

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：22101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560326

研究課題名(和文) 加速度計を用いた車いす利用者のスポーツ活動中の活動量測定法開発のための基礎的研究

研究課題名(英文) Evaluation of physical activity using accelerometers during wheelchair sports.

研究代表者

橘 香織 (TACHIBANA, KAORI)

茨城県立医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：80453025

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツ用車椅子を利用した運動中の身体活動量の定量的評価方法の開発を目的に、車椅子バスケットボール競技を取り上げ、車椅子と体幹それぞれに取り付けた加速度計のデータと心拍数、酸素摂取量の同時計測システムを開発した。

同時計測によって得られた加速度データ、心拍数、分時酸素摂取量の各データを用いて、加速度計の取り付け位置の検討ならびに、加速度データと生体データの間の相関の検討を行った。体幹および車椅子に取り付けた加速度のデータは、車椅子駆動運動の回数や運動強度の変化を良好に反映していたが心拍数や酸素摂取量の推定には非線形モデルによる推定が適当と考えられ、活動量の定量的評価に役立てられる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：To development a new system for evaluation of physical activity level during the wheelchair sports, we examined the performance of wireless motion sensor (triaxial accelerometers) in estimating energy expenditure in wheelchair basketball players.

Both wheelchair frame-mounted accelerometer and the back of the player-mounted accelerometer well reflected the change of pushing pace. For more accurate estimation of energy expenditure in real game situation of the wheelchair sports, the non-linear regression model will be needed to develop.

研究分野：障がい者スポーツ

キーワード：車椅子バスケットボール 身体活動量 加速度計 心拍数 運動処方

### 1. 研究開始当初の背景

身体に障がいがある場合、健常者に比較して日常活動性が低下する傾向があり、外出や運動頻度も減少しうることから、健康への影響が重要な問題として指摘されている<sup>1-3)</sup>。スポーツ活動中の活動量の定量的測定と適切な運動処方が課題となっているが、腕や腰など体の一部に取り付けた加速度計データと呼気ガスデータを比較した研究によれば、安静時は両者の測定値の相関は高いが、運動時には相関が低くなるという問題が指摘されている<sup>4)</sup>。加速度データに体重や体脂肪率などを加えた推定式によるエネルギー消費量推定も試みられているが<sup>5)</sup>、日常生活を想定した低運動強度での推定式であり、スポーツ活動への適用可能性は十分に検討されていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、スポーツ用車椅子を使用した運動中の身体活動量の定量的評価方法の確立を目的に、車椅子に加速度計を取り付けた計測方法(以下、車椅子加速度計側法)の開発、ならびにスポーツ活動中の車椅子加速度計側法によるエネルギー消費量推定のための基礎的検討を行うこととした。

### 3. 研究の方法

(1)競技用車椅子を用いた運動中の加速度ならびに心拍数・呼気ガスデータの測定

被験者 15 名(平均年齢 23.3±4.6 歳、男性 8 名、女性 7 名)を対象とした。被験者のうち健常者は 12 名であったが、いずれも車椅子バスケットボール競技歴は 3 年以上で、選手として大会出場の経験を有していた。

車椅子バスケットボール競技用車椅子を用いて 20m 離れたコーンの間の走路を往復する際の、加速度データ、心拍数、分時酸素摂取量の各データを取得した。加速度データの取得には加速度、角速度、ジャイロが各 3 軸で計測可能な 9 軸ワイヤレスモーションセンサー(ロジカルプロダクト社、福岡)を用いた。本解析では、0.005 秒毎に測定した前後方向、左右方向、上下方向の 3 軸の加速度から合成加速度  $G$  を算出し(式 1)、以降の検討に用いた。

$$G = [G_x^2 + G_y^2 + G_z^2]^{1/2} \quad \dots (式 1)$$

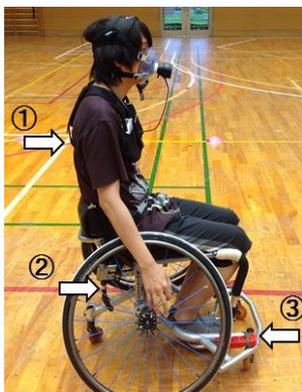


図 1  
被験者に取り付けた加速度計の位置  
体幹にとり付けた加速度計の位置  
車椅子車軸中央に取り付けた加速度計の位置  
車椅子前方に取り付けた Wii リモコンの位置



図 2 測定の様子

また、ワイヤレスモーションセンサーは体幹背部(以下、体幹加速度  $G_B$ 、図 1-)と車椅子の車軸中央部(以下、車椅子加速度  $G_w$ 、図 1-)にとりつけ、さらに車椅子前方部に Wii リモコン(任天堂、京都、以下、Wii 加速度  $G_i$ 、図 1-)をとつけ、計 3 種類のデータを取得した。

駆動スピードは、低速(時速 9.0km/h)、中速(時速 8.0 km/h)、高速(時速 6.9 km/h)の 3 種類を設定し、音声信号のガイダンスによって駆動スピードをコントロールするようにした。運動課題は、片道 20m の走行をお 1 本とカウントし、低速で 6 本(120m)、中速で 6 本(120m)、高速で 8(160m)をインターバルなしで走ることを 1 セットとし、それを 3 セット(計 60 本、1200m)実施した。実験の様子を図 2 に示す。

取得したデータは 1 本ごとに平均値を算出し、各種データ間の相関関係について検討した。統計処理には IBM SPSS Statistics 22 を使用した。

### 4. 研究成果

(1)車椅子駆動動作と加速度データの相関  
車椅子バスケットボールの場合、体の動きと車椅子の動きが必ずしも一致するわけではない。体が動いていても車椅子が止まっていることもあるからである。そこで、車椅子のタイヤを手で漕いだ数をプッシュ数として数え、車椅子加速度  $G_w$  および体幹加速度  $G_B$  との相関を検討したところ、高い相関を示した( $G_w$ とプッシュ数の相関係数  $r=0.923$ 、体幹加速度  $G_B$ とプッシュ数の相関係数  $r=0.924$ )。合成加速度を独立変数、プッシュ数を従属変数としたときのそれぞれの散佈図と回帰式を図 3 に示す。

車椅子を漕ぐ際には体幹の屈曲伸展を伴う場合が多いことから、体幹合成加速度  $G_B$  とプッシュ数の相関が高いことは予測されたが、車椅子合成加速度  $G_w$  でも当てはまりの良い回帰式が得られたことから、身体に直接加速度計を取り付けなくても、車椅子に取り付けた加速度計から車椅子の動きの度合いがある程度推定可能であると推察された。

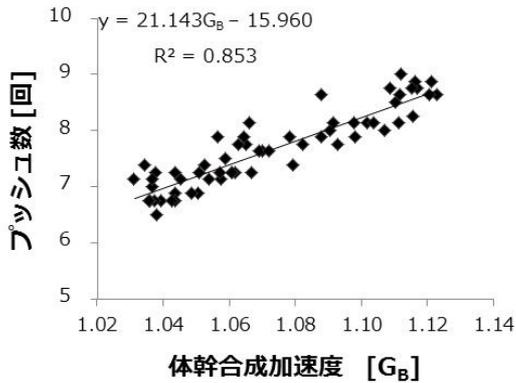
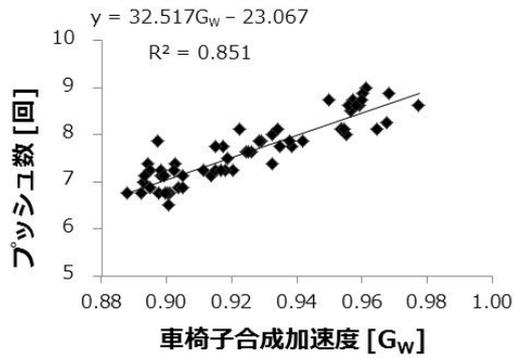


図3 (上) 車椅子合成加速度とプッシュ数の関係  
(下) 体幹合成加速度とプッシュ数の関係

(2)車椅子に取り付けた 2 種類の加速度データの相関

次に、Wii リモコンを加速度計として利用可能かどうかを検討するために、車椅子加速度  $G_w$  と Wii リモコンから得られた加速度データ  $G_i$  の相関について検討したところ、相関係数  $r=0.159(p=0.225)$  で十分な相関関係はみられなかった。これは取り付け位置の違いが影響している可能性が大きいですが、Wii リモコンの大きさや形状から、車軸中央の位置に取り付けることは工夫が必要である。Wii リモコンは安価に入手可能で、ゲーム機のインターフェースとして使用されていることから耐久性や衝撃吸収性にも優れていると考えられるため、計測に使用するには取り付け方法などを検討していく必要がある。

(3)加速度から心拍数や酸素摂取量の予測は可能か？

エネルギー消費量推定に必要なデータとしては、心拍数や酸素摂取量があるが、これらの生体データを車椅子加速度あるいは体幹加速度のデータから予測が可能かどうかを調べた。図4はそれぞれ、車椅子合成加速度  $G_w$  あるいは体幹合成加速度と心拍数のデータを散布図にプロットしたものである。これを見ると、いずれも合成加速度が小さい時に心拍数のばらつきが多いことがわかり、それによって回帰式の当てはまりが悪くなったものと思われる。

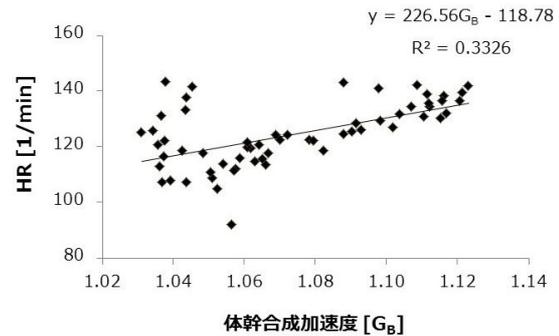
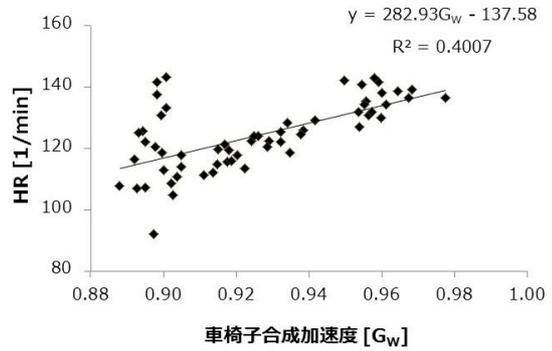


図4 (上) 車椅子合成加速度と心拍数の関係  
(下) 体幹合成加速度と心拍数の関係

この理由としては、今回の運動課題では低速→中速→高速→低速→中速→高速...の順に駆動速度を変化させたことが影響していると思われる。すなわち、高速で走った直後に低速のスピードに落ちたとき、加速度はすぐに小さくなるが、心拍数はゆるやかに低下してくる。この心拍数変動のずれが単純な回帰式では予測できないものと推察される(図5)。また、酸素摂取量についても、駆動速度の変化に少し遅れて変動し、それは特に駆動スピードがあがると顕著となった。したがって、酸素摂取量についても直線回帰による予測は適していないと考えられた。

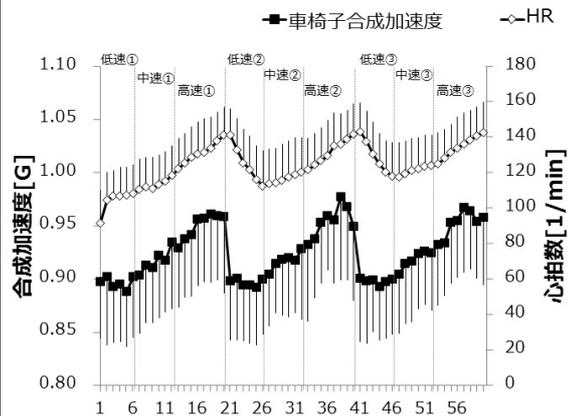


図5 課題実施中の心拍数と車椅子合成加速度の推移。高速から低速にスピードが切り替わったとき(低速, 低速)に、加速度の変化に対して心拍数は緩やかに低下した。

#### (4)車椅子バスケットボール選手のエネルギー消費量に関する栄養調査

車椅子バスケットボール選手のトレーニングや試合中の活動量を推定するために必要な議論として、健常者と同様のエネルギー消費量を前提としてよいのかどうかというものがある。そこで、車椅子バスケットボール日本代表候補選手 19 名と大学生バスケットボール選手 33 名を対象に、栄養摂取状況をそれぞれの選手に応じて算出した栄養摂取状況および栄養摂取充足率の比較から検討した。車椅子群、大学生群共に、総エネルギー、マグネシウム、ビタミン A,B1,B2,B6,C の摂取量は、選手の栄養摂取基準に対し有意に低かった。また、車椅子群、大学生群の栄養摂取充足率の比較から、車椅子群の総エネルギー、ビタミン B1,B2 の摂取充足率は、大学生群に比べ有意に低かった。総エネルギー充足率が低いのにに対し体重減少などがみられていないということは、そもそも基礎代謝を含めエネルギー消費量が健常者よりも少ない可能性がある。

#### (5)今後の課題

車椅子や体幹に取り付けた加速度計から得られる加速度データは、車椅子バスケットボール競技中の活動量を評価する指標にはなりうるが、少なくとも 10 秒程度の区間平均をもって心拍数や酸素消費量を線形回帰によって予測することは困難であることが推察された。今後の課題としては、加速度データを用いた非線形モデルによるエネルギー消費量推定の方法開発が望まれる。また、運動強度そのものの評価には、例えば加速度の絶対値で低強度、高強度などに分け、その帯域の加速度で運動した時間が何分だったか、というように加速度データを用いた評価法が有用である可能性が考えられる。

また、車椅子バスケットボール選手に対する運動処方を考える際には、加速度データからのエネルギー消費量推定方法の検討とともに、対麻痺などの障害がある選手にとって適切な栄養摂取基準の設定が必要である。

#### <引用文献>

- 1) Martin SB, Morrow JR, Jackson AW, Dunn AL. Variables related to meeting the CDC/ACSM physical activity guidelines. *Med Sci Sports Exerc*, 2003;32(12):2087-2092.
- 2) Buchholz AC, McGillivray CF, Pencharz PB. Physical activity levels are low in free-living adults with chronic paraplegia. *Obes Res*.2003;11:563-570.
- 3) Collins EG, Gater D, Kiratli J, Butler J, Hanson K, Langbein WE. Energy cost of physical activities in persons with spinal cord injury. *Med Sci Sports Exerc*. 2010; 42: 691-700.

- 4) Hiremath SV, Ding D. Evaluation of activity monitors in manual wheelchair users with paraplegia. *The Journal of Spinal Cord Medicine*,2011;34(1):110-117.
- 5) Hiremath SV, Ding D, Farrington J, Cooper RA. Predicting energy expenditure of manual wheelchair users with spinal cord injury using a multisensory-based activity monitor. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93:1937-43.

#### 5 . 主な発表論文等

(雑誌論文)(計9件)

- 1) Tsunoda K, Mutsuzaki H, Hotta K, Tachibana K, Shimizu Y, Fukaya T, Ikeda E, Wadano Y. Correlates of shoulder pain in wheelchair basketball players from the Japanese national team: a cross-sectional study. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 査読有 . 2016 (in press)
- 2) 六崎裕高、橘香織、清水如代、深谷隆史、池田英治、堀田和司、和田野安良. 女子車椅子バスケットボール日本代表選手における WUSPI. *日本障害者スポーツ学会誌*. 査読有 . 2016; 22: 42-45.
- 3) 橘香織、工藤安澄、小林育斗、鈴木雄太、我妻広明、六崎裕高、和田野安良. 車椅子バスケットボールにおけるティルティング動作のキネティクスの検討 - 床反力に着目して -. *日本障害者スポーツ学会誌*. 査読有 . 2016; 22:36-41.
- 4) Tsunoda K, Hotta K, Mutsuzaki H, Tachibana K, Shimizu Y, Fukaya T, Ikeda E, Kitano N, Wadano Y. Sleep Status in Male Wheelchair Basketball Players on a Japanese National Team. *Journal of Sleep Disorders & Therapy*. 査読有. 2015; 4(4): No. 210,
- 5) 中西智也、橘香織、富田和秀、塩川まなみ、水上昌文、居村茂幸. 腹圧呼吸練習による腹横筋収縮能力の変化. *理学療法科学*. 査読有. 2015; 30(2):203-206.
- 6) 堀田和司、和田野安良、六崎裕高、清水如代、橘香織、深谷隆史、唐澤幹男、池田英治、吉田健司. 男子車椅子バスケットボール代表候補選手の栄養摂取に関する検討 - 大学生選手との比較より -. *日本障害者スポーツ学会誌*, 査読有 . 2015 ; 23:29-34.
- 7) 橘香織、工藤安澄、小林育斗、鈴木雄太、六崎裕高、和田野安良. 車椅子バスケットボールにおける“ティルティング”の成功要因 上部体幹と下部体幹の角速度に着目して . *茨城県立医療大学紀要*. 査読有 . 2015 ; 19 : 51-60 .

- 8) Hiroataka Mutsuzaki, Kaori Tachibana, Yukiyo Shimizu, Kazushi Hotta, Takashi Fukaya, Mikio Karasawa, Eiji Ikeda, Yasuyoshi Wadano. Factors associated with deep tissue injury in male wheelchair basketball players of the Japanese national team. Asia-Pacific Journal of Sport Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology. 査読有. 2014;1:72-76.
- 9) 堀田和司, 和田野安良, 六崎裕高, 清水如代, 橘香織, 深谷隆史, 唐澤幹男, 池田英治, 吉田健司. 男子車椅子バスケットボール代表候補選手の栄養摂取状況. 日本障害者スポーツ学会誌. 査読有. 2013;22:39-43.

[学会発表](計 13 件)

橘香織, 石田菜月, 白石英樹, 我妻広明, 堀田和司, 深谷隆史, 清水如代, 六崎裕高, 和田野安良. 9 軸加速度計を用いた車椅子バスケットボール活動量の定量的測定の試み.“アダプテッド/医療/障がい者”体育・スポーツ合同コンgres in 北海道(北海道) 2016 年 7 月 15-16 日

野村潤, 橘香織, 松田靖史. 車椅子バスケットボール女子日本代表選手に対するシーティング改良の取り組み. 第 25 回日本障害者スポーツ学会(新潟県新潟市) 2016 年 3 月 26 日.

橘香織, 工藤安澄, 小林育斗, 鈴木雄太, 六崎裕高, 和田野安良. 車椅子バスケットボールにおける“ティルティング”の成功要因 - 上部体幹と下部体幹の角速度に着目して -. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

堀田和司, 六崎裕高, 清水如代, 橘香織, 深谷隆史, 唐澤幹男, 池田英治, 和田野安良. 男子車椅子バスケットボール代表候補選手の睡眠習慣と睡眠の質の検討. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

岩崎也生子, 堀田和司, 藤田好彦, 白石英樹, 石田菜月, 橘香織. 地域在住障がい児・者を対象としたスポーツプログラムへの参加が QOL に及ぼす影響～体力測定との関連から～. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

唐澤幹男, 六崎裕高, 清水如代, 橘香織, 深谷隆史, 堀田和司, 池田英治, 和田野安良. 女子車椅子バスケットボール日本代表選手における WUSPI. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

清水如代, 六崎裕高, 橘香織, 堀田和司, 深谷隆史, 久保田蒼, 池田英治, 和田野安良. 女子車椅子バスケットボール日本代表選手における DTI 評価. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

水島諒子, 堀田和司, 六崎裕高, 清水如代, 橘香織, 深谷隆史, 唐澤幹男, 池田英治, 和田野安良. 男子車椅子バスケットボール代表候補選手の栄養摂取状況に関する検討. 第 24 回日本障害者スポーツ学会(茨城県つくば市) 2014 年 12 月 6-7 日.

岩崎也生子, 堀田和司, 藤田好彦, 白石英樹, 橘香織. 地域在住障がい児・者を対象としたスポーツプログラムへの参加が QOL に及ぼす影響. 第 18 回日本健康福祉政策学会学術大会(茨城県稲敷郡阿見町) 2014 年 11 月 22-23 日.

堀田和司, 和田野安良, 六崎裕高, 清水如代, 橘香織, 深谷隆史, 唐澤幹男, 池田英治, 吉田健司. 男子車椅子バスケットボール代表候補選手の栄養摂取に関する検討 - 大学生選手との比較より -. 第 23 回日本障害者スポーツ学会(福岡県久留米市) 2014 年 3 月 30 日

和田野安良, 六崎裕高, 池田英治, 橘香織, 福田栄子, 堀田和司, 清水如代, 松田真由美, 久保田蒼, 唐澤幹男. 車椅子バスケットボール選手の頸椎アライメント評価. 第 23 回日本障害者スポーツ学会(福岡県久留米市) 2014 年 3 月 30 日

橘香織, 六崎裕高, 清水如代, 深谷隆史, 堀田和司, 池田英治, 唐澤幹男, 和田野安良. 女子車椅子バスケットボール選手の基礎スキルテストとクラスの関係についての検討. 第 24 回日本臨床スポーツ医学会(熊本県熊本市) 2013 年 10 月 25-26 日.

唐澤幹男, 六崎裕高, 橘香織, 深谷隆史, 堀田和司, 清水如代, 池田英治, 池田耕太郎, 和田野安良. 脊髄損傷者の肩関節痛・WUSPI における車椅子バスケットボールの影響. 第 24 回日本臨床スポーツ医学会(熊本県熊本市) 2013 年 10 月 25-26 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

橘香織 (TACHIBANA, Kaori)  
茨城県立医療大学保健医療学部理学療法学科・准教授  
研究者番号: 80453025

### (2) 研究分担者

我妻広明 (WAGATSUMA, Hiroaki)  
九州工業大学・生命体工学研究科・准教授  
研究者番号: 60392180

### (3) 研究協力者

堀田和司 (HOTTA, Kazushi)  
茨城県立医療大学保健医療学部作業療法学科・教授  
研究者番号: 00569121