

平成 22 年 5 月 24 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20700463

研究課題名（和文）：

車いす操作ユニットの選定と個人への適合を支援する車いすシミュレータの開発

研究課題名（英文）：

Development of a wheelchair simulator that provides an optimal position of the handrim/lever

研究代表者

佐々木 誠（SASAKI MAKOTO）

岩手大学・工学部・助教

研究者番号：80404119

研究成果の概要（和文）：

本研究では、障害レベルや残存機能に応じた操作方式（ハンドリム、レバー）の選定と、その駆動位置・姿勢を最適化するための車いすシミュレータを開発した。本シミュレータは、ホイールベース長さ、トレッド幅、シート高さ、シート角、走行抵抗などを自由に制御可能であり、使用者の身体負荷を軽減するような、あるいは、残存機能を最大限に活かすような、車いすの実現に有効である。

研究成果の概要（英文）：

An adaptive simulator for a manual wheelchair to reduce the user's upper limb load during wheelchair manipulation and to increase the efficiency of wheelchair propulsion was developed. The developed simulator provides an optimal position of the handrim/lever and the desired angular position of the seat and backrest of the wheelchair based on the user's body function.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学 リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：(1)車いす, (2)人間中心設計, (3)残存運動機能, (4)生体負荷, (5)筋骨格モデル
(6)医療・福祉, (7)知能ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

車いす駆動に伴う最も深刻な問題は、身体負荷の増加や疲労の蓄積に伴う関節筋腱板や尺骨神経の損傷、関節変形、手根管症候群などの2次障害の発症である。車いす長期使用者の50%以上が経験するこれらの問題は、車いす使用者の身体機能や日常生活動作に影響を与えるだけではなく、自立的な行動意欲そのものを低下させる恐れがあるため、個々人の身体寸法と運動機能を的確に評価し、使用者に適した車いすを提供することが重要となる。

一方、車いす適合の現状は、車いす駆動に対する工学的な計測・評価技術の発展の遅れから、作業療法士や理学療法士の経験的な知識に頼らざるを得ない状態にあり、結果として、車いす使用者に施した適合とその効果に対する理論的かつ定量的な裏づけはなされていない。そのため、近年では、ハンドリム操作域、駆動速度、駆動力、関節角度などの運動学(運動力学)的指標や、心電位、筋電位、酸素摂取量などの生理学的指標を用いた車いす駆動の工学的評価が行われているが、駆動環境や適合状態、障害レベル、残存運動機能等に応じて評価結果が異なることや、車いす形状の調節や実験条件の設定に多大な時間と労力を有することなどから、具体的な適合指針は未だに構築されていない。また、計測システムおよび生体モデル解析の複雑さから、車いす使用者の生体内負荷に着目した駆動評価や個々人の残存運動機能に着目した操作性評価など、生体力学的観点からの研究も十分に行われていない。

2. 研究の目的

本研究では、個々人の障害レベルや残存機能に適した車いすの操作ユニット(ハンドリム式、レバー式など)の選定と、操作位置・姿勢の最適化を行なう車いすシミュレータを開発し、実験により本提案手法の有効性を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 車いすシミュレータの開発

個々人に適した車いすの選定とその調整を実施するためには、適合状態の異なる条件下での駆動データを取得し、それぞれの特徴を比較する必要がある。しかしながら、このような試行錯誤的な方法では、使用者および評価者に多大な負担と時間的拘束を強いるため、適合評価を短時間に効率良く行えるように、主要な調整箇所を自由に調整可能な車いすシミュレータを開発した(図1, 2)。

本シミュレータは、左右操作部(駆動輪)とシート部を切り離し、これらの相対位置関係や各部形状を電動式リニアアクチュエータで変化させることにより、シート高さ

(0.36~0.60 m)、トレッド幅(0.45~0.65 m)、ホイールベース長さ(バックレストパイプを基準に±0.15 m)、シート角度(0~30 deg)、背もたれ角度(30~100 deg)、走行抵抗(0~200 Nm)をコンピュータ制御可能とした。また、左右両輪にそれぞれモーターを組み込むことで、レバー式の内臓ギアや補助トルクの違いを表現できるようにした。さらに、操作ユニットであるハンドリムとレバーには、手先力を3次元計測するための6軸力覚センサを組み込み、駆動状態の正確な把握を可能にした。

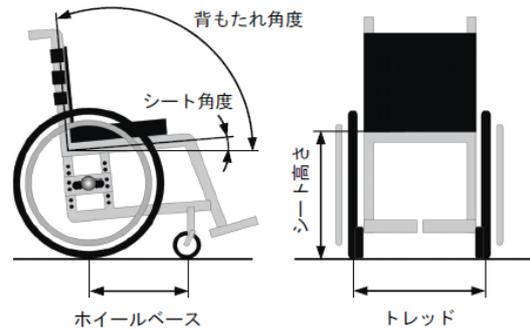


図1 主な適合パラメータ

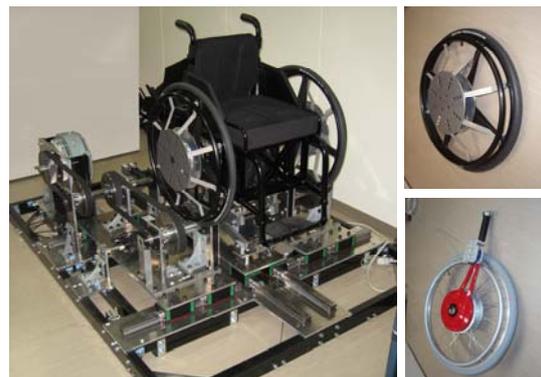


図2 車いすシミュレータ

(2) 身体モデル解析

車いす形状と身体負荷との関係を生体内力の観点から評価するため、駆動力と身体運動の計測値から、関節トルクと骨格筋の消費エネルギーを算出した。

関節トルクは、骨格筋の収縮・弛緩により生じる筋張力の変化が骨格のリンク機構を介して関節の回転力(トルク)に変換されたものであり、上肢7自由度剛体リンクモデルをニュートン・オイラー法で逆力学解析することにより、肩関節の屈曲・伸展 θ_1 、内転・外転 θ_2 、内旋・外旋 θ_3 、肘関節の屈曲・伸展 θ_4 、手関節の回内・回外 θ_5 、掌屈・背屈 θ_6 、橈屈・尺屈 θ_7 に関する各関節トルクを算出することができる。

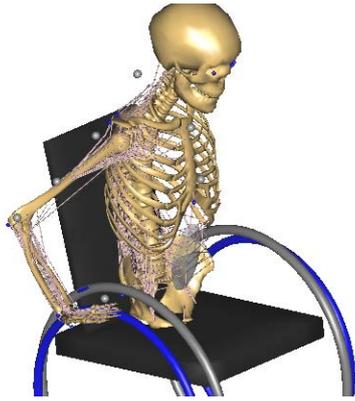


図3 筋骨格モデル解析

筋張力の推定には、図3のような筋骨格モデルを用いた。なお、人間の筋骨格系の構造上、関節の数よりも筋の数の方が多く、筋張力が一意に定まらないため、非線形計画法の一つである Beale の方法（最適化計算）を用いて関節トルクの値から筋張力を推定した。また、筋消費エネルギーの推定には、Hill が示した筋張力と筋収縮速度との関係に基づく江原らの手法を用いた。

(3) 適合評価実験

被験者は、健康男性（22歳，165 cm，50 kg）とした。操作ユニットには、6軸力覚センサ（ニッタ製 IFS-67M25T50-M40BS-ANA）を組み込んだレバー式を用い、上肢運動の計測には、磁気式3次元位置センサ（Polhemus 製 Fastrak）を用いた。駆動輪軸位置が、腕を真下に下ろした場合の指先と等しくなるシート高さを基準（条件A）とし、そこからシートを80 mm（条件B）、160 mm（条件C）高くした場合の上肢運動と駆動力を計測した。駆動計測は、停止状態からの10秒間駆動とし、被験者はその間、駆動速度がなるべく一定になるよう駆動を行った。また、従来法との比較のために、EMG信号計測も同時に行った。EMG信号計測には、テレメータ式筋電計（日本光電製 WEB-5000）を使用し、測定部位には小型生体電極（検出面直径5mm，日本光電製 NT-511G）を電極間隔30mmで取付けた。測定部位は、被験者の右側の橈側手根屈筋、長橈側手根伸筋、上腕二頭筋短頭、上腕三頭筋長頭、三角筋前部（鎖骨部）、三角筋後部（棘部）、大胸筋、広背筋とした。

4. 研究成果

(1) 適合性の評価

① 関節可動域

シート高さが条件AからCへと高くなるにつれて、肩関節の屈曲・伸展、手関節の回内・回外、掌屈・背屈、橈屈・尺屈方向の関節可動域が増加し、それ以外の肩関節の内転・外転、内旋・外旋、肘関節の屈曲・伸展方向の

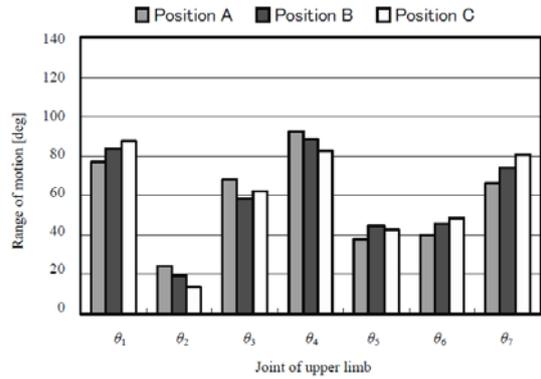


図4 シート高さと関節可動域の関係

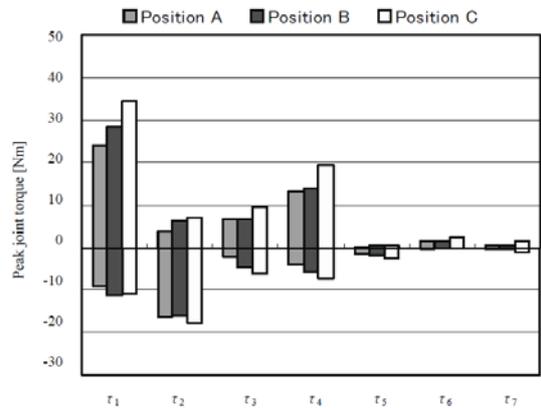


図5 シート高さと関節トルクの関係

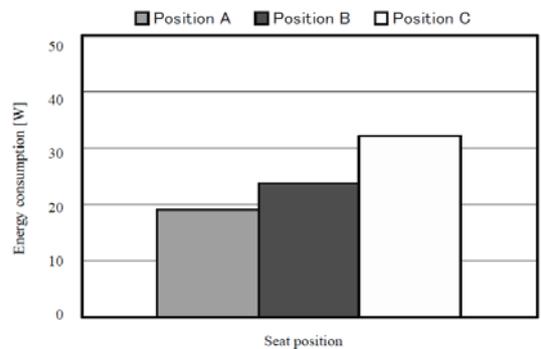


図6 シート高さと筋消費エネルギーの関係

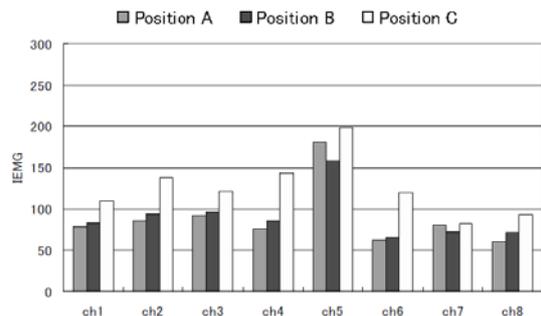


図7 シート高さと積分筋電位の関係

関節可動域は減少することがわかった(図4).
②関節トルク

肩関節の屈曲, 外転, 肘関節の屈曲方向の関節トルクが全体的に大きいピーク値を示した. また, シート高さが上昇し, レバーとの距離が増すにつれて, 他の関節トルクのピーク値も大きくなることがわかった(図5).

③筋消費エネルギー

シート高さが条件AからCへと高くなるにつれて, 駆動に要した筋消費エネルギーの総和が増加し, 関節トルクの結果と同様に身体負荷の増加がみられた(図6).

④積分筋電位

シート高さA, B, Cの中では, 基準位置としたAの場合が, 筋活動が最も少なく, 身体負荷の少ない駆動を実現できるという結果が得られた(図7).

⑤総合評価

身体モデル解析により推定した関節トルク, 筋消費エネルギー, 筋電位の結果より, シート高さAが最も身体負荷が小さく, B, Cとシートを高くするにつれて, 身体負荷が増加することがわかった. また, 定量評価(絶対評価)可能な身体モデル解析と, 従来法(相対評価)による筋電位評価の結果が同様の傾向を示したことから, 身体モデル解析が新しい適合性評価指標として有効に機能することが示唆された.

(2) リアルタイム適合の可能性

上述した身体モデル解析により, 車いす設計パラメータの一つであるシート高さや身体負荷との関係が定量的に示され, 車いす形状の最適化の意義と, 身体モデル解析結果を適合評価指標とした適合性向上の可能性が示唆された. そこで, より現実的な適合問題を取り扱えるよう, 図8のような適合条件を考え, シート高さ(車軸上下位置)とホイールベース長さ(車軸前後位置)を同時に考慮した適合評価実験を行なった. 被験者は, 健康男性(25歳, 175cm, 78kg)とし, 基準位置⑤は前回と同様に定義した. また, より精確な適合が行なえるよう, 駆動輪軸位置の前後上下方向への調整範囲はそれぞれ20mmとし, 走行抵抗(0.3Nm, 0.7Nm)の違いについても検討した.

図9の関節トルクの結果に着目すると, どちらの走行抵抗の場合においても, 前回と同様, シート高さを高くするほど身体負荷が増加することがわかり, また, 20mmの高さ調整だけでも身体負荷が有意に変化することが確認された. また, 前後方向に対しては, 有意差は認められなかったが, この理由としては, ホイールベース位置による転がり抵抗の影響が考えられる. 研究代表者がこれまでに実施した平坦路面上での駆動実験では, 車軸を前方に固定し, 重心に近づけるほど, 身



図8 駆動輪の取り付け位置

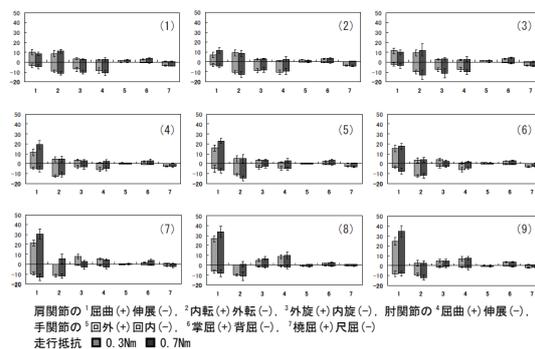


図9 駆動輪軸位置と関節トルクの関係

体負荷が少なく効率が良い結果が得られており, このような転がり抵抗の影響を十分にシミュレータに反映できていないことが原因の一つに考えられる. 今後は, これらの点を改善し, 車いす適合をリアルタイムに実施するためのシミュレータの知能化を図っていきたい.

(3) 総括と展望

本研究では, シート高さ, トレッド幅, ホイールベース長さ, シート角度, 背もたれ角度, 走行抵抗を自由にコンピュータ制御可能な車いすシミュレータを開発した. そして, 身体モデル解析による関節トルク, 筋消費エネルギーの推定結果より, 車いす設計パラメータと身体負荷との関係を明らかにし, 身体負荷を最小にする車いす最適化の可能性を実験的に示した.

本研究のように, 様々な駆動条件を再現できる車いすシミュレータを開発し, 個人に最適な駆動方式と車いす形状を短時間かつ効率的に探索しようとする研究は世界に類を見ず, 今後, 複数の設計パラメータを同時に考慮した適合評価実験を実施し, シミュレータの知能化を図ることで, 車いす適合指標の標準化や, 適合水準の向上に寄与できると考えられる.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

- ①佐々木誠, 木村匠, 松尾清美, 村田知之, 身体および環境との適合性向上を目的とした車いす駆動評価システムの開発, Research of Lowland Technology, 査読有, 18巻, 2009, pp.13-20
- ②佐々木誠, 松尾清美, 村田知之, シート高さに着目した足駆動車いすの適合評価, Research of Lowland Technology, 査読有, 18巻, 2009, pp.21-24
- ③Makoto Sasaki, Takumi Kimura, Kiyomi Matsuo, Goro Obinata, Takehiro Iwami, Kazuto Miyawaki, and Kazuo Kiguchi, Simulator for optimal wheelchair design, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有, Vol.20, No.6, 2008, pp.854-862
- ④巖見武裕, 佐々木誠, 宮脇和人, 島田洋一, 大日方五郎, 車いす駆動時の上肢運動評価システムの開発, ライフサポート, 査読有, 20巻4号, 2008, pp.27-34
- ⑤佐々木誠, 車いすの適合支援技術, 日本機械学会誌, 査読無, 111巻1075号, 2008, pp.514-515

[学会発表] (計3件)

- ①佐々木誠, 松尾清美, 村田知之, 佐藤郁郎, 巖見武裕, 大日方五郎, 車いすシミュレータを用いた適合支援に関する研究 (レバー式車いすの操作位置と身体負荷の関係), 第29回バイオメカニズム学術講演会, 2008年10月25日, 広島大学・広島県
- ②佐々木誠, 巖見武裕, 宮脇和人, 大日方五郎, 佐藤郁郎, 人にやさしい車いすのデザイン, 第65回形の科学シンポジウム, 2008年6月21日, 仙台電波工業高等専門学校・宮城県

[図書] (計1件)

- ①Makoto Sasaki, Takehiro Iwami, Kazuto Miyawaki, Ikuro Sato, Goro Obinata and Ashish Dutta, INTECH, Robot Manipulators New Achievements, Higher dimensional spatial expression of upper limb manipulation ability based on human joint torque characteristics, 2010, pp.693-718.

[その他]

ホームページ等

<http://www.mech.iwate-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 誠 (SASAKI MAKOTO)

岩手大学・工学部・助教

研究者番号：80404119