

身体的・精神的ストレスに着目した車いすの適合性評価

Adaptability Evaluation of Manual Wheelchair based on Physical and Mental Stress

○ 佐々木 誠 (岩手大) 嶋倉 知希 (岩手大)

大日方 五郎 (名古屋大) 山口 昌樹 (岩手大)

Makoto SASAKI, Iwate University
Tomoki SHIMAKURA, Iwate University
Goro OBINATA, Nagoya University
Masaki YAMAGUCHI, Iwate University

Key Words: Wheelchair, Optimal Design, Musculo-skeletal model, Biomarker, Salivary Amylase

1. はじめに

車いす駆動に関する研究の多くは、上肢痛や手根管症候群などの2次障害の発症リスク低減を主な目的としており、その評価には、駆動効率、関節トルク、筋張力、筋消費エネルギーなどの力学的指標が広く用いられている⁽¹⁾。しかしながら、これらの力学的評価の中に、乗り心地や漕ぎやすさなどの心理面に作用する影響を考慮することは難しく、使用者の身体的・心理的負荷を同時に最小にするような車いす設計手法は確立されていない。

本論文では、「心」と「体」に配慮した車いす設計を実現するための第一ステップとして、筋骨格モデル解析から得られる身体的負荷と、唾液アミラーゼ活性の分析から得られる生体ストレス反応とを比較した結果について報告する。

2. 方法と対象

2-1 被験者

被験者は、健康成人男性5名(22±0.7歳, 167.2±2.8cm, 60±4.6kg, Mean±SD)であった。本実験は、本学倫理委員会の承認を得た上、被験者に対する十分なインフォームド・コンセントの後に実施した。

2-2 実験プロトコル

実験時間は、安静10分、車いす駆動5分、安静25分の合計40分(午前10時~12時の間)とし、実験開始から終了まで2.5分おきに合計17回の唾液採取を行った。唾液採取には、使い捨て式のテストストリップを用いた。

車いす駆動は、ホイールベース長さ、シート高さ、トレッド幅、シート角、走行抵抗などを自由に変更可能な車いすシミュレータ上で(Fig.1)、毎分40回の駆動周期で、駆動輪の角速度を2rad/sに維持できるように、被験者に指示を与えた。駆動条件は、駆動負荷および駆動姿勢の影響を検討するため、以下の3条件とした。

- ① 腕を真下に下ろした時の指先位置と車軸位置が等しくなるようなシート位置。走行抵抗は3Nm(基準ST)
- ② ①に対して、走行抵抗を6Nmに変更(高負荷HL)
- ③ ①に対して、シート高さを50mm上昇(高位置HP)

これらの実験は、3日に分けて行い、各条件の間に2日間のインターバルを設けた。また、筋骨格モデル解析に必要な車いす駆動中の上肢運動とハンドリムに加えた駆動力は、3次元位置姿勢センサ(Fastrak; Polhemus Inc.)と6軸力覚センサ(IFS-45E15A250-I63-ANA, ニッタ(株))を用いてそれぞれ計測した。計測におけるサンプリング周波数は、25Hzとした。

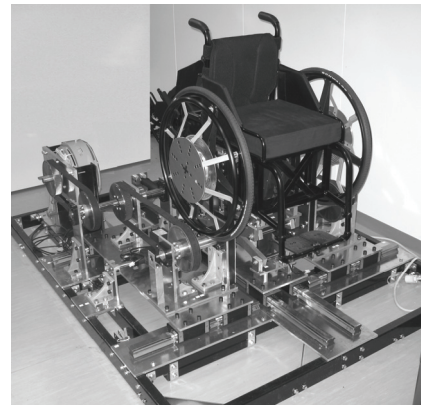


Fig.1 Wheelchair simulator.

2-3 身体的負荷の解析

上肢7自由度(肩関節の屈伸、内外転、内外旋、肘関節の屈伸、手関節の回内外、掌背屈、橈尺屈)を有する剛体リンクモデルを用いて、駆動に要した各関節トルクを上肢運動とハンドリム駆動力の計測値から逆動力学的に算出した。次に、上肢運動に支配的な10筋(上腕筋、三角筋前部、三角筋中部、三角筋後部、上腕二頭筋、上腕三頭筋短頭、上腕三頭筋長頭、大胸筋、橈側手根屈筋、橈側手根伸筋)を考慮した筋骨格モデルを用いて、関節トルクを生成した各筋の張力を最適化計算により推定した。最後に、江原らの手法⁽²⁾を参考に、各筋の消費エネルギーを算出した。

2-4 唾液アミラーゼ活性の分析

交感神経モニタ(α -AMY, ヤマハ発動機(株))を用いて、唾液の即時分析を行い、唾液アミラーゼ活性の定量を行った。唾液アミラーゼ活性は、不快な刺激では上昇し、快適な刺激では逆に低下することから、快適と不快を判別できる可能性が示されている⁽³⁾。

3. 結果

3-1 筋骨格モデル解析から得られた身体的負荷

Fig.2は、上肢10筋の消費エネルギーの総和を、被験者5名の平均値および標準偏差として示したものである。Tukey-Kramer法により多重比較を行った結果、走行抵抗が増すことで、筋消費エネルギーの平均値が1.4倍ほど有意に増加することが分かった。これに対して、シート位置を高くした場合には、筋消費エネルギーの減少が若干見られたものの、統計学的な有意差は認められなかった。

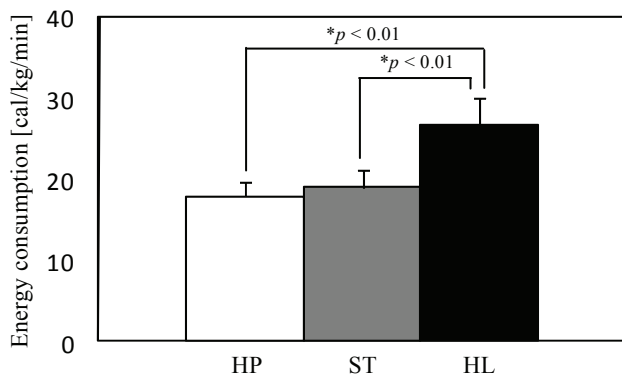


Fig.2 Energy consumption.

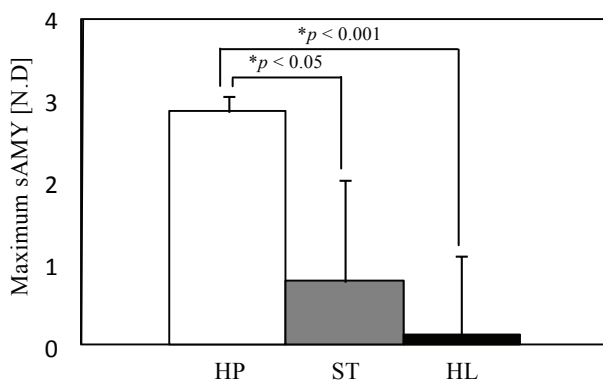


Fig.3 Maximum Salivary amylase activity.

3-2 唾液アミラーゼ活性に着目したストレス反応

車いす駆動という肉体的刺激を与えてから、唾液アミラーゼ活性が上昇するまでの時間には個人差があり、同一時刻の唾液アミラーゼ活性を比較しても、有意な差は見られなかった。そこで、個人毎に標準化した唾液アミラーゼ活性の最大値を、被験者 5 名の平均値および標準偏差として整理すると、筋消費エネルギーの結果からは見られなかったシート高さの影響が、統計学的な有意差として顕著に表れることがわかった (Fig.3)。

3-2 筋消費エネルギーと唾液アミラーゼ活性の比較

Fig.2, 3 の結果を比較すると、筋消費エネルギーが増加するほど、唾液アミラーゼ活性が減少しているように見てとれる。そこで、個人毎に標準化した筋消費エネルギーと唾液アミラーゼ活性との相関を計算すると、相関係数 $r = -0.57$ ($p < 0.01$) となり、両者の間に負の相関があることが示された。

一方、唾液アミラーゼ活性の最大値だけではなく、時系列データそのものにも、身体的負荷強度と関連する有益な情報が含まれていることも予想される。そこで、周波数分解能が高く、生体信号の周波数解析に適した最大エントロピー法を用いて、Fig.4 に示すような唾液アミラーゼ活性のパワースペクトル密度を計算した。そして、周期帯 (周波数帯) 毎にパワースペクトル密度の面積を計算し、筋消費エネルギーとの相関を調べたところ、筋消費エネルギーが増加するほど、周期 600 ~ 1200 [s] および 600 [s] 以下のパワースペクトル密度の面積が有意に減少することが示された (Table 1)。

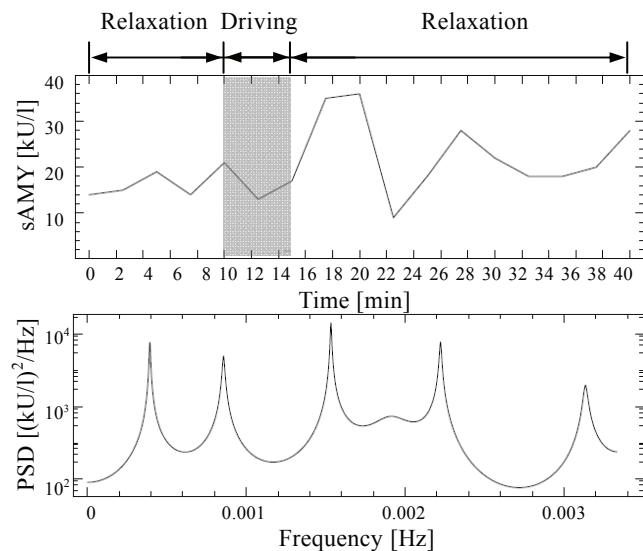


Fig.4 Salivary amylase activity and power spectral density.

Table 1 Correlation coefficient between energy consumption and power spectral density of salivary amylase activity.

Period [s]	Frequency [Hz]	Correlation coefficient
Over 1200	(Under 0.0008)	0.25 (NS)
600 ~ 1200	(0.0008 ~ 0.0017)	-0.52 ($p < 0.05$)
Under 600	(Over 0.0017)	-0.56 ($p < 0.05$)

4. おわりに

車いすのシート高さは、ハンドリムの操作性に影響を与える重要な設計パラメータの一つである。本実験では、基準条件の走行抵抗を小さく設定したため、シート位置を 50 cm 上昇させても、筋消費エネルギーに有意な違いは見られなかったが、唾液アミラーゼ活性の最大値を用いることで、力学的指標には表れにくい操作性の善し悪しを評価できる可能性が示唆された。また、唾液アミラーゼ活性の時系列データを周波数解析することで、ある周期帯のパワースペクトル密度の面積が身体的負荷の強度と負の相関を持つことが示された。今後は、被験者数を増やし、より多くの駆動実験を実施することで、車いす駆動における身体的・心理的負荷について更に検討を進める必要がある。

謝辞

本研究の一部は、平成 22 年度科学研究費補助金 [若手研究 (B) 22700572]、ならびに名古屋大学エコトピア科学研究所との共同研究として実施された。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- (1) M. Sasaki, T. Kimura, et al., Simulator for optimal wheelchair design, *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.20, no.6, pp.854-862, 2008.
- (2) Y. Ehara, M. Beppu et al., Muscular efficiency during walking, *Journal of the Society of Biomechanisms*, vol.9, pp.93-104, 1989.
- (3) M. Yamaguchi, T. Kanamori et al., Correlation of stress and salivary amylase activity, *Japanese Journal of medical electronics and biological engineering*, vol.39, pp.234-239, 2001.