

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：17702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650388

研究課題名(和文)カヌーパドリングにおける3次元身体加速度と積分値を指標とした動作評価の可能性

研究課題名(英文)Triaxial Accelerometer to evaluate performance in kayak paddling on water

研究代表者

松下 雅雄(MATSUSHITA, MASAO)

鹿屋体育大学・理事・その他

研究者番号：40199790

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：カヤックパドリングにおける動作の変容や消費エネルギーの大きさを、腰背部に装着した3次元身体加速度によって用いて検討した。

シミュレーションマシンを用い座位姿勢で行われたパドリング運動において、身体加速度積分値とパワー出力および酸素摂取量との間に有意な生の相関関係が認められ、身体加速度積分値がこれらを反映することが示唆された。水上パドリングでは、艇速度の増大にして身体加速積分値が増大したが、両者の間には変曲点が認められた。変曲点以降では、艇速度増大のために、より大きな動作(腰背部の移動量)とエネルギー消費量が示されており、この変曲点が、艇速度増大に伴う動作変容を示す可能性が考えられた。

研究成果の概要(英文)：We evaluated kayak paddling performance using a triaxial accelerometer that was fitted on the lower back of 6 collegiate athletes.

First, during stepwise incremental paddling exercise on a simulated machine, the total impulse (the square root of summed body-acceleration in each of 3 directions) was highly correlated with oxygen uptake and work output. These results suggest that the total impulse is related to power output and oxygen uptake during kayak paddling exercise. Second, during the ramp incremental paddling exercise on a kayak boat, there was an inflection point in the relationship between boat speed and total impulse. The propulsive drag of a boat in water increases as the square of average speed. The inflection point may have reflected the increase in amount of movement that occurred to produce the energy required by the increase in propulsive drag as boat speed increased.

The triaxial body accelerometer can be used to evaluate paddling exercise in kayak on water.

研究分野：健康・スポーツ科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学，スポーツ科学

キーワード：カヌースプリント カヤック 水上パドリング 身体加速度 艇速度

1. 研究開始当初の背景

(1) 水上パフォーマンス測定の問題点

カヌースプリント競技(以下、カヌー競技)では、水上におけるパフォーマンス測定を考える時、測定方法に関わる解決すべき様々な課題が存在する。それらは、測定環境が水上であるため、機器の防水加工や無線通信機能の装備が必要とされること、艇体の接水面積を大きくし抵抗を増大させないよう、使用機器はできる限り軽量であることなどである。また、動作分析においては、水上に基準線を設けること、光電管やカメラ等を定点設置することが困難であるため、詳細な分析に耐えうる映像を収集することが難しく、体力測定においては、測定プロトコルが確立されていないなど、測定方法に関する問題も存在する。さらに水上でのパフォーマンス測定は、艇速度に影響を及ぼさない、ほぼ無風の気象条件下で実施されることが望しい。

これらのことから、カヌー競技では、様々なパフォーマンス測定が、シミュレーションマシンを利用して行われてきた。それらの測定値は、基礎的な競技力を評価することは十分にできるが、総合的な競技力を把握するには至らない場合がある。したがって、水上に浮かべた不安定な艇に乗って漕手が発揮するパフォーマンスを評価方法を考案することは、総合的な競技力を把握するためにも、期待されると考える。

(2) 携帯型加速度測定装置のパフォーマンス評価への利用

近年では小型で軽量の加速度装置が開発され、運動時の身体加速度を簡便に測定・評価することが可能となった。身体加速度の測定は、身体の重心位置の変化を捉えて動作全体を評価する方法として、歩行やランニング動作ではよく行われている。そして、身体加速度波形から、動作全体の把握や、繰り返し動作における動作の安定性の評価などがなされている。

また、3次元の身体加速度から算出した積分値の総和が、酸素摂取量との間に有意な正の相

関関係を有したことから、身体加速度測定による身体活動量の定量化が可能であるとの報告(Buton et al, 1994, Iwashita et al., 2003)や、積分値の総和に対する3次元(左右,上下,前後)の各身体加速度の積分値の比を求め、歩行動作において成人よりも子供のエネルギー消費量の大きいことの一因として、推進力とされない鉛直方向へのエネルギー消費が大きいこと(Eston et al., 1998)、高齢者の脚筋力トレーニングの結果、歩行速度が増した時、上下方向の積分値が減少し前後方向の積分値が増大したこと等、動作の効率に言及した報告がある。

しかしながら、長座位姿勢で行われるカヌーを漕ぐ(以下、パドリング)運動様式においても、身体加速度がエネルギー量や運動の方向などを反映するかどうかは明らかになっていない。

(3) 研究課題への着想

歩行やランニング運動における先行研究を参考とし、カヌー競技においても、運動中の身体加速度を計測し、その波形や積分値を指標とすることで、艇速度に影響する動作に言及した、総合的なパフォーマンス評価ができると予想した。さらに小型で軽量(100g以下)の装置は、簡便な方法で防水処置を施しやすく、操作も簡単で、かつ重量増大による艇への抵抗増大は考えにくいと、トレーニング現場で非常に有効活用できる可能性があると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、運動における動作の特徴や発揮エネルギーの大きさを、3次元の身体加速度波形や、その積分値によって推定・評価する可能性を検討することを目的とした。

なお、目的を達成するために、「パドリング動作における身体加速度測定の可能性(研究1)」および「水上パドリング動作における身体加速度測定の試み(研究2)」の、二つの課題を設定した。

3. 研究の方法

研究1「パドリング運動における身体加速度測定の可能性の検討」

(1) **被検者**：大学男子カヤック選手 6 名であった（年齢 20.3 ± 0.8 歳，身長 171.0 ± 3.6 cm，体重 71.6 ± 4.1 kg）。

(2) **多段階負荷パドリングテスト**：パドリングシミュレーションマシン（DanSprint，Danmark）を用い，多段階負荷パドリングテストを実施した。パドリングテストの強度は，マシンモニタに表示されるパワー出力によってコントロールされた。テストは，60W から開始され，各強度における運動時間は3分間とし，1分間の休憩をはさんで20Wずつ漸増した。

(3) 測定項目：

加速度：身体加速度の測定には，携帯型運動量測定装置（AC301，50Hz，GM 社製）を用いた。装置は，漕手の腰背部に装着され，3次元（左右，上下，前後）の身体加速度が計測された。

身体加速度の積分値：先行研究に従い（Bouten et al., 1994, Iwashita et al., 2003），3次元の身体加速度から各積分値を算出して，その総和を総積分値として算出した。また，総積分値に対する3次元の各積分値比を算出した。

酸素摂取量：酸素摂取量は，呼吸代謝測定装置（Vmax，SensorMedics 社製）を用い，プレス・バイプレス方式にて，連続測定した。

(4) **統計処理**：各測定項目の分析には，各ステージの最後の1分間の平均値を用いた。

測定結果は，個人値および平均値 \pm 標準偏差で示した。身体加速度の積分値と出力パワーおよび酸素摂取量との相関関係の検討には，pearson の積率相関係数を用いた。また，パワー出力に対する身体加速度積分値の積分値比の差の検定には，対応のある一元配置分散分析を用いた。いずれも，統

計学的有意水準は5%未満とした。なお作図には，被検者各々が3分の運動を継続することができた最高ステージまでのデータを用いた。相関関係の検討には，被検者6名全員が3分間の運動を継続することができた5ステージまでのデータを用いた。

研究2「水上パドリング動作（カヤック）における身体加速度測定を試み」

(1) **被検者**：大学カヤック選手男子3名，女子3名であった。

(2) **使用艇**：テストに使用した艇は，選手が日常的に使用しているレーシングカヤック艇であった。

(3) **実施場所**：鹿児島県鹿屋市にある農業用水池（大隅湖）で，パドリング用のブイが設置され，直線距離約2kmのパドリングが可能なコースであった。

(4) **測定時の自然環境条件**：測定は，概ね無風（風速約 $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以内）となる気象条件の日時を選択・待機して実施した。

(5) **ランブ負荷パドリングテスト**：艇速度は，選手が艇に搭載したGPS速度計をモニタリングしながら，1分毎に増大させた。速度設定は，最終ステージ（9分目）が各選手の100m全力速度となるよう設定し，開始速度は， $0.8\text{km}\cdot\text{h}^{-1} \sim 1.0\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ずつの増加（GPSユニットの精度を考慮）が可能となるよう設定された。

(6) 測定項目

加速度・艇速度：身体加速度の測定は，研究1と同様の方法であった。艇の加速度および艇速度は，3次元の加速度センサ（100Hz）搭載のGPSユニット（SPIpro2，GPSports 社製）を用い，艇のコックピット後ろにあるデッキ平面に搭載することで測定した。

身体加速度の積分値：研究1に同様。

酸素摂取量：テレメトリ式呼吸代謝測定システム（K4b2，CosMed Italy）を用い，プレス・バイ・プレス方式にて，連続測定

した。

(4) 統計処理：各測定項目の分析には、各ステージ1分間毎の平均値を用いた。

艇速度と換気量および酸素摂取量と二酸化炭素排出量、身体加速度の積分値との相関関係の検討には、pearsonの積率相関係数を用いた。また、艇速度に対する各測定項目の変曲点の算出には、最小二乗法を用いた。

4. 研究成果

研究1「パドリング動作における身体加速度測定の可能性の検討」

図1は、多段階パドリング運動における身体加速度の総積分値とパワー出力、図2は、総積分値と酸素摂取量との関係を示したものである。図中の黒で塗りつぶされたマークは、平均値と標準偏差を示している。黒丸は、被検者全員が3分間のパドリング運動を持続できた5ステージ目までを示す。5ステージ目までで検討すると、パワー出力および酸素摂取量は、総積分値の増大に伴って直線的に増大し、両者の間には、有意な正の相関関係が認められた。また、総積分値とパワー出力および酸素摂取量の関係の傾きには、選手間で差異がなかった。

ここで、3次元の積分値をそれぞれ見ると、酸素摂取量およびパワー出力との間に、いずれも有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.01 \sim 0.001$)。カヌー競技は、長座位姿勢で、パドルを握り、主に上体の捻転動作による発揮パワーを艇に伝えて、速度を得る運動である。したがって、身体の中線を中心とした捻転動作によって発生する遠心力を、左右方向の加速度が反映すると考えられる。すなわち、大きなパワー出力およびエネルギー消費のために、左右方向の身体加速度の積分値が大きくなることは、容易に想像される。それに加えて、あまり動きの少ない上下および前後方向の加速度積分値も、増大すること

が明らかとなった。

これらのことから、長座位姿勢で行われるパドリング運動においても、腰背部・臍高位の身体加速度積分値は、エルゴメータに与えるパワー出力や、エネルギー消費量を推定できることが考えられた。

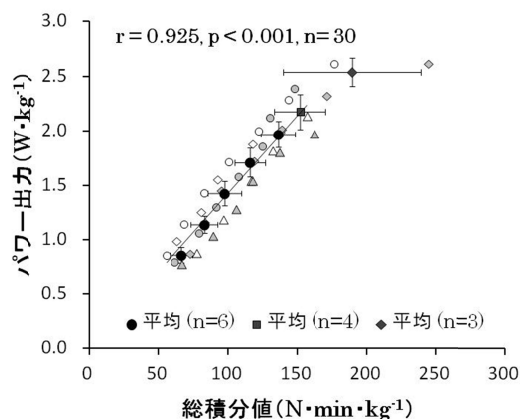


図1 3次元の身体加速度総積分値とパワー出力の関係

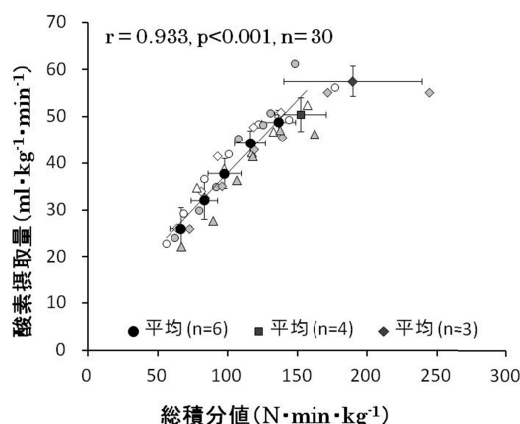


図2 3次元の身体加速度総積分値と酸素摂取量の関係

また、総積分値に対する3次元の積分値の比を、ステージ間で比較したところ、有意な差異は認められなかったことから(表1)、本被検者は、3分間のパドリング運動を継続できる範囲では、運動強度が変化してもパドリングの動作(腰背部・臍高位の移動方向の大きさの割合)が大きく変わることはなかったと考えられた。

表1 身体加速度総積分値に対する3次元の積分値の比

設定パワー出力(W)	60 (n=6)	80 (n=6)	100 (n=6)	120 (n=6)	140 (n=6)	160 (n=4)	180 (n=3)
左右積分値/総積分値	0.72 (0.10)	0.73 (0.11)	0.73 (0.12)	0.73 (0.12)	0.72 (0.11)	0.71 (0.11)	0.69 (0.09)
上下積分値/総積分値	0.36 (0.08)	0.33 (0.07)	0.31 (0.05)	0.32 (0.06)	0.34 (0.06)	0.34 (0.06)	0.41 (0.07)
前後積分値/総積分値	0.39 (0.08)	0.4 (0.10)	0.41 (0.12)	0.41 (0.12)	0.39 (0.12)	0.39 (0.17)	0.38 (0.12)

一方、選手間で3次元の積分値比を比較すると、必ずしも類似した値とはならず、総積分値に比較してばらつきが大きかった。このことは、パドリング運動による身体(腰背部・臍高位)の移動方向が、選手によって異なることを示すと考えられる。本研究は、シミュレーションマシンを用いたパドリング運動を対象としたが、実際に水上で艇に乗ってパドリング運動を行う時には、身体の移動方向は、艇の挙動に影響すると考えられる。

以上のことから、座位姿勢のパドリング運動においても、腰背部の身体加速度計測によって、発揮パワーやエネルギー消費量を推定し、動作の特徴を捉えられる可能性があると考えられた。

研究2「水上パドリング動作(カヤック)における身体加速度測定を試み」

研究1の結果、腰背部で計測される身体加速度がカヌー競技のパフォーマンスを評価しうることが確認された。そこで、水上においても身体加速度がパワー出力の指標およびエネルギー消費量の指標となりうるか検討するために、艇速度を1分毎に漸増されるランプ負荷パドリングテストを実施した。当初の計画では、全力パドリングの予定であったが、研究1において、総積分値に対する3次元の積分値比は、速度が増大してもほぼ同様の値であったことから、水上においても同様の傾向が認められるか確認するため、運動様式として漸増速度パドリング運動を選択した。しかし、3分間の多段階負荷法では、

直線距離約2kmほどのカヌーコースにおいて、風向きの影響を受けないように、進行方向を変えずに5~8段階の速度を設定することは困難であった。そこで、8分~10分程度で疲労困憊に至るランプ負荷法によるパドリング運動を実施することとした。

研究2では、水上での測定プロトコルの変更と決定に時間を要してしましたが、図らずして水上パドリングで最大酸素摂取量を測定するためのプロトコルを確立する結果となった。

図3には、2名の女子選手における、水上パドリング運動中の、艇速度に対する身体加速度総積分値を示した。これをみると、総積分値の大きさと艇速度との関係には、最小二乗法によって求められる、変曲点が存在する傾向があった。この時の速度は、換気量と二酸化炭素排出量の見られる変曲点の艇速度と近い値を示すようであった。しかし、今のところ2名分のデータのみで見られた現象であるため、早急に再測定を実施して、検証をする予定である。

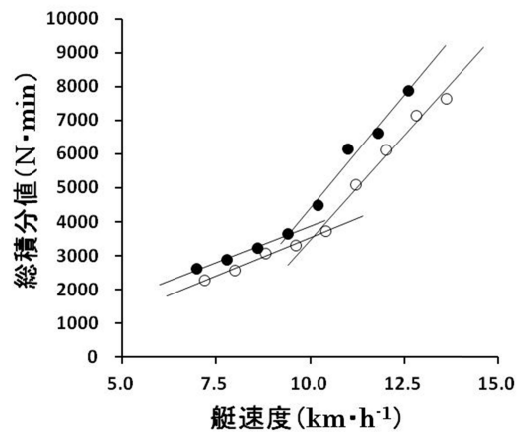


図3 艇速度と総積分値の関係

もし、このことが確認されれば、加速度計を腰背部に装着した、身体加速度の積分値が、高価で重量のある携帯型酸素摂取量測定装置を装着しなくても、換気性作業閾値に相当する有酸素性能力を評価する指標となる可能性がある。また、カヤック艇が前進すると

きに生じる抵抗は、艇速度の2乗に比例して増大することが知られており、艇速度と総積分値関係における変曲点は、推進抵抗の増大を反映していることも考えられる。

いずれにしても、総積分値が急激に大きくなるということは、この変曲点が、パドリングの動作が変容するポイントであるとも考えられるため、水上におけるパドリングパフォーマンスを総合的にとらえられる可能性を有する。

以上のことから、水上パドリングにおいても身体加速度は、パドリングパフォーマンスをとらえる上で、有効な指標になることが考えられた。

問題点と今後の課題

(1) 再測定の実施

研究2において被検者6名の測定を終了したが、分析の課程で、パドリング中に突風や動力船による横波の影響を受けてバランスを崩したと思われる、加速度波形のスパイク様相がみられたり、艇速度が急激に増減した区間が見つかった。これらのデータは、相関関係や変曲点の算出にかなうデータではない判断し、無風の気象状況時を見計らって、現在再測定を遂行中である。

(2) 漸増負荷テストプロトコルの検証

シミュレーションマシンを用いた多段階負荷パドリングテストにおいて、水上ランブ負荷パドリングテストで見られたような、負荷に対する身体加速度積分値の変曲点はみられなかった。これは、負荷段階の設定数が少なかったためかもしれない。また、水上パドリングで変曲点が見られたのは、水上では艇速度の増大に対して、推進抵抗が2乗で増大することが影響したとも考えられる。

今後、同一の漸増負荷テストプロトコル時の身体加速度データを、シミュレーションマシンと水上で比較検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松下 雅雄(MATUSHITA Masao)

鹿屋体育大学・理事・その他

研究者番号：40199790

(2) 研究分担者

中村 夏実(NAKAMURA Natsumi)

鹿屋体育大学・スポーツ武道実践科学系・講師

研究者番号：30287817

(3) 連携研究者

()

研究者番号：