

C6A レベルで車の運転が可能な頸髄損傷 1 症例の ハンドル操作時の代償運動

西田 征治*1 杉原 素子*2

*1 県立広島大学保健福祉学部作業療法学科

*2 国際医療福祉大学保健学部作業療法学科

2006 年 9 月 12 日受付

2006 年 12 月 12 日受理

抄 録

一般に運転困難と言われている C6A レベルで自動車の運転を日常的にしている 26 歳の男性頸髄損傷者 1 名の自動車運転時のハンドル操作における代償運動の特徴を明らかにした。運転中と停車中のハンドル操作の分析および停車中のハンドル旋回トルクの測定を行った結果、重度に麻痺した肩関節内転筋による運動を避けて肩の屈曲運動や肩甲帯の挙上運動によってハンドル旋回ができるように、体幹を側方に倒したり、回旋させていることが明らかになった。これらの代償運動は、必要最小ハンドル旋回トルクを超えるだけの力を発揮することができる有用な方法といえた。しかし、必要最小ハンドル旋回トルクを上回ることができない代償運動があることも明らかになった。これらの結果から、C6A 頸髄損傷者が自動車を運転する際には、自身の適応困難な運転状況を把握することが重要であることが示唆された。

キーワード：脊髄損傷，代償運動，自動車運転，ハンドル操作

I 緒言

頸髄損傷者が自動車を運転するのに必要な技能の1つに片手によるハンドル操作があげられる。この操作には手首、肘や肩の運動に関与する筋の筋力の影響が大きい。そのため一般的には Zancolli の分類で C6B レベルが運転自立の上限であるといわれている¹⁾。C6A レベルより高位の頸髄損傷者が普通自動車を運転することは難しいとされている。しかし、我々は C6A レベルで代償運動を用いながら日常的に自動車を運転している男性(以下、A氏)を知る機会を得た。そこで今回、A氏のハンドル操作における代償運動に着目し、その特徴を明らかにするとともに、有用性について検討を行った。

なお、本稿では代償運動とは、主動作筋の筋力低下を補う補助筋の活動(トリックモーション)という狭義の意味だけではなく、竹内ら²⁾が述べているように、他の身体部分を使用することによる目的動作の達成をも含む広義の意味で使用している。

II 目的

目的はA氏のハンドル操作時の代償運動についてその特徴を明らかにすること及びそれらの代償運動の有用性をハンドル旋回トルクの観点から考察することであった。また、頸髄損傷者の社会参加の向上を図るためのひとつの介入方法について示唆を得ることであった。

III 対象

今回対象としたのは26歳の男性で、上肢の残存機能は Zancolli の分類で C6A レベルである。Frankel の分類では A (運動・知覚喪失) に該当する。四肢の関節には特に可動域制限は認められない。上肢の主な徒手筋力検査(以下 MMT)の結果を表1に示す。手関節の背屈筋力、肩の内転筋力が弱く、肘伸展筋が完全に麻痺している。また、頸部の運動や肩甲帯の挙上、伸展運動は MMT で5レベルである。日常生活活動の能力は Barthel Index で35点。ベッド上での寝返り、起き上がりは全介助の状態。ベッド上の移動は手袋をすれば多少可能。ベッドと車椅子の間の移乗は全介助の状態。食事、整容は自助具を使用して自立している。上衣更衣はベッドにもたれかかれば部分的に可能である。自己導尿はベッド上と車椅子上で可能。その他入浴や排便などの日常生活活動に多くの介助を要する。受傷約7年5ヶ月後に普通自動車運転免許を取得。運転の経験は約3年である。なお、対象者には本研究の目的と内容を説明し同意を得た後に本研究に協力をいただいた。

表1 A氏の上肢の徒手筋力検査(MMT)の結果

関節運動	右	左
肩屈曲	4	4
肩外転	4	4
肩水平外転	3	2
肩外旋	3	2
肘屈曲	4	4
前腕回外	4	4
手背屈	3	3

関節運動	右	左
肩伸展	3	3
肩内転	2	2
肩水平内転	2	2
肩内旋	2	2
肘伸展	0	0
前腕回内	0	0
手掌屈	0	0

IV 方法

1 使用機器とハンドル旋回トルクの測定方法

本研究では実際に即した測定を行うため A氏が日常的に使用している自動車(1998年式米国製、右ハンドル)を使用した。この自動車にはハンドル旋回装置(縦型)、手動アクセルブレーキレバー、棒座つき体幹ベルトが装着されている。旋回装置は直進走行の状態にしてハンドルの4時の位置に取り付けてある。この位置で手を固定すると前腕は回内外の中間位となる。旋回トルクを測定するためにハンドルの12時の位置に新たに旋回装置を取り付けた(図1)。そこにマイクロ FET2(日本メディクス社製)を押し当てハンドルに対する接線方向の旋回力(F)を測定した。ハンドルの中心から測定用旋回装置の中心までの距離は0.175mであった。ハンドル旋回トルク(T)を、 $F \times L = F \times 0.175 \text{ (N} \cdot \text{m)}$ で求めた(図2)。



図1 12時の位置に測定用旋回装置を取り付けた図

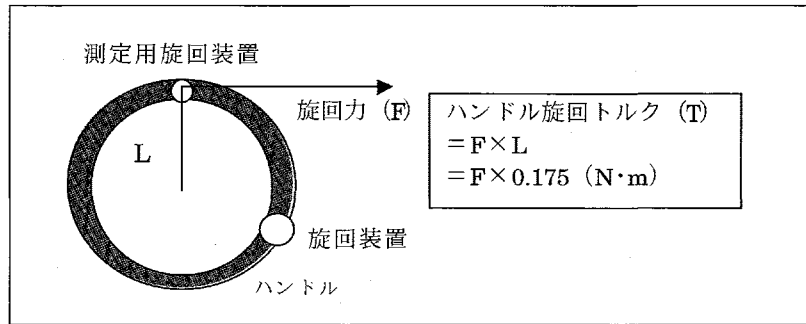


図2 ハンドル旋回トルクの求め方

ハンドル旋回トルクの測定は代償運動が見られた位置やA氏が力の入らないと訴えた位置にて行うこととした。測定手順は、①運転席へ移乗し右手をハンドルの縦型旋回装置に固定する。②ハンドルを数回動かして旋回しやすい位置にシートを調節する。③検者がマイクロFET2を測定用旋回装置にあてがいハンドルが回らないように保持し、A氏がそれをブレイクする方法でハンドル旋回力を測定するとした。測定は各位置において15秒間の休憩を入れながら5回ずつ行った。また、パワーステアリングが作用するようにエンジンをかけた状態で行った。

2 代償運動の特定

A氏の代償運動を特定するため運転中と停車中のハンドル旋回動作をビデオに撮影した。運転中は左後方から撮影し、停車中は右後方から撮影した。それらの映像をもとにハンドル旋回時の代償運動を定性的に分析した。

3 代償運動の抑制

A氏は週に2～3回の頻度で自動車を運転しており、ハンドル旋回時には何も指示しなければ体幹や左上肢の代償を無意識的に使用する。初めに最大努力でハンドルを旋回するように指示しこれを代償運動ありの場合とした。体幹や左上肢を使わないように指示し、それらによる代償運動を使用しないとき、あるいは代償運動が見られそうになったときの値を代償運動無しの場合とした。

V 結果

1 反時計回りのハンドル旋回時の代償運動

走行中、左折をする際に最も大きな代償運動がみられた(図3)。左手でアクセルブレーキレバーを押して減速した後、2時付近で右肘を完全に伸展した状態から頭部・体幹を左側へ大きく倒しながら勢いよく反時計回りにハンドルを旋回し、すぐに頭部を立ち直らせていた。そのとき左上肢は傾いた身体を支えるためアクセルブレーキレバーから離れて助手席側面に当てられていた。

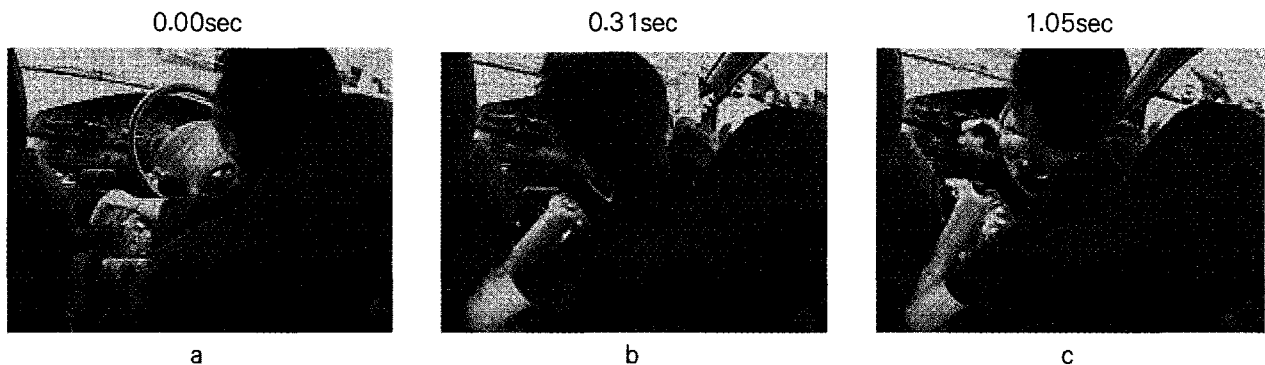


図3 反時計回りの旋回時の代償運動 (走行時)

- a. 左手でアクセルブレーキレバーを押して減速
- b. 右手が2時付近に来たときに左側に倒れ込みながら勢いよくハンドルを反時計回りに旋回する。
- c. ハンドル旋回しながら頭頸部を立ち直らせる

2 時計回りのハンドル回転時の代償運動

停車時のハンドル旋回動作の映像を分析した結果、時計回りのハンドル旋回では、右手が5時～7時の位置に来たときに最も大きな代償運動が見られることが分かった(図4)。この位置では、一度、右肩を外転

位にしたのち腕の重みを利用して内転する運動や、左側に少し頭、体を傾ける運動、肩甲帯の挙上・下制運動、左側に体を回旋させる運動、後頭部をヘッドレスト部分に押し当て身体が後方に押し戻されないようにする代償運動が見られた。

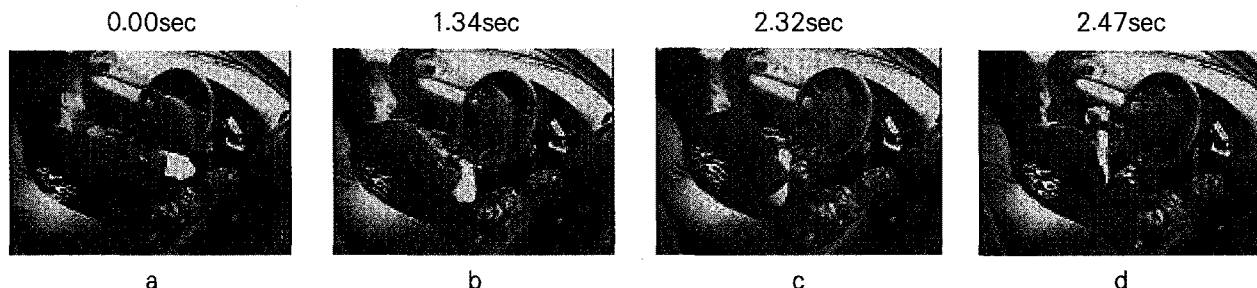


図4 時計回りの旋回時の代償運動(停車時)

- a. ハンドルを少し反時計回りに戻しながら右肩を外転位にし、腕の重みを利用して内転していく。
- b. 頭、体を左側に傾けると同時に右肩甲帯を挙上していく。
- c. 体を左側に回旋しながらハンドルを旋回していく
- d. 後頭部をヘッドレストに押し当て身体が元の位置に戻るのを防ぎながら、肩甲帯の下制と肩の屈曲を利用して肘を伸展していく

停車した状態からハンドルを時計回りに旋回しながら発進する場合は右手のみでは旋回困難であり両手を必要とした(図5)。また、時計回りの旋回では、右

手が10.5時(10時と11時の間)付近にあるとき体幹の安定性を補うために左手でアクセルブレーキレバーを押す動作(図6)が認められた。



図5 右手の旋回力を左手で補う代償運動



図6 左上肢で姿勢の崩れを防ぐ動作

3 ハンドル旋回トルクの測定結果

代償運動が見られた時および力が入らないと訴えた時の右手の位置として、時計回りでは5時、6時、9時、10.5時、12時、2時の位置が特定され、反時計回りでは4時、6時、9時、10.5時、12時、2時の位置が特定された。それらの位置において、代償運動を用いた場合と用いなかった場合でハンドル旋回トルクを測定した。その結果を表2、表3に示す。なお、今回使用した自動車の必要最小ハンドル旋回トルクは4.6N・mであった。

代償運動を用いなかった場合、時計回りの旋回の5時、6時、反時計回りの旋回の2時、12時では必要最小ハンドル旋回トルクを超えることができなかった。これらは、いずれも右肩の内転方向の運動であった。このうち5時の位置のみ代償運動を用いても、必要最小ハンドル旋回トルクを超えることができなかった。また、時計回りの10.5時では、左上肢による体幹の安定性を得るための代償運動を用いても必要最小ハンドル旋回トルクを超えることが出来なかった。

表2 時計回りにおけるハンドル旋回トルク
(単位: N·m)

旋回位置	C6A 代償運動無	C6A 代償運動有
5時	3.8 ± 0.5 *	1.0 ± 1.2 *
6時	3.2 ± 0.3 *	5.0 ± 0.5
9時	5.8 ± 0.3	9.8 ± 0.3
10.5時	0.0 ± 0.0*	3.0 ± 0.4 *
12時	4.9 ± 0.4	4.9 ± 0.6
2時	9.7 ± 0.6	9.2 ± 2.0

* 必要最小ハンドル旋回トルク (4.6N·m) 以下の値

表3 反時計回りにおけるハンドル旋回トルク
(単位: N·m)

旋回位置	C6A 代償運動無	C6A 代償運動有
4時	10.0 ± 0.6	8.7 ± 0.4
2時	3.3 ± 1.0 *	7.2 ± 1.4
12時	0.0 ± 0.0 *	5.7 ± 0.9
10.5時	10.3 ± 0.6	10.2 ± 0.3
9時	11.2 ± 0.2	10.6 ± 0.5
6時	9.3 ± 0.2	9.2 ± 0.6

* 必要最小ハンドル旋回トルク (4.6N·m) 以下の値

VI 考察

1 特徴的な代償運動

1) 肩内転筋麻痺の影響

結果で示したように、A氏のハンドル操作には左側に倒れながら反時計回りに旋回するという特徴が見られた。そのような代償運動を用いる理由として、①自身の体重を利用できること、②体を傾けることで右肩の水平内転運動ではなく前方拳上と肘の屈曲運動になることがあげられる。もう1つの特徴的な代償運動として、時計回りの6時付近で体幹を左に回旋する動作や肩甲帯を拳上する動作がみられたが(図4b,4c)、これもMMTで2レベルの弱い肩の内転筋力を代償するために行っていると考えられる。Mitarai³⁾は、C6B I ~ C6B IIIの頸髄損傷者11名のハンドル旋回トルクを測定し、反時計回りの3時から10.5時の間の値が2.94N·m以下であったと報告している。つまり、C6Aよりも上肢機能が良いC6B頸髄損傷者においても肩の内転方向にハンドルを旋回することが困難であることを示している。一般にC6A頸髄損傷者では肩内転の主動筋である大胸筋の作用は期待できないため^{4,5)}、上記に示した代償運動を利用できるようになることがハンドル操作能力を習得するための鍵になる。

2) 肘伸展筋麻痺の影響

時計回りの7時付近では頭部をシートに押しつける運動がみられたが、これは完全麻痺した肘伸展筋の作用を肩の屈曲運動(MMTで4レベル)で代償することによって体が押し戻されるのを防ごうとしているためである。松本ら⁶⁾は、Work Simulatorを使用して肘伸展筋が麻痺したC6B IおよびC6B IIの4名のハンドル旋回トルクを測定した結果、時計回りの7.5時付近で最小値を示したと報告している。しかし、A氏はこの位置で特に力が入らないとは訴えておらず停車時にもハンドルを旋回することができている。この旋回力の差は、A氏が頭部の伸展による代償運動を利用できるシートを使用していること、肩の内転運動を必要としない方法で行っていること、および肩の屈曲力の違いによると推察される。

2 ハンドル操作における代償運動の有用性について

ハンドル操作における代償運動の有用性を「代償運動を用いてハンドルを旋回する力を発揮できること」と定義すると、2時付近で左側に倒れ込みながら反時計回りに旋回する方法や時計回りの6時付近で頭部、体幹を左側に傾けると同時に肩甲帯を拳上していく代償運動はハンドルを旋回するのに必要な力を発揮できるので有用な方法といえる。逆に、時計回りの5時の位置で見られた右肩を外転させる代償運動は必要最小ハンドル旋回トルクを超えることが出来なかった。従って、停車時のハンドル旋回には有用な方法とは言い難く、両手でのハンドル操作方法(図5)を身につけることが必要になる。なお、この右肩をいったん外転位にする代償運動は主に、代償運動無しの場合にみられた。これは代償運動抑制の方法として体幹および左上肢を使用しないようにと指示したのが一因である。それ故、時計回りの5時の位置では、代償運動無しの場合のトルク値が代償運動有りの場合のそれを上回ったと推察される。時計回りの10.5時における左手でアクセルブレーキレバーを押して体幹の安定性を得ようとする代償運動も必要最小ハンドル旋回トルクを超えるだけの効果を発揮し得なかったことから有用性が低いと言える。この原因の1つは右肩からの距離が最も遠く右肘が完全に伸展した状態になり、時計回りにハンドルを旋回しようとする上部体幹が左前方に崩れようとする力が働くことである。また、C6Aの特徴でもある手関節の背屈力の弱さも一因である。今回使用している旋回装置が縦型であるため10.5時から時計回りに旋回する際には手関節の背屈を伴うが、手関節の背屈力が徒手筋力検査で3レベルしかないためハンドルに抵抗がかかると手関節が掌屈してしまい右肩の屈曲・外転力をハンドルに効率よく伝えることができなくなるためである。

これら代償運動の有用性は絶対的なものでなく、個々のハンドルの必要最小ハンドル旋回トルク(抵抗値)によって相対的に変化するものである。例えば、C6頸髄損傷者のハンドルには1.3kg以下の小さな力で旋回できるものが適しているとする考えもあり⁷⁾、

そのようなハンドルを使用することで、今回みられた全ての代償運動が有用となりうる可能性がある。しかし、健常者においてはハンドルの抵抗値が2kg以下の場合、軽すぎて不安との意見があることから⁸⁾、頸髄損傷者においてもハンドルの抵抗値が小さければ良いとは言い難い。従って、個々の事例に応じて適切なハンドルの抵抗値と有効な代償運動を検討していくことが肝要である。

3 ハンドル操作が可能になる条件

近年国内でも、ハンドル操作、アクセル・ブレーキ操作が操縦桿1つで可能なシステムが開発され実用化されている⁹⁾。しかし、改造費が一般的に使用されている手動装置を取り付ける場合と比べると高額であることから、頸髄損傷者においては、まずは普通自動車に従来の改造¹⁰⁾を行いハンドル操作能力の習得を目指すことが順当では無からうか。そこで、A氏の残存機能やハンドル操作方法から、C6A頸髄損傷者が普通自動車のハンドルを操作するために必要な最低条件を推察すると以下のことがあげられる。

1) 身体機能および技能の側面

- ・ 上肢や頭部を使用して、素早く体幹を側屈したり立ち直ったり、回旋したりする技能
- ・ MMTで4レベル以上の肩の屈曲・外転筋力

2) 自動車環境の側面

- ・ 反時計回りの旋回で上腕二頭筋が効率よく働くように縦型旋回装置を使用すること
- ・ 体幹の代償運動を妨げないようにして体幹ベルトを装着すること
- ・ シートの位置を右手が2時の位置に来たときに肘伸展位になるように調節すること
- ・ シートはバケットタイプで体幹が安定するものを選び、ヘッドレストは後頭部を押しつけられる高さに調節すること

4 予想される運転困難な状況

今回の結果からA氏には次のような運転困難な状況が推察される。

- ・ 左折の際に左手をアクセルブレーキレバーから放さなければならないことから、峠などカーブのきつい下り道でブレーキをかけながら走行すること。
- ・ 交差点などで右手が10.5時の位置で停車した状態から、更に回旋しながら右折発進すること、あるいは車をよけるためにその位置からハンドルを時計回りに急旋回することや急ブレーキをかけること。
- ・ 右手が5時の位置で停止した状態から素早く右折発進すること、あるいはその位置からのハンドル急旋回すること。

土嶋は⁹⁾、自動車運転シミュレーション装置を使用して頸髄損傷者の模擬運転操作を評価した結果、C6頸髄損傷者では走行速度が速くなればなるほど、とっさの反応(緊急時のブレーキ操作)時の空走時間・停止時間が増大したと述べている。A氏においても人や車の飛び出しなどに対する急ブレーキ操作が困難な操作の1つと推察される。

VII 結論

一般に運転困難と言われているC6Aレベルで自動車の運転を日常的にしている26歳の男性頸髄損傷者1名の自動車運転時のハンドル操作における代償運動の特徴を明らかにした。その結果、主として極度に弱い肩の内転運動を避けて、肩の屈曲運動や肩甲帯の挙上運動を用いてハンドルを旋回できるように体幹を倒したり、回旋したりしていることが明らかになった。それらの方法はハンドルを旋回するのに必要な力を発揮することが出来る有用な方法であった。すなわち、自動車の運転が困難と言われているC6A頸髄損傷者が運転動作を習得するためには、今回示された代償運動を習得することが1つの解決策になる。しかし、代償運動の中には有用とは言い難いものもあることから、自身の対応困難な運転状況を把握することが重要であることが示唆された。

VIII 今後の課題

C6Aレベルの頸髄損傷者が自動車を実用的に運転できるようになることは高い到達目標の1つである。しかし、今回、事例を通して示した代償運動を習得することによってそれを達成しうる可能性があることが明らかになった。従って、今後はこれら代償運動を習得するために必要な身体的条件や環境的条件を検討し、訓練を含めた介入方法を確立することが課題である。また、ハンドル操作の有用性を旋回速度、切り返し、アクセルブレーキレバーとの協調した動き、急ブレーキなど多面的に検討していくことや代償運動を必要としない自動車運転装置について研究を進めていくことも課題である。

IX 文献

- 1) 山本真由美, 高木憲司. 頸髄損傷者の自動車改造について. 第5回脊髄損傷の作業療法研究会資料, 1999
- 2) 竹内孝仁, 細田多穂ほか. 体表解剖と代償運動. 医歯薬出版, 2001
- 3) Mitarai Kenji: Measurement of the car steering wheel turning force of persons with cervical cord injuries.

Journal of Human Ergology 21 : 57-67, 1992

- 4) 大橋正洋. 頸髄損傷の機能・能力と ADL. 作業療法ジャーナル 30 : 705-711, 1996
- 5) 浦上泰成, 植田尊善ほか. 頸髄損傷完全麻痺例の自動車運転. リハビリテーション医学 37 (11) : 853, 2000
- 6) 松本琢磨, 池田恭敏ほか. 頸髄損傷者の自動車ハンドル回旋能力の研究 —ハンドル回旋時の体幹固定具の有効性の検討—. 作業療法 14 (特別) : 222, 1995
- 7) 熊倉良雄. 身体障害者自動車, 総合リハ 31 (4) : 329-334, 2003
- 8) 土嶋政宏. 移動システム 脊髄損傷者の自動車運転シミュレーション, 総合リハ 20 (6) : 487-492, 1992
- 9) フジコン J ドライブシステム : <http://www.fujicon.co.jp/c-device/d14.html>
- 10) 津山直一・監. 頸髄損傷者のリハビリテーション, 国立身体障害者リハビリテーションセンターマニュアル. 協同医書出版 : 248-257, 1998

A Case Study of Compensatory Actions in Steering Wheel Operation by a Driver with a C6A Spinal Cord Injury

Seiji NISHIDA*¹ Motoko SUGIHARA*²

*1 Department of Occupational Therapy, Faculty of Health and Welfare,
Prefectural University of Hiroshima

*2 Department of Occupational Therapy, School of Health Science,
International University of Health and Welfare

Received 12 September 2006

Accepted 12 December 2006

Abstract

We studied the compensatory actions used for steering wheel operation by a driver with a C6A spinal cord injury. The driver was a 26-year-old man with a C6A level based on the classification by Zancolli. We analyzed his performance in operating the steering wheel and also measured the torque at which he turned the steering wheel. Then, we discussed the usefulness of compensatory actions from the point of view of steering wheel turning torque. The results indicated that he leaned to the left and rotated his upper body, using right shoulder flexion and elevation to avoid right shoulder horizontal adduction, because his shoulder muscles that adduct horizontally were severely paralyzed. We consider these compensatory actions to be a useful method, because the torque exceeds the minimum mechanical rotation torque of 4.6N·m. But we also found that some compensatory actions did not exceed the minimum mechanical rotation torque. These results indicated that it may be important for patients with a C6A cervical spinal cord injury to be aware of situations where they cannot adapt when driving a car.

Key words : spinal cord injury, compensatory action, car-driving, steering wheel operation