

# 健常者の車いす上り坂走行動作に及ぼす身体動作制限の影響

三上ゆみ\* 中村孝文\*\* 田内雅規\*\*\*

**要旨** 健常者に障害を模した動作制限を課して車いすによる上り坂走行をおこなった場合の動作に及ぼす影響を検討した。C8-T1レベルの脊髄損傷を想定して体幹の固定と足底を浮かせる動作制限を健常者に課し、車いすで上り坂を走行する際の動作、トルク、筋電図を測定した。その結果、制限を加えると①ハンドリム駆動時間が長くなること、②ハンドリムの把持位置を後ろにとる動作範囲が減ること、③体幹筋活動は抑制されること、④下肢関節角度を固定して後方転倒防止のバランスをとる代償動作をすることが分かった。これらより、今回の運動制限により筋活動の抑制も見られるが、同時に代償行動も生じていることが示唆された。

**キーワード**：車いす、脊髄損傷、障害、駆動、上り坂

## I. 緒言

近年、我が国では高齢者や障害者に対する移動環境の改善を目指したまちづくりが推進されてきている。平成18年にはバリアフリー新法<sup>1)</sup>が施行され、新設施設のバリアフリー基準への適合義務や既存施設の適合努力義務を定めると共に、バリアフリー基本方針において車両、道路、公園、建築物等のより高い水準でのバリアフリー化の目標を定めている<sup>2)</sup>。施策の具体化に当たっては、障害者や高齢者の当事者の参加のもとで環境を検証整備し、継続的なチェックを行ってPDCAサイクルによる整備状態のスパイラルアップを図ることが国の責務とされている。

実際の環境評価に際しては、当事者による評価が有効であるが、PDCAの各サイクルの都度、参加者を確保することは難しい。その場合には、健常者が車いすに乗車して状態の確認を行うこともある。また、社会人や学生を対象にした福祉教育の取り組みの中で、あるいは施設設置管理者による職員等への教育訓練として健常者が障害を体験する機会も積極的に設けられるようになってきている。このような健常者が車いすに乗車して評価や体験を行う場合には、障害による制約がないために当事者の動作限界や心理的負荷を正確に再現できず、適切な評価や体

験につながらない懸念がある<sup>3,4)</sup>。

近年、このような問題に対して健常者に動作制限を施すことで障害者の動作に近づける研究がなされている<sup>5,6)</sup>。中村ら<sup>7)</sup>は健常者の車いすによる上り勾配走行では、体幹を積極的に前傾させ、重心を前方に移動させることを報告している。朝原<sup>8)</sup>は健常者による車いす操作時に体幹を前傾しないよう指示すると、上り勾配での走行速度の低下が起こることを報告している。これらの報告より、例えば、前傾ができない重度の脊髄損傷者の車いす利用としてその運動機能的特徴を施すなど、ある障害を想定した疑似的動作制限を健常者に課すことで、より有効なデータ収集や体験ができる可能性がある<sup>9,10)</sup>と推察される。

こうした可能性はあるものの、これまでの報告は麻痺を想定したものであっても片麻痺を表現した片手片足駆動と両手駆動との比較などであり<sup>8,9,10)</sup>、具体的に障害を想定して上肢、下肢や体幹の運動を制限すること等の検討はまだなされていない。

そこで本研究では、健常者の車いす操作時に障害を擬似的に再現するような動作制限の技法を開発することを目的とし、その基礎資料を得るために、想定した動作制限が走行動作や心理にどのような影響を及ぼすのかを明らかにすることを課題とした。制

\* 新見公立短期大学地域福祉学科

\*\* 岡山県立大学保健福祉学部保健福祉学科

\*\*\* 岡山県立大学保健福祉学部（現：大学教育開発センター）

〒718-8585 岡山県新見市西方1263-2

〒719-1197 岡山県総社市窪木111

〒719-1197 岡山県総社市窪木111

限の影響が出やすい走行環境には、上り坂、下り坂、段差乗り越えなどがあるが、今回は、上り坂についてのパイロットスタディとして、C8-T1レベルの脊髄損傷を想定し、上肢は機能するが、下肢と体幹が全麻痺であることを模擬した動作制限を健常者に課した場合の影響を動作面について調べることとした。

## II. 方法

### 1 被験者

成人健常者5人(19.2 ± 0.4歳、体重53.2 ± 11.4kg、身長158.2 ± 11.2cm)を被験者とした。ここで、被験者の体格が変わっても膝関節角度が90度を保つように座面クッションの厚さを調整し、足関節角度は約80度を保つようにした。被験者の技能は、走行路中に置いた高さ2cm、奥行き30cmの段を前輪上げで乗り越え可能なこと及びウィリーした状態での30秒の静止と2mの前方移動ができることを条件とした。

### 2 身体動作制限の方法

今回、身体動作制限を課すに当たりC8-T1レベルの脊髄損傷で、上肢は運動可能であるが体幹や下肢は麻痺状態であることを想定した。そこで、(1)車いす操作時に体幹の前傾・後傾動作ができず、(2)フットレスト踏みしめ動作が出来ない状態を創り出すこととした。下肢については、フットレストを取り外し、レッグサポートの外側にカバーを取り付け、両下腿を開脚させた状態で下腿を下垂できるようにした(図1)。体幹については、伸縮性のないさらし布で両肩を纏掛けにバックレストのフレームに固定し、また腹部をベルトでバックレストのフレーム下部に固定した。この処置により、肩関節は外旋し、胸を張った状態でフレームに固定されるため、上肢の肩回りの動きは制限を受け、体幹の前傾も出来なくなる。そのため、ハンドリムの把持範囲は制限がない場合(約105度)から約60度狭くなった。これらをまとめて身体動作制限(以下、動作制限)と称することとした。

### 3 実験装置

走行路：幅90cm × 長さ360cmの合板製の走行路を作製し、角度をつけてスロープとした。勾配は2.4度(1/24)、3.4度(1/17)、3.8度(1/15)、4.8度



図1 実験セットアップ

(1/12)、5.2度(1/11)、5.7度(1/10)の6種類とした。走行路の両側端には立ち上がりを設けて走行路からの逸脱に対する安全策を施した。

トルク計測用車いす：駆動輪に掛かるトルクを計測するために、自走式車いすを改装してトルク計を装備した<sup>7)</sup>。トルクは50HzにてPCに取り込んだ。

筋電図：Ag-AgCl皿電極にて導出した筋電図は、生体アンプ(BIOTOP-6R12、NEC三栄)で増幅後(5~500Hz, 60dB)、1kHzでPCに取り込んだ。記録部位は、上肢については腕橈骨筋(ハンドリムを把持する前腕部を回外させる)、上腕三頭筋(肘関節を伸展してハンドリムを押し出す)、大胸筋(肩関節の水平内転や腕の屈曲)、三角筋後部(肩関節の伸展)とした。また下肢では大殿筋(股関節伸展)、大腿直筋(股関節屈曲及び膝関節伸展)、外側広筋(膝関節伸展)、腓腹筋(足関節底屈)、体幹では腹直筋(前傾)及び脊柱起立筋(後傾)とした。

### 4 実験手順

被験者は実験者の‘スタート’の合図でハンドリムを駆動して上り走行した。自由な動作で操作させるために、被験者には上・下肢や体幹を意図的にリラックスさせるなどの指示はしなかった。試行は6勾配各3試行の計18回行い、勾配角度はランダムな順序とした。各被験者は制限がない場合(以下‘制限なし’)と制限がある場合(以下‘制限あり’)の両方を行なった。

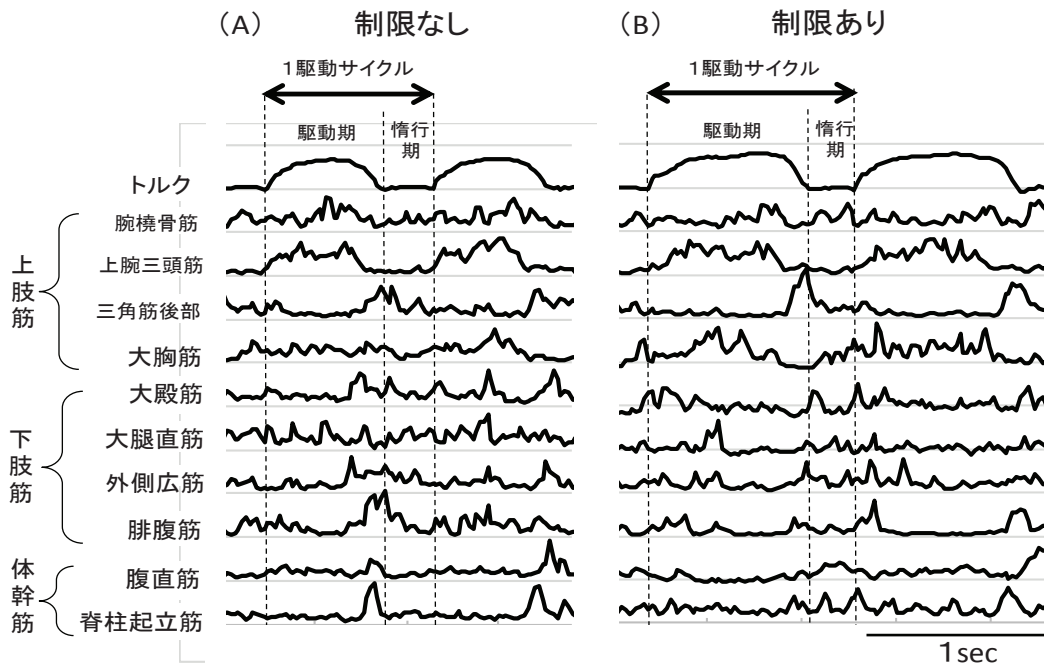


図2 スロープを上る際の制動トルクと上・下肢及び体幹筋の筋電図パターン  
(A) 制限なしの場合、(B) 制限ありの場合。スロープ勾配 5.7 度 (1/10)

## 5 データ解析

トルク：駆動し始めてから次に駆動し始めるまでを1駆動サイクルとし、1サイクルをハンドリムを把持している駆動期と、開放している惰行期に分けて解析した。解析は駆動が安定しておこなわれている連続3サイクルについて行った。

筋電図：筋電図を整流し、20msec毎に平均して積分筋電図を求め、駆動期及び惰行期の時間平均値を最大随意筋収縮値で除して、%MVCで表した<sup>11)</sup>。

## 6 統計処理

1標本 $t$ 検定を用いて駆動期、惰行期における‘制限あり’と‘制限なし’の比較を、緩勾配(2.4度、3.4度、3.8度)、急勾配(4.8度、5.2度、5.7度)で行った。有意水準は5%とし、10%以下は傾向有りとした。

## 7 倫理的配慮と安全性の確保

被験者にはヘルシンキ宣言に基づいて実験の趣旨、方法(具体的動作、アンケート内容、実験時間)を書面と口頭にて十分に説明し、更に個人情報厳守される旨を伝えた。また、実験時は車いすの後ろと側面に補助者を配置して安全を確保した。本実験は新見公立大学倫理委員会の承認を得た(承認番号47)。

## III. 結果

### 1 身体動作制限と駆動トルク及び筋活動パターン

#### 1) 駆動トルクパターン

勾配5.7度における‘制限なし’と‘制限あり’のトルク例をそれぞれ図2(A), (B)各1段目に示した。‘制限なし’では1サイクルは約0.9秒で駆動期は約0.65秒、惰行期は0.25秒程度であった。駆動期のトルクパターンは、急な立ち上がりで開始し(初期)、次いで徐々に緩やかな増加となり(前期)、ピーク付近でプラトーを示した(中期)。中期後は緩やかに減少し(後期)、最後は急な減少を示した(終期)。

‘制限あり’でも‘制限なし’と同じパターンであったが、1サイクル期間が1.2秒と‘制限なし’より長い点が異なった。これは中期が長くなったため、‘制限あり’では駆動に力を入れる時間が長くなることが示された。

#### 2) 上肢筋活動パターン

‘制限なし’の下肢筋活動パターンを図2(A)2～5段目に示した。腕橈骨筋は中期以降に活動がみられ、後半の押し出しに寄与していることが示された。上腕三頭筋のパターンはトルクと類似しており、前輪の押し出しに前腕伸展が主にかかわっていることが示された。三角筋後部は駆動終期から惰行

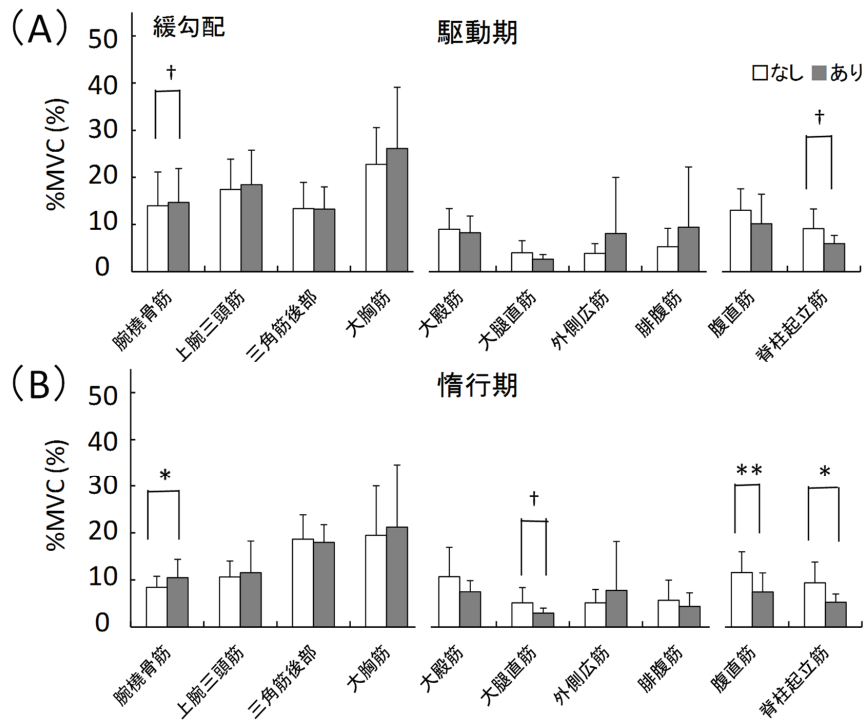


図3 緩勾配における制限なしと制限ありの筋活動量の比較  
(A) 駆動期、(B) 惰行期。\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , †  $p < 0.1$

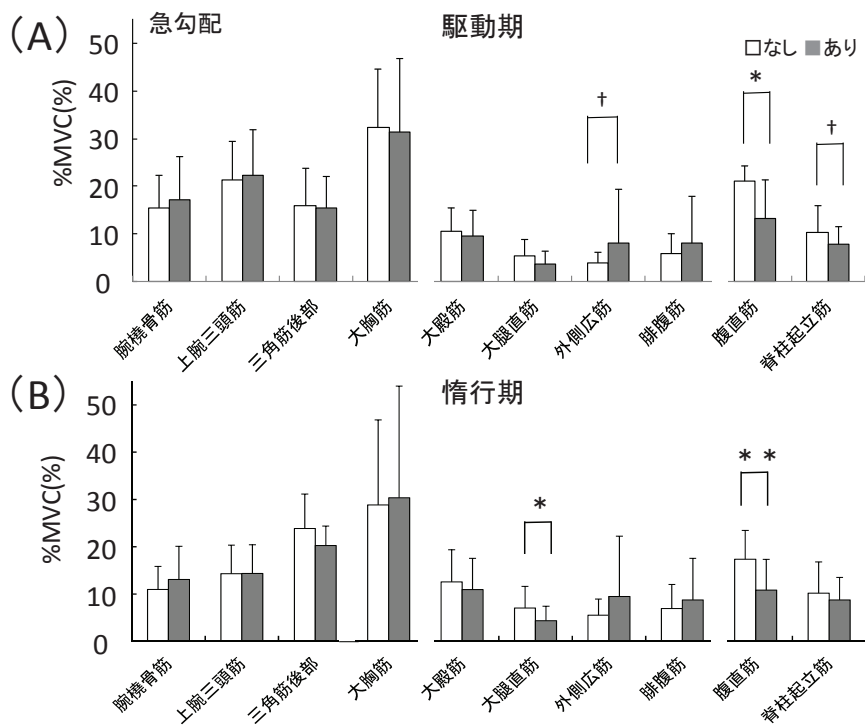


図4 急勾配における制限なしと制限ありの筋活動量の比較  
(A) 駆動期、(B) 惰行期。\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , †  $p < 0.1$



初めにかけて活動し、次の駆動サイクルのハンドリム把持に備えていると予想された。大胸筋は上腕三頭筋と似た活動であり、両者が協働していることが示された。

‘制限あり’ではどの筋も概ね‘制限なし’と類似していたが（図2(B)2～5段目）、三角筋後部は駆動終期から惰行初めにかけての活動の増加と減少が‘制限なし’より急峻であった。

### 3) 下肢筋活動パターン

‘制限なし’の場合の下肢筋活動パターンを図2(A)6～9段目に示した。大殿筋は駆動終期に活動し、大腿直筋は駆動期、惰行期共に活動を示した。外側広筋は駆動期後半から惰行期前半にかけて、腓腹筋は駆動期前半及び駆動終期に活動した。駆動初期はハンドリムを押し始め、駆動終期は最後の押し出しの時であるが、大殿筋、外側広筋、腓腹筋が駆動初期や終期に活動することから、その時の足底でのフットレストの踏みしめや上体起こし動作に寄与していることが窺えた。

‘制限あり’を図2(B)6～9段目に示した。大腿直筋には駆動期、惰行期ともに規則的な活動はみられなかった。外側広筋、腓腹筋、大殿筋は、駆動期前半と終期に活動を示しており、等尺性収縮による下肢関節角度固定動作が生じていることが示された。

### 4) 体幹筋活動パターン

‘制限なし’の体幹筋活動を図2(A)10～11段目に示した。腹直筋、脊柱起立筋ともに駆動終期に活発な活動を示した。このとき下肢筋群も活発に活動しており、下肢筋と協働して姿勢保持に作用していることが示された。

‘制限あり’を図2(B)10～11段目に示した。腹直筋は駆動初期と惰行期に活動がみられ、脊柱起立筋は惰行期に活動がみられた。惰行期は体幹を後傾させる時期であるが、体幹は制限されているため、反射的に筋活動が起こったと考えられた。

## 2 身体動作制限の筋活動量への影響

### 1) 上肢筋活動量

身体動作を制限することで上肢筋の活動パターンに変化が見られた。そこで、動作制限が筋活動量に及ぼす影響を調べるため、平均筋活動を‘制限あり’と‘制限なし’で比較した。緩勾配での結果を図3に、急勾配での結果を図4に駆動期と惰行期に分けて示した。

腕橈骨筋は緩勾配では、駆動期と惰行期ともに‘制限あり’の方が大きかった。駆動時のハンドリム押し出しは前腕を回外させながら行うが、勾配が緩やかでも回外の力がより必要である可能性が示された。他の筋については、差はみられなかった。

### 2) 下肢筋活動量

制限が下肢筋活動量に及ぼす影響を調べるため、各筋について‘制限あり’と‘制限なし’で比較した。

大腿直筋は緩・急勾配とも惰行期の活動が‘制限あり’のほうが小さかった。この筋は、‘制限なし’では駆動期も惰行期も緊張しているが、制限により惰行期での緊張が減ることが示された。外側広筋は急勾配の場合、駆動期で‘制限あり’の方が大きい傾向を示した。‘制限あり’では駆動終期から惰行期にかけて下肢関節角度の固定動作が観察されるため、それに関係する筋活動が観察できた。

### 3) 体幹筋活動量

制限が体幹筋活動量に及ぼす影響を腹直筋と脊柱起立筋について比較した。

腹直筋については、緩勾配の場合、惰行期で‘制限あり’が有意に小さく、急勾配では駆動期と惰行期の両方で‘制限あり’が小さかった。脊柱起立筋は緩勾配の場合、駆動期と惰行期の両方で‘制限あり’が小さく、急勾配では駆動期で‘制限あり’が小さかった。体幹は‘制限あり’ではバックレストに固定されていて自由な前傾、後傾動作が出来ないため、筋活動が減ることが示された。

## IV. 考 察

健常者が障害を模した動作制限をした‘制限あり’条件で車いす走行を行った場合、‘制限なし’の場合と筋活動に違いがみられた。この違いの理由と制限技法の可能性及び限界について身体部位ごとに考察する。

上肢：今回の上り坂のように、走行に負荷が予想される場面では、駆動回数を少なくして効率を上げるために、上腕を出来るだけ後ろに引き、体幹を後傾させてハンドリムの出来るだけ後方を把持して一回の駆動角度を大きくする<sup>12, 13)</sup>。想定したC8-T1レベル脊髄損傷者では、上腕の後方への引き動作は問題ないが体幹後傾はできず、駆動角度は狭くなると予測される。惰行期での三角筋後部の活動は制限により減少する傾向が見られたことから、上腕の後方への引きが少ないと考えられた。

また想定した障害者では駆動力が弱いと勢いよく駆動できない。ゆえに、駆動は時間を長くすると仮定されたが、‘制限あり’では駆動期間は長くなっており、仮定どおりの結果であった。

把持力の少ない障害者は、ハンドリムを把持する代わりにハンドリムを車軸側に押し付けて駆動する<sup>14)</sup>。これはハンドリムに回転力を伝えにくい方法である。今回はハンドリム把持に制限を課さなかったが、この点は今後考慮すべきと考えられた。

下肢：‘制限なし’では惰行期にフットレストの踏みしめを行い、その反力を体幹を起こすのに利用していたが、これは実際の障害者には出来ない動作である。‘制限あり’では踏みしめが出来ないことから、腓腹筋、外側広筋、大殿筋に活動はみられないと仮定した。しかし、実際は外側広筋、大腿直筋、腓腹筋、大殿筋には僅かに筋活動がみられた。この理由としては次のことが考えられた。即ち、ハンドリム駆動時は前輪が浮きやすくなり、後方転倒の可能性が生ずる。それをなくすために、下肢関節角度を固定させてバランスをとろうとしたものと考えられた。しかし、実際の障害者では肢筋を活動させることはできないため、今回の制限技法の限界の一つと考えられた。

体幹：‘制限なし’ではハンドリムを押し出す際の体幹固定に腹直筋と脊柱起立筋を活動させ、駆動で前傾した体幹を引き起こすには脊柱起立筋を活動させていた。想定したレベルの脊髓損傷ではこの動作は出来ないが<sup>15)</sup>、制限により両筋の抑制はある程度表現出来た。しかし、それでもなお若干の筋活動がみられたことから、バックレストを高くして肩回りの固定をより完全にすると必要があると考えられた。

## V. まとめ

健常者に対して脊髓損傷を想定して下肢及び体幹の障害を表現する制限を施した場合の動作への影響を、上り勾配を走行する場面について調べた。その結果、制限により筋活動の抑制はみられるが、下肢関節角度固定等の代償動作も生ずることが分かった。

今後は、駆動や操作の困難さや不安感などの心理面から動作制限の影響を評価すること、ハンドリム把持の工夫や体幹固定をより完全にし、得られた知見を障害者と比較して、制限技法による障害動作の再現可能性を追求することが課題である。

## 文献

- 1) 国土交通省. 「高齢者、障害者等の移動等の円滑化の促進に関する法律」(平成18年法律第91号)
- 2) 移動等円滑化のために必要な旅客施設又は車両等の構造及び設備に関する基準を定める省令(抄)平成18年12月15日、国土交通省令第115号.
- 3) 白石光昭、佐川明日香 (2006). 車いす用経路(スロープ)勾配の再検討～女子学生を中心として～. 小山工業高等専門学校研究紀要、38: 147-152.
- 4) 高野純一、青村茂、菊池恵美子、新田收、鈴木健太郎 (2008). 急停車と急発進における車いす搭乗者の身体挙動と筋活動のコンピュータシミュレーション. 日本保健科学学会誌、11(3): 125-137.
- 5) 川村次郎、後藤義明、堀野吉則、川村 慶、林義孝、丸橋佐和子他 (2003). 障害を模擬する補装具(障害模擬補装具)—障害の体験と研究支援のためのツール—. 日本義肢装具学会誌、19(2): 149-155.
- 6) 川村次郎、堀野吉則、後藤義明、川村 慶、林義孝、丸橋佐和子 (2004). 研究支援ツールとしての障害模擬補装具. バイオメカニズム、17: 207-216.
- 7) 中村孝文、北濱由佳、田内雅規、平田宏一、宮崎恵子 (2007). 上下肢の筋電図および身体動作から見た健常者による車椅子操作特性の検討. 人間工学、43(6): 329-340.
- 8) 朝原早苗、関健志、山本澄子 (2008). 上り勾配における手動車いすの駆動負担率について. 第29回バイオメカニズム学術講演会論文集: 265-268.
- 9) 徳田良英 (2009). 車いすの下り勾配における身体負担に関する実験研究. 福祉のまちづくり研究、11(1): 40-47.
- 10) 徳田良英、小林由香、坂口祥子 (2009). 下り傾斜路における車いす駆動の身体負担. 帝京平成大学紀要、20(1): 9-14.
- 11) 酒井医療. 2. 表面筋電図の計測と解析. わかる! 表面筋電図、2017.8.30. <http://www.sakaimed.co.jp/special/kinden/kinden06.html>.
- 12) 小林由香、坂口祥子、徳田良英 (2008). 車いすでのスロープ下り走行に関する動作筋電図による解析. 第43回日本理学療法学会大会抄録集、48.

- 13) Boninger M. L. (2005). Pushrim biomechanics and injury prevention in spinal cord injury. Recommendation on CULP-SCL investigations. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42: 9-20.
- 14) 北村昭子、岩谷力編 (2005). 車椅子ツインバスケットボール競技指導書 —頸髄損傷者を対象に—. *リハビリテーションマニュアル*, 16: 7-8.
- 15) Hoppenfeld S. (1978). 津山直一訳 (2007). 整形外科医のための神経学図説 —脊髄・神経根障害レベルのみかた・おぼえかた、南江堂.

## Effects of physical movement restriction of able-bodied subjects on behavior incurred while ascending on ramps by a wheelchair

YUMI MIKAMI\*, TAKABUN NAKAMURA\*\*, MASAKI TAUCHI\*\*\*

*\*Department of Community Welfare, Niimi College, 1263-2 Nishigata, Niimi, Okayama, 718-8585 Japan*

*\*\*Department of Welfare System and Health Science, Faculty of Health and Welfare Science, Okayama Prefectural University, 111 Kuboki, Soja, Okayama, 719-1197 Japan*

*\*\*\*Department of Welfare System and Health Science, Faculty of Health and Welfare Science, Okayama Prefectural University, 111 Kuboki, Soja, Okayama, 719-1197 Japan*

*(present address: University Educational Development Center, Okayama Prefectural University)*

**Abstract** This study examined how the movements of able-bodied people using wheelchairs to travel up an incline were affected by the physical movement restriction that mimicked those caused by a disability. Movement restrictions were imposed on five subjects by immobilizing their trunks and lifting their feet to mimic the mobility effects of C8-T1 level spinal cord injuries; their movements, torque, and electromyography were then measured as they traveled up an incline in a wheelchair. The results showed that when these restrictions were added (1) subjects spent more time pushing the handrims, (2) the range of positions in which they were able to grasp the handrims behind themselves decreased, (3) activity in the muscles of the trunk was inhibited, and (4) subjects immobilized their leg joints for balance to prevent falling backwards. These findings demonstrate that while the mobility restrictions caused some inhibition of muscle activity, they also produced substitute behaviors at the same time.

**Keywords** : wheelchair, spinal cord injury, impairment, driving, upward ramp