭筋を選んで表面筋電図を記録した。

4. 2. 2 評価方法

各筋の活動量として筋電積分値（iEMG）の時間平均値を用いた。歩き始めの数秒間は各筋とも活動が大きくなるが、4秒以降の範囲では安定し、定常歩行とみなせることから、4～9秒の5秒間について整流化と積分を行い、iEMGを算出した。これを単位時間あたりに換算した値を定常歩行時の筋活動量とした。

次に試行ごとのばらつきが最も小さかった条件A（試作車・平地）での平均値により、この値の正規化を行い、これを「正規化筋活動量」として定義した（次式）。

正規化筋活動量

$$= \text{iEMG} / (\text{試作車平地歩行時のiEMG平均値})$$

4. 3 結果と考察

4. 3. 1 条件による筋活動パターンの違い

図1に各条件における筋活動のパターンを示す。これは各筋の正規化筋活動量について、10試行の平均値を示したものである。制動の有無による活動パターンの違いは以下のとおり。

1) ベース車 勾配

- ・ 谷側については活動が比較的小さい。
- ・ 山側は前腕伸筋のみ突出している。

2) 試作車 勾配（制動なし）

- ・ 谷側は上腕・前腕とも活動量大きい。
- ・ 山側はベース車とよく一致している。

3) 試作車 勾配（制動あり）

- ・ 左右の上腕筋のみ活動が大きい。
- ・ 前腕の4筋はほぼ平地と同じレベルで大きな活動は見られない。

4. 3. 2 横断勾配における制動の効果

図1に示すとおり、横断勾配時の筋活動の特徴として、谷側の上腕と、山側の前腕伸筋の強い活動が挙げられる。これは前述の「谷側ハンドルを押し、山側ハンドルをひねる操作」に相当するといえる。補助装置により制動を加えた場合と加えない場合を比較すると、筋の活動パターンの違いは明らかで、補助装置を使用する

表1 歩行条件

	平地	横断勾配	
		制動なし	制動あり
試作車	A	B	C
ベース車	D	E	--

図1 歩行条件による筋活動パターンの違い

と両側とも前腕の活動が平地レベルに小さくなり、一方で上腕の活動が大きくなっている。このことから、補助装置によって操舵のために「前腕をひねる」操作が必要なくなり、一方で「両腕で押す」操作力が増していると考えられる。

補助装置の操作感は、「谷側に流れる不安がないが、全体的に重い」というもので、これは上記のような筋の使い方の違いを反映した感覚であるといえる。

5. まとめ

路面傾斜を瞬時に検知し、左右の駆動輪の制動トルクを電磁ブレーキにより個々に制御する車いす用の制動補助装置を開発した。

同装置の効果を使用時の表面筋電図を計測して評価した結果、横断勾配であってもほぼ平地と同様に直進性を維持しながら操作できることを確認した。

なお、本研究の一部は平成13～14年度に中小企業庁の産学官連携促進事業の助成を受けて実施した。

参考文献

- 1) 長瀬浩明, 浜淳, 北野哲彦, 相澤淳平, 吉田健二: 「動作特性にもとづく車いす等の傾斜路面適合化技術」, 長野県情報技術試験場研究報告, No.18, 6-10, 2002