

# 車いすの駆動様式における身体活動強度および駆動力の比較

岡本琉夏, 平田悠真

【目的】車いすの駆動方法における身体活動強度および駆動パフォーマンスを比較し、それぞれの特徴を明らかにすることである。【方法】若年健常者 16 名を対象とし、1 周 60m のトラックを快適速度で周回する課題を、①両上肢駆動、②両下肢駆動、③両上下肢駆動、④右上下肢駆動、⑤担送の 5 条件で各 6 分間実施した。慣性センサーから駆動力や駆動効率、駆動距離、また、間接熱量計より METs および NET を算出し、主観的な呼吸困難、上肢・下肢疲労感を修正 Borg Scale にて評価した。【結果】駆動様式によって駆動効率や身体活動強度は異なった。両上下肢駆動は、駆動力、駆動効率が高いパフォーマンスの良い駆動様式であることが明らかとなった。【結語】両上下肢駆動は高い推進パフォーマンスと比較的低い局所疲労を両立しうる駆動様式であり、上下肢機能が保たれる対象者では移動手段としてのみならず、身体活動量向上の手段として有用である可能性が示唆された。

## はじめに

### 1. 車いすの疫学

車いすは、歩行が困難な者にとって自立移動を可能にする重要な支援機器であり、国内外での利用者は約 8000 万人に至る<sup>1)</sup>。臨床場面では、疾患の発症や術後に多くの患者が車いす生活を余儀なくされ、その後は回復に応じて歩行生活への改善あるいは車いす生活が継続される。車いす使用者はその障害特性に応じて、多様な駆動様式を用いる。例えば、中等度あるいは重度片麻痺を呈する脳血管疾患患者で片側上下肢駆動、胸髄以上の脊髄損傷患者では両上肢駆動、虚弱高齢者や認知症患者では両上下肢駆動による自走あるいは担送が選択されることが多い。また、車いす駆動は安全な移動手段であることから、骨折リスクや転倒リスクを低下させる<sup>2)</sup>。一方、車いす使用者は日常生活のほとんどを座位で生活することから、身体活動量の低下を招き、筋力低下や運動耐容能の低下のみならず、脳卒中や虚血性心疾患、骨粗鬆症の発症率が増加することが報告されている<sup>3)</sup>。そのため、車いす使用者における身体活動強度の把握は重要である。

### 2. 車いすの身体活動強度研究の現状

車いす駆動における身体活動強度の先行研究では、脊髄損傷患者を主とした身体活動強度 (Metabolic equivalents: METs) が報告されている<sup>3-5)</sup>。しかしながら、前述の研究ではいずれも両上肢駆動のみに限定されている。また、駆動力に関する研究においてもホイールに慣性センサーを装着することで定量化することができるが、脊髄損傷者を主とした両上肢駆動に限られている<sup>6)</sup>。加えて、車いすの駆動様式の違いに着目した研究は散見されず、多様な駆動方法に対応した客観的な車いす駆動の身体活動強度や駆動力は十分に明らかになっていない。様々な車いす駆動様式におけるパフォーマンスの定量化することで、駆動方法間の違いのみならず、駆動効率が高い有用な駆動方法を同定することができ、車いす使用者の運動指導への活用が期待される。

### 3. 目的

以上のことから、本研究では車いすの多様な駆動様式における身体活動強度を間接熱量計を用いて調査するとともに、慣性センサーを用いて車いす駆動の駆動パフォーマンスを定量化し、駆動様式間の特性を比較検討することを目的とした。

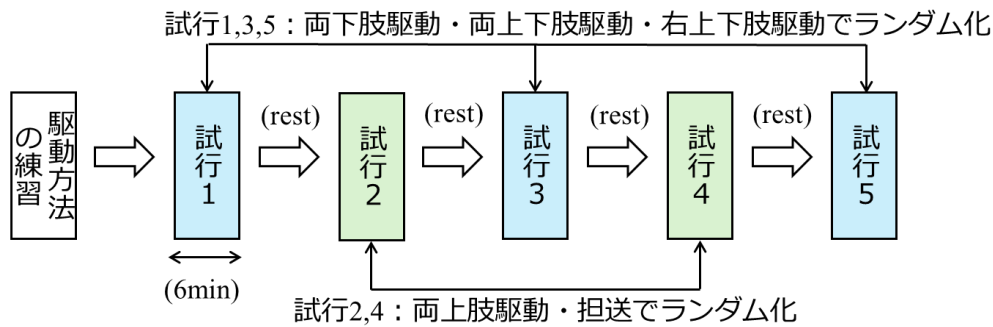


図1 実験プロトコル

## 対象と方法

### 1. 対象者

対象は若年健常者 16 名とした。包含基準は右利き, 18 歳以上, 除外基準は現病歴および既往歴に運動器疾患, 呼吸循環器疾患, 脳血管疾患を罹患している者, 疼痛を有する者, 精神障害を有する者とした。対象者には, 本研究の目的及び手順, リスクについて口頭および文書で十分に説明し, 書面にて同意を得た。本研究は, 長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号 25031301)。

### 2. 実験プロトコル

1 周 60m のトラックを快適速度で 6 分間周回する課題を実施した。条件は①両上肢駆動, ②両下肢駆動, ③両上下肢駆動, ④片側上下肢駆動, ⑤担送の 5 条件とし, 被験者内で全条件を実施した。駆動方法を統一するために, 両上下肢駆動では両上肢は同時に, 両下肢は交互に使用し, 両下肢駆動も同じく両下肢を交互に使用することを指導した。片側上下肢駆動は利き手である右上下肢を使用することとした。試行間は十分に休憩し, 修正 Borg スケールが 2 以下に回復した時点で次試行を行った。課題の順序は下肢の疲労感を考慮し, 1, 3, 5 試行目に両上下肢駆動, 両下肢駆動, 片側上下肢駆動のいずれか, 2, 4 試行目に両上下肢駆動, 担送のいずれかとする疑似ランダム処置を行った(図 1)。

### 2. 計測機器

慣性センサー(Ax6, Axivity 社製, UK)は加速度・角速度センサーが内蔵されており, サンプル周波数 100Hz,  $\pm 8g$ ,  $\pm 1000dps$  にて計測し

た。慣性センサーの装着位置は車いすの両ホイール, 両前腕遠位部, 両下腿遠位部の計 6 カ所とした。

間接熱量計(AT-1100, Anima 社製, 日本)により, 安静時および課題時の酸素摂取量, および二酸化炭素摂取量を計測した。



図2 計測機器の装着位置

慣性センサーは両ホイールおよび両上下肢に装着し(左・中央図), 間接熱量計は右図のように装着した

### 3. 評価項目

人口統計学的評価として, 年齢, 性別, 利き手, 身長, 体重, Body mass index (BMI)を聴取した。利き手はエディンバラの利き手テストを行い全員が右利きであることを確認した。

疲労感尺度として, 呼吸困難感, 上肢・下肢疲労感を修正 Borg scale を用いて評価を行った。

### 4. データ処理

駆動力指標として, 各慣性センサーから収集したデータに基づき, 一回の駆動おける最大角速度を駆動力, 一回の駆動におけるホイールの回転数を駆動効率, 6 分間の総移動距離を動距離として算出した。

身体活動強度指標として METs を用い, 間接熱量計の酸素摂取量データから算出した(式①)

$$METs = \frac{\text{課題時酸素摂取量(ml/min/kg)}}{\text{安静時酸素摂取量(ml/min/kg)}} \quad \text{--- ①}$$

また、駆動力に対するエネルギー費効率として機械的エネルギー効率(Net mechanical efficiency: NET)を用い、酸素摂取量および二酸化炭素摂取量からエネルギー消費量を算出し(式②)、駆動距離で除した(式③)。

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費量} &= (3.9 \times \text{VO}_2 + 1.1 \times \text{VC0}_2) \times 1.44 \quad \text{--- ②} \\ \text{NET} &= \frac{\text{エネルギー消費量(kcal/min)}}{\text{駆動距離(m)}} \quad \text{--- ③} \end{aligned}$$

### 5. 統計処理

各駆動様式における駆動力、駆動効率、駆動距離、自覚的疲労感、身体活動強度、機械的エネルギー効率を一元配置分散分析にて比較し、事後比較は Holm 法で多重比較補正を行った。有意水準は 5%未満とした。

## 結果

### 1. 人口統計学的評価

年齢、性別、身長、体重、BMI を表 1 に示す。

表 1 対象者背景

	全体 (n=16)	男性 (n=11)	女性 (n=5)
年齢, 歳	21.9±1.1	21.5±0.7	22.8±1.3
身長, cm	170.1±8.9	175.1±4.6	159.1±5.7
体重, kg	60.9±8.3	64.9±5.5	52.0±6.1
BMI, kg/m <sup>2</sup>	21.0±8.3	21.2±1.9	20.5±1.1

平均値 ± 標準偏差, BMI=body mass index

### 2. 駆動力指標

駆動力を示す最大角速度は、両上下肢駆動は両上肢駆動と比較して有意に高値を示した(図 3A)。

駆動効率では両下肢駆動は両上肢駆動・右上下肢駆動と比較して有意に高値を示した。また、両上下肢駆動は両上肢駆動と比較して有意に高値を示した(図 3B)。

駆動距離は、両上下肢駆動は両上肢駆動と比較して有意に高値を示した(図 3C)。

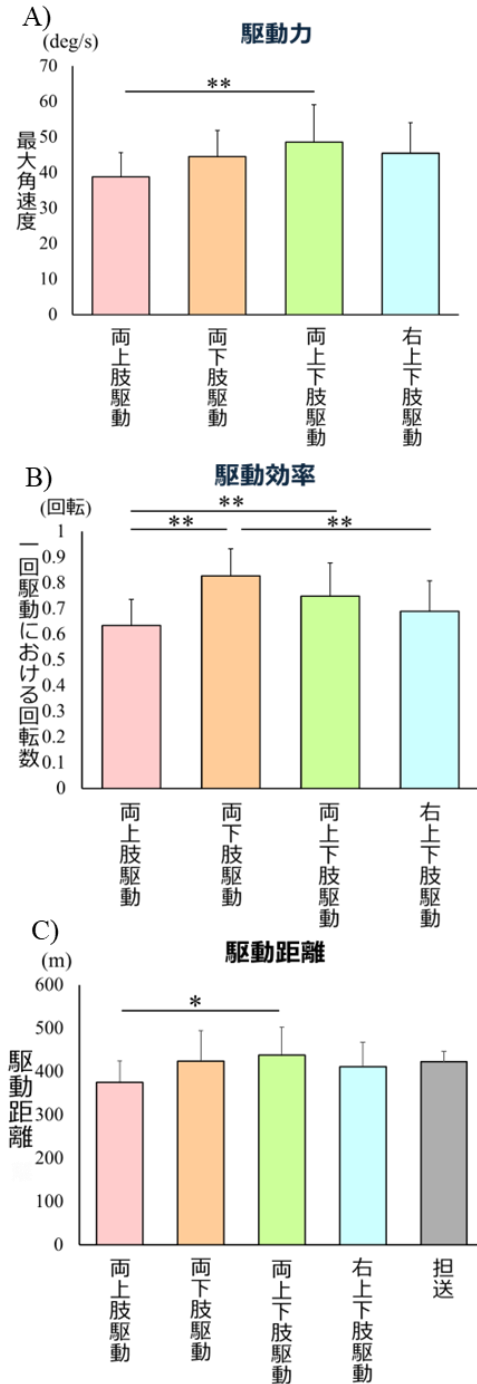


図 3 駆動力指標

\*: p < 0.05

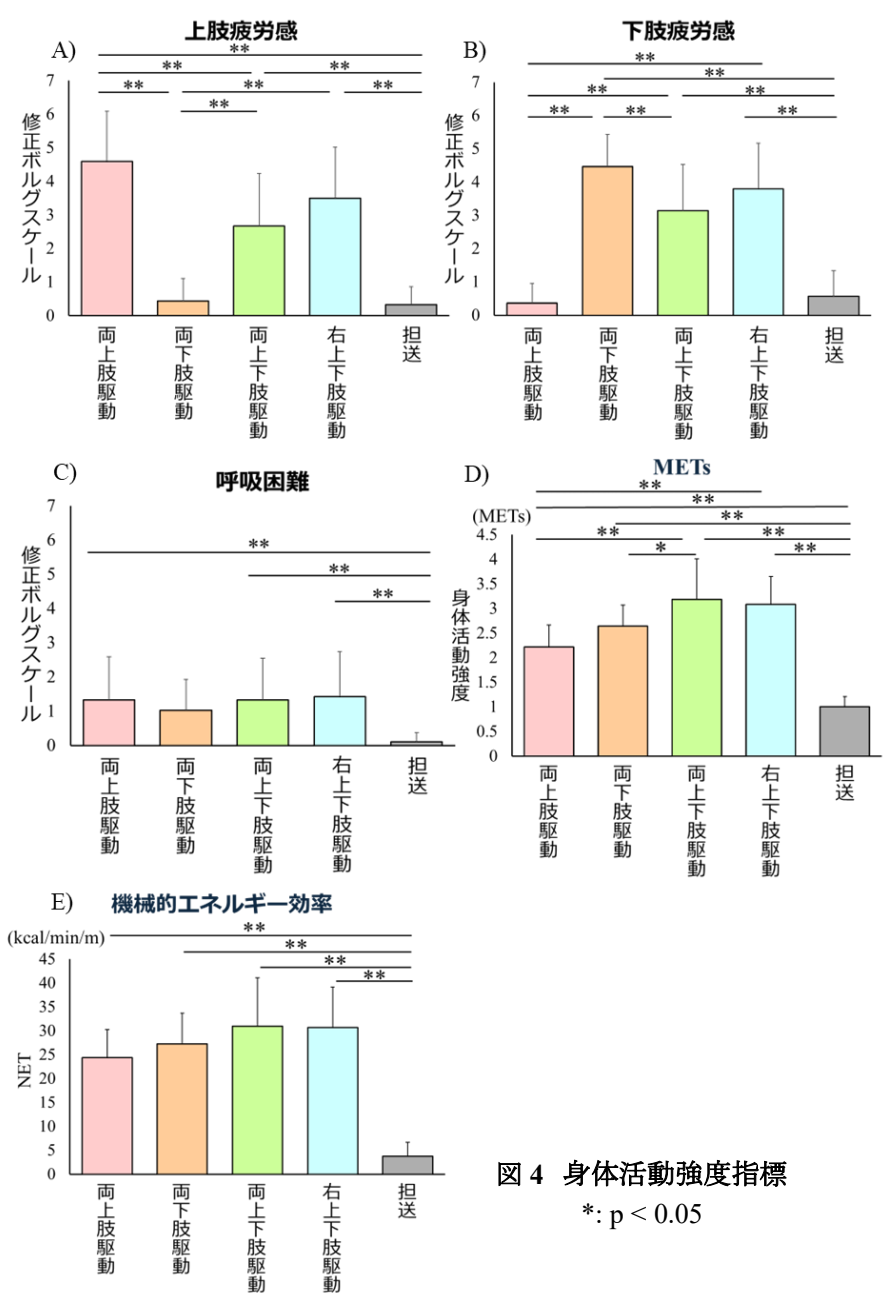


図4 身体活動強度指標  
\*: p < 0.05

### 3. 身体活動強度指標

上肢の疲労感は、上肢を使用する両上肢駆動、両上下肢駆動、右上下肢駆動の3条件は、上肢を使用しない他の2条件と比較して有意に高値を示し、上肢の疲労感が強く、本研究課題が成立していることを確認した。また、両上肢駆動は、上肢、下肢ともに使用する両上下肢駆動と比較して上肢疲労感が有意に高値を示し、上肢のみでの駆動では疲労感がより高くなること

明らかとなった(図4A)。

下肢の疲労感は、下肢を使用する両下肢駆動、両上下肢駆動、右上下肢駆動の3条件は、下肢を使用しない他の2条件と比較して有意に高値を示し、下肢の疲労感が強かった。加えて、両下肢駆動は上肢、下肢ともに使用する両上下肢駆動と比較して下肢疲労感が有意に高値を示し、上肢疲労感と同様の結果となった(図4B)。

呼吸困難感は、全体的に低い数値であるが、

両上肢駆動, 両上下肢駆動, 右上下肢駆動は担送と比較して有意に高値を示した(図 4C).

METs は, すべての駆動条件は担送と比較して有意に高値を示し, 車いす駆動によって身体活動強度が上昇することを確認した. また両上下肢駆動は両上肢駆動, 両下肢駆動と比較して有意に高値を示した. また右上下肢駆動は両上肢駆動と比較して有意に高値を示した(図 4D).

機械的エネルギー効率は, すべて駆動条件は担送と比較して有意に高値を示した. 一方, それぞれの駆動条件間では有意差は認められなかった(図 4E).

## 考察

本研究では, 車いすの駆動様式により身体活動強度および駆動パフォーマンス指標が異なることが示された.

両上肢駆動は駆動力および駆動効率が低く, パフォーマンスが低い駆動様式だった. 一方, 両上下肢駆動は駆動効率および駆動力が高く, パフォーマンスが高い駆動様式だった. また, 両下肢駆動は両上下肢駆動と比較して, 駆動効率は高いものの, 駆動力は低い点が両上下肢駆動に劣っている. 右上下肢駆動は非対称的な駆動であり, 駆動効率が低い駆動様式であると考えられる.

上下肢の局所疲労感において, 両上肢駆動, 両下肢駆動ではそれぞれ上肢・下肢 Borg scale はややきついーきつい結果となっていた. 両上下肢駆動では, 局所疲労度は低いが, METs が最も高値を示した. 自覚的疲労度と METs には正の相関関係があるが<sup>7)</sup>, 本研究結果の条件間の傾向は異なる結果を示した. その要因として, 両上肢や両下肢, 右上下肢駆動では一部の四肢のパターン化された継続運動により, 局所疲労が高くなる一方, 両上下肢駆動では四肢の身体的負担が分散されるため, 局所疲労が他条件より低下することが推察される.

また, 機械的エネルギー効率は駆動条件間で有意差がないことから, 身体活動強度やエネルギー消費量に影響を与えているのは駆動速度等のパフォーマンスの違いであることが考えられる.

本研究における両上肢駆動の METs は

2.2METs であり, 先行研究における脊髄損傷者の両上肢車いす駆動の METs は 2.1–2.8METs と報告されていることから<sup>3,4)</sup>, 健常者による両上肢駆動は脊髄損傷者と同等の METs であることが明らかとなった. また, 本研究における両上下肢駆動, 右上下肢駆動の METs は 3.0 を超える結果となっている. 健常者において 3.0–3.3METs の活動としては, 平らで固い地面での歩行(4.0km/h)やカーペットやフロアの拭き掃除等が挙げられる<sup>8)</sup>. 両上下肢駆動, 右上下肢駆動は平地歩行等と同等の身体活動強度であると言える.

これらの結果より, 例えば椎体骨折患者や股関節疾患等, 上下肢機能が保たれている場合, 駆動効率や局所疲労が少ない両上下肢駆動は車いすの移動手段としてだけでなく, 活動量を向上する方法として優れている可能性がある.

## 結語

車いすの駆動様式によって, 駆動効率や身体活動強度が異なることが明らかとなった. 健常者による車いす駆動が患者と同等の身体活動強度を示す結果となった. 両上下肢駆動・片側上下肢駆動の活動強度は健常者の通常歩行と同等の可能性が示唆された. また両上下肢駆動はパフォーマンスが高く, 駆動力, 駆動効率の観点から駆動方法として有用であると考えられる.

## 謝辞

本研究を進めるにあたり研究の実施にご協力いただきました研究対象者の皆様, ご指導いただきました長崎大学大学院医歯薬学総合研究科運動障害リハビリテーション学研究室の諸先生方に厚く御礼申し上げます.

## 参考文献

- 1) World Health Organization. Wheelchair provision guidelines. Geneva: World Health Organization; 2023. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240074521>.

- 2) Axelsson KF, Litsne H, et al.: Comparison of Fractures Among Older Adults Who Are Ambulatory vs Those Who Use Wheelchairs in Sweden. *JAMA Netw Open*. 2023; 6(2): e2255645.
- 3) Conger SA, Herrmann SD, et al.: 2024 Wheelchair Compendium of Physical Activities: An update of activity codes and energy expenditure values. *J Sport Health Sci*. 2024; 13(1): 18-23.
- 4) Collins EG, Gater D, et al.: Energy cost of physical activities in persons with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42(4): 691-700.
- 5) 太田啓介, 森田智之, 他 : 市販の計測機器を用いた脊髄損傷者の移動距離と身体活動量の検討. *支援工学理学療法学会誌*. 2022;2 (1), 14-21.
- 6) Ojeda M, Ding D: Temporal parameters estimation for wheelchair propulsion using wearable sensors. *Biomed Res Int*. 2014; 2014: 645284.
- 7) Scherr J, Wolfarth B, et al.: Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2013; 113(1): 147-155.
- 8) 中江悟司, 吉村英一, 小野 玲 (編) : 改訂第2版『身体活動のメッツ (METs) 表』成人版. 国立研究開発法人医薬基盤・健康・栄養研究所, 2024 . URL:[https://www.nibn.go.jp/activities/documents/2024Compendium\\_table\\_adult\\_ver1\\_1\\_5.pdf](https://www.nibn.go.jp/activities/documents/2024Compendium_table_adult_ver1_1_5.pdf)

(指導教員: 西 祐樹)