

ウィンドサーフィン選手が陸上で行うエイトパンピングの生理及び力学的特性とそれを用いたトレーニングの効果

長嶺 彰房¹⁾, 千足 耕一²⁾, 山本 正嘉³⁾

鹿屋体育大学大学院¹⁾

鹿屋体育大学海洋スポーツセンター²⁾

鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター³⁾

I. 研究目的

ウィンドサーフィン競技で行われるセイルパンピング（以下、パンピング）とは、風を取り入れる道具であるセイルを競技者自身で動かすことによってボードに推進力を加える技術であり¹⁾、競技成績に大きな影響を及ぼす²⁾。この技術は大きく分けて3種類あり、風上に向かうためのパンピング、風下に向かうためのパンピング、極めて微風の際に行うエイトパンピングがある。

風上及び風下に向かうためのパンピングについては風速4～7m/sの環境下で有効とされており¹⁾、ウィンドサーフィン競技の運動強度を左右する要因とされている^{1),3)}。そのため、生理学的な研究だけでなく、筋電図学的^{4),5)}及びバイオメカニクスの⁶⁾にも研究が行われている。一方エイトパンピングについての研究は見られないが、実際のレースでも使用されることが多く、選手にとって欠かせない技術の一つである。

現在、パンピングのトレーニングは、海上での実践練習でのみ実施されている。しかし、風が強すぎる時や、海が荒れている際にはトレーニングを実施することが難しい。また、初心者にとっては不安定な海上で行うよりも、陸上で行う方が技術を習得しやすいと考えられる。このことから、パンピングの技術を改善、あるいはパンピングを継続する能力を向上させることのできる陸上でのトレーニングを開発することができれば、競技力向上に役立つと考えられる。

このような発想で行われた先行研究としては、ウィンドサーフィンの動作との類似性を考慮してローイングエルゴメーターを用いて行ったMaximal

Interval Trainingがある⁷⁾。このトレーニングを選手に処方することによって最大下運動での生理応答に改善が見られ、選手の主観的な感想でも「いつもはきつくてパンピングできないような場面でしっかりと体が動くようになった」などの改善点が報告されている。

このように体力面でのトレーニングは報告されている一方で、陸上において技術面の改善を目的として行われたトレーニングの研究はみられない。そこで本研究では、3種類のパンピングのうち、陸上でも行うことが可能なエイトパンピングのトレーニング法を開発することを目的として、以下の2つの実験を実施した。

実験1：陸上でエイトパンピングを行った時の生理学的及び力学的特性を明らかにし、トレーニングとして利用できるかについて、その可能性を検討した。

実験2：陸上でエイトパンピングのトレーニングを行い、トレーニング前後での力学的・生理学的パラメータ及び水上でのパフォーマンスについて比較検討した。

II. 方法

A. 実験1：陸上でのエイトパンピング時における生理的・力学的特性

1. 被験者

本学の男子ウィンドサーフィン部員7名（身長170.7±6.0cm, 体重64.5±5.2kg, 年齢21.0±2.0歳, 競技年数2.3±1.4年）を対象とした。各被験者には、実験の目的と内容、実験に伴う身体的な負担や危険性を説明したのち、本人の意志で何時でも辞退できる

ことを理解させた上で実験への参加について同意を得た。

2. エイトパンピング中の生理応答の測定

図1は本研究で用いた器材のセッティング方法(a)と実験風景(b)を示したものである。被験者は、携帯型呼吸代謝測定器(K4b2, COSMED社製)と心拍計(HRモニター, POLAR社製)を装着して、全力で4分間のエイトパンピングを行い、その際の酸素摂取量と心拍数を測定した。なおこの試技は、十分な練習をした後に1回行った。

得られたデータの分析方法は海上で行われた先行研究²⁾と同様の方法であり、4分間の運動のうち最後の1分間における酸素摂取量と心拍数の平均値を求めた。そして、漸増運動負荷試験で得られた最高酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{peak}$)と最高心拍数(HRpeak)との関係から、 $\% \dot{V}O_2\text{peak}$ と $\% \text{HRpeak}$ を求めた。

3. ローイングエルゴメーターによる漸増運動負荷試験

ローイングエルゴメーター(Concept II, Concept社製)を用いて漸増運動負荷試験を行い、最高酸素摂取量($\dot{V}O_2\text{peak}$)と最高心拍数(HRpeak)を測定した。プロトコルは100wから始め、50wずつ漸増させていき、250wを過ぎてからは25wずつ漸増させていった。2分間の運動と1分間の休憩を1セットとし、被験者が疲労困憊に至るまで行った。

呼吸ガスの測定はダグラスバッグ法を用いて行っ

た。2分間の運動のうち後半1分間の呼吸ガスをダグラスバッグで採気し、自動呼吸ガス分析器($V\text{max}29\text{c}$, Sormedics社製)を用いて酸素濃度と二酸化炭素濃度を、乾式ガスメーター(DC-5C, 品川社製)を用いて呼吸量を測定し、その関係から酸素摂取量を算出した。そして疲労困憊の直前に得られた酸素摂取量と心拍数の最大値を各被験者の $\dot{V}O_2\text{peak}$ 及びHRpeakとした。

4. エイトパンピング中の床反力の測定

床反力計(多成分フォースプレート, kistler社製)とそれに同期させたデジタルビデオ(HANDYCAM, SONY社製)を用いて、全力で30秒間実施したエイトパンピング中の、3方向(x軸:左右方向, y軸:前後方向, z軸:鉛直方向)の床反力とフォームを測定した。測定時における器材のセッティングは生理学的特性の測定と同様であった(図1-a)。なお、測定の際には被験者に対し、意識的に強い蹴りや踏み込みをするのではなく、普段海上で行っていると同様の感覚でエイトパンピングを行うよう指示した。

1枚目の床反力計では左足(前足), 2枚目の床反力計では右足(後ろ足)の床反力を測定した。その際の床反力計とデジタルビデオのサンプリング周波数は30Hzとした。

3方向の床反力を測定する時の床反力計の設定は、図2に示したように、左右方向では進行方向に

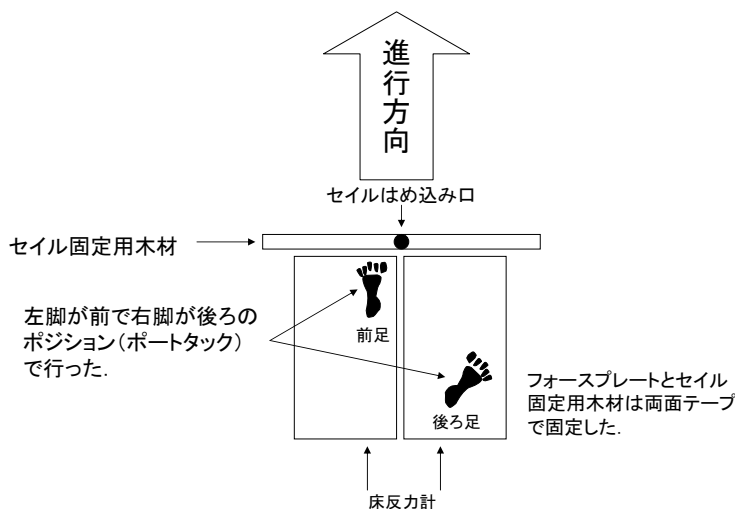


図1-a. 陸上でのエイトパンピング時の床反力測定



図1-b. 実験風景

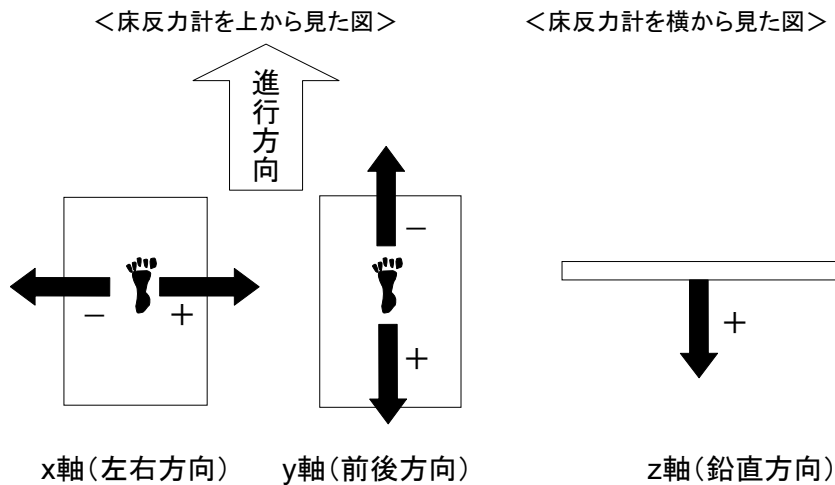


図2. 床反力計で得られるデータの定義

第1局面：セイルを引き込み始めてからセイルを前に押し出すまで



第2局面：ベアリング動作からセイルを引き込み始めて第1局面に入るまで



図3. エイトパンピングにおける各局面の定義

対して右側への力を+で、左側への力を-で表した。また前後方向については、進行方向とは逆方向への力を+で、進行方向への力を-で表した。鉛直方向は+で表した。

分析の際にはデジタルビデオの映像から1回のエイトパンピングを2つの局面に分けた。すなわち、図3に示すように、セイルを引き込み始めてからセイルを前に押し出すまでを第1局面とし、ベアリング動作（セイルが前方に位置している状態）からセイルを引き込み始めて第1局面に入るまでを第2局面とした。また得られたデータは、終了直前6回分

のエイトパンピングの各局面の力波形を抽出し、時間軸を100%としてそれらの力波形を重ね合わせるにより、各競技レベルの被験者における力の出方や最高値の違いを検討した。

B. 実験2：陸上でのエイトパンピングトレーニングの効果

1. 被験者

被験者は実験1と同じ7名である。

2. トレーニングの方法

陸上にウィンドサーフィン一式をセットして、エイトパンピングのトレーニングを行った。各被験者

は最も競技力の高い被験者Aの指導のもとで、以下の2種類のトレーニングを行った。この期間には海上でのトレーニングは普段通りに行ったが、エイトパンピングだけはしないよう指示した。

1) 4分間のエイトパンピングトレーニング

実験1でエイトパンピングをした際、被験者から「不安定でエイトパンピングをすることが難しい」、「上級者のように力強く漕げない」といった感想が得られたため、まずセイルを引き込む前に重心を低くすることをトレーニングの課題として、4分間のエイトパンピングのトレーニングを2セット行った。トレーニング中にはビデオ撮影を行い、1セット目の終了時に課題の達成度合を確認させてから2セット目を行わせた。なお、このトレーニングは全部で12回のトレーニングのうち、初回から6回目まで行った。

2) 20秒間のエイトパンピングトレーニング

20秒間のエイトパンピングを10秒間の休憩をはさんで10回繰り返すトレーニングを2セット行った。このトレーニングでは、①のトレーニングで覚えたフォームを崩さずに素早くエイトパンピングすることを課題とした。なお、このトレーニングは12回のトレーニングのうち7回目から12回目まで行った。

以上のようなトレーニングを1ヶ月間で計12回行った。

3. トレーニング前後における水上でのエイトパンピングのパフォーマンス測定

50mプールのプールサイドに高さ100cmに設定された光電管を2カ所設置し、被験者がその間(33m)を通過するタイムとパンピング回数をトレーニング前後で測定した。助走を開始する地点は全試行とも同じ地点からとした。

3回の練習を行った後、5回の試行を行った。そしてタイムが速かった上位3回の試行を抽出し、そのタイムの平均値をデータとして用いた。また、最速タイムとその時のパンピング回数から1回のパンピングに要する時間(1回パンピング時間:秒/回)と1回のパンピングで進む距離(1回推進距離:m/回)を算出した。

4. トレーニング前後での漸増運動負荷試験

実験1と同様の方法により、トレーニング前後で測定を行った。

5. トレーニング前後でのエイトパンピング中の床反力の測定

実験1と同様の方法により、トレーニング前後で測定を行った。

C. 統計処理

トレーニング前後での水上でのパフォーマンス測定の結果、および漸増運動負荷試験の結果を、対応のあるt検定を用いて比較した。危険率が5%未満($p < 0.05$)の場合に有意差があると判定した。

III. 結果

A. 実験1：陸上でのエイトパンピング時の生理学的・力学的特性

1. 生理学的特性

表2は、本研究で得られた陸上におけるエイトパンピング中の生理応答と、先行研究³⁾で報告されている海上(風速4~6 m/s)における風下帆走時のパンピング中の生理応答を比較したものである。本研究で得られた結果は $\% \dot{V}O_2\text{peak}$ が約77%、 $\%HR\text{peak}$ が約90%であり、先行研究の生理応答と同程度であった。

表2. 4分間の陸上でのエイトパンピング時の生理応答と先行研究における海上でのパンピング時の生理応答との比較

	陸上における生理応答(n=7)	海上における生理応答(n=8)
	本研究	Vogiatziら,2002を改変
$\%HR\text{peak}$	90±6	87±8
$\% \dot{V}O_2\text{peak}$	77±8	77±8

2. 力学的特性

各被験者における床反力の特性を観察したところ、競技レベルの違いに応じた相違が見られた部分はいくつか認められた。そこで競技レベルにはっきりと違いのある3名の被験者(A, B, C)の間で比較することとした。なお競技レベルは、被験者Aが全日本学生選手権で入賞経験のある選手、被験者Bは全日本学生選手権で標準レベルの選手、被験者C

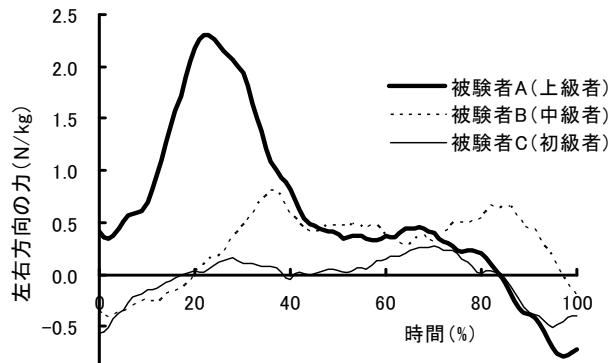


図4-a. 第1局面における前足（左足）の左右方向の力波形



図4-b. 第1局面において前脚における進行方向に対する右側への力が最高値を示した時のフォーム

は競技歴11ヶ月で初級者レベルの選手であった。

図4は、この3名の間で、第1局面における前足の左右方向の力波形と、進行方向に対して右側への力が最高値を示した時のフォームを比較したものである。第1局面における前足の左右方向の力波形は図4-aのように競技レベルの高い順に進行方向に対して右側への力が強かった。また右側への力が最高値を示した時のフォームは、図4-bのように競技レベルの高い順に上体が進行方向へ傾いていた。

図5は、この3名の被験者の中で、第2局面にお

ける前足の左右方向の力波形と、一連のフォームを比較したものである。第2局面における前足の左右方向の力波形は、図5-aのように競技レベルの高い被験者Aは被験者B、Cと比べ、最高値は変わらないが、最高値が発揮された後、すみやかに力が低値になっていた。また一連のフォームを見ると、図5-bのように、競技レベルの低い被験者Cでは第2局面の開始から終了までの前後の動きが小さい傾向が見られた。

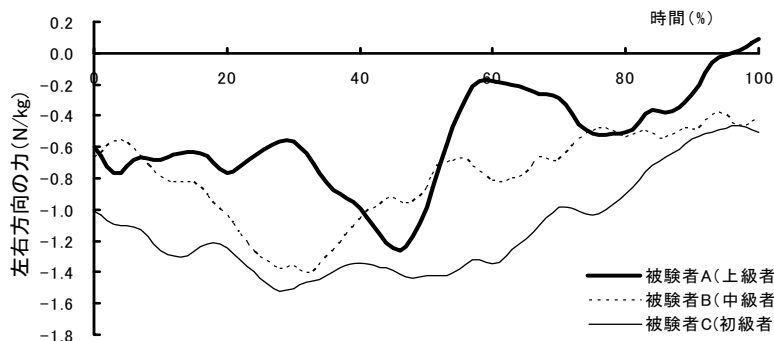


図5-a. 第2局面における前足の左右方向の力波形

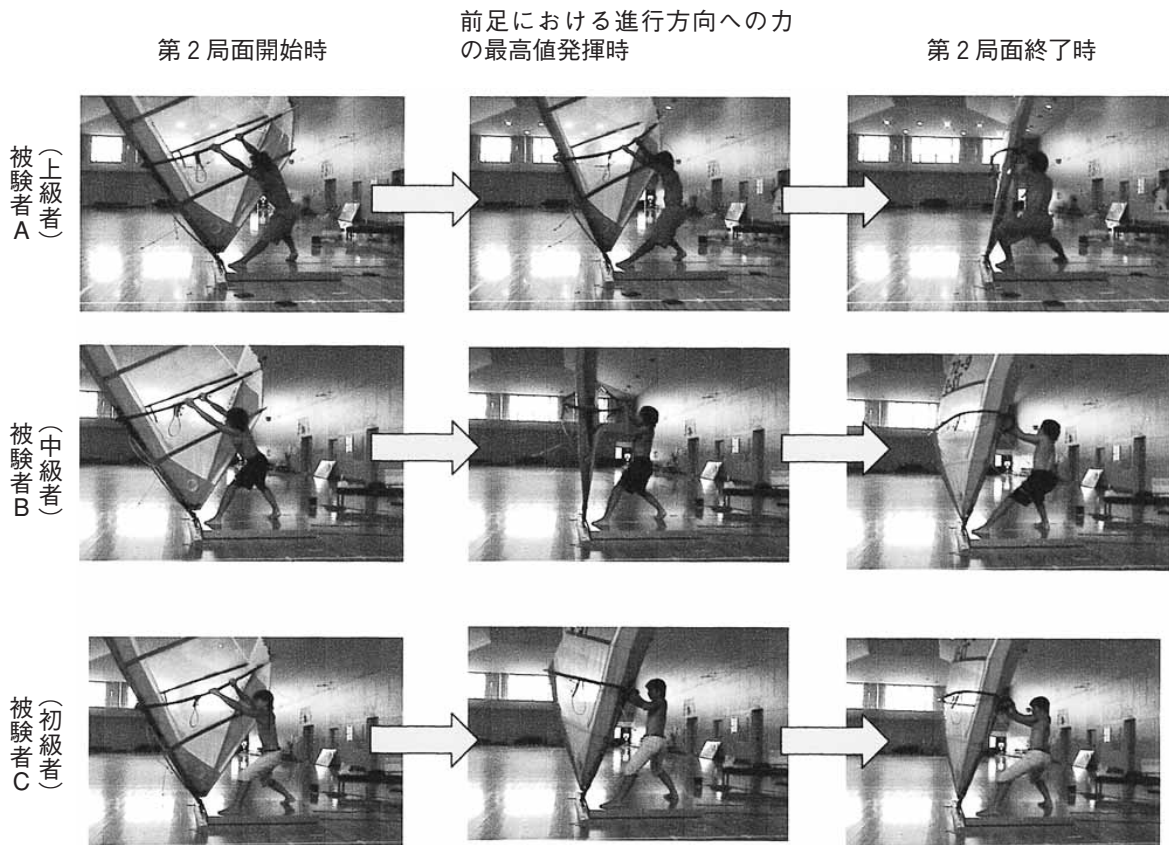


図5-b. 第2局面における一連のフォーム

B. 実験2：陸上でのエイトパンピングトレーニングの効果

1. トレーニング前後での水上パフォーマンス

図6は、陸上でのエイトパンピングトレーニングの前後で水上でのパフォーマンスを比較したものである。タイムは全被験者とも短縮し、その変化は有意であった。また1回パンピング時間も有意に短くなった。しかし1回推進距離には有意な変化は認められなかった。

2. トレーニング前後での漸増運動負荷試験の成績
VO₂peakとHRpeakについては陸上でのトレーニング前の値がそれぞれ3.51±0.28L/minと191.17±12.58拍/分、トレーニング後の値が3.47±0.26L/minと194.67±6.65拍/分であり、両者とも有意な変化は認められなかった。

3. トレーニング前後でのエイトパンピング中の床反力

1カ月間で12回行った陸上でのエイトパンピング

トレーニングの終了後に、各被験者に上達感についての感想を尋ねてみると、被験者B, C, D, Fの4

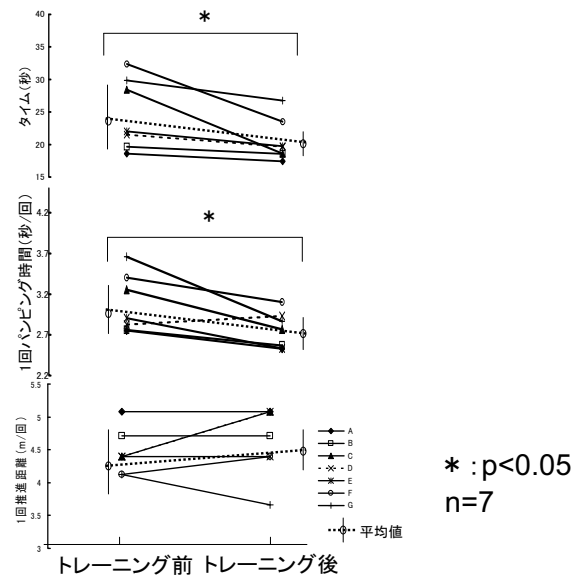


図6. 陸上におけるエイトパンピングトレーニング前後での水上でのパフォーマンスの変化

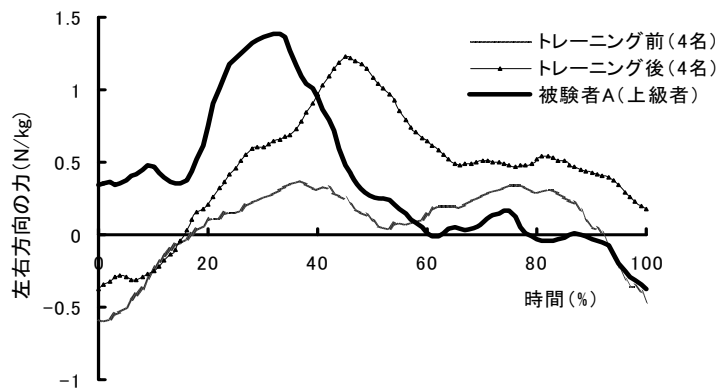


図8-a. 第1局面が改善した被験者のトレーニング前後での力波形(4名の平均値)と被験者A(上級者)の力波形の比較



被験者D(トレーニング前) 被験者D(トレーニング後) 被験者A(トレーニング後)
 図8-b. 第1局面が改善した被験者Dのトレーニング前後のフォームと被験者A(上級者)のフォームの比較

名は「第1局面が改善されたと思う」と答えた。図8-aはこの4名の第1局面の力波形の平均値を求めてトレーニング前後で比較したものである。トレーニング後では前足におけるボードの進行方向に対して右側への力が強くなっており、これを競技力の高い被験者Aのトレーニング後の力波形と比べてみると、最高値が同程度となっていた。また、この力の最高値が出現した時のフォームを被験者Dの例でみると、図8-bのようにトレーニング後には進行方向へ上体が倒れ、被験者Aにフォームが近づいていた。

また本実験後の感想として、被験者Bを除く全被験者で「第2局面が改善された」と答えていた。図9-aはこの6名について第2局面の力波形の平均値を求めてトレーニング前後で比較したものである。トレーニング後では前足における進行方向への力が強くなっており、これを被験者Aのトレーニング後の力波形と比べてみると、最高値が同程度となっていた。また、この最高値が出現した時のフォームを被験者Cの例でみると、図9-bのように

トレーニング前に比べ、トレーニング後には右足が曲がっており、被験者Aに近づいていた。

IV. 考察

A. 実験1：陸上でのエイトパンピング時の生理学的・力学的特性

1. 生理学的特性

本研究で得られた陸上におけるエイトパンピング中の生理応答と、先行研究³⁾で得られた海上における風下帆走時のパンピング中の生理応答は同程度であった(表2)。このことから陸上で行うエイトパンピングは、海上で行うパンピングと同程度の生理的負荷を与えることができると考えられる。

また、ウィンドサーフィン競技は有酸素性運動であると言われており^{1),3)}、持久性のトレーニングは重要と考えられるが、上記の結果を考慮すると、陸上で行うエイトパンピングは持久性のトレーニングとしても応用が可能と考えられる。

2. 力学的特性

被験者の競技レベルの違いによって、第1局面の

左右方向の力、第2局面の左右方向の力、そして各局面において左右方向の力が最高値を示した時のフォームや力の発揮特性に違いが認められた(図4-a, b及び図5-a, b)。

剣道、柔道、なぎなたなどの種目では、これまで床反力計やデジタルビデオを用いて競技レベルによる床反力やフォームの違いを比較する研究が行われている^{8),9),10),11)}。そして競技レベルの違いによって床反力の力波形やフォームに違いが認められることが報告されている。今回の測定により、ウィンドサーフィン競技をシュミレーションした陸上で行うエイトパンピングにおいても、先行研究と同様、競技レベルによる違いが認められた(図4-a, b及び図5-a, b)。

これらの結果は、競技レベルの異なる被験者のエイトパンピングの技術が反映したものと考えられる。従って、陸上でエイトパンピングのフォームを修正するトレーニングを行うことで、パンピングのスキル向上につながると考えられる。

B. 実験2：陸上でのエイトパンピングトレーニングの効果

1. トレーニング前後での水上パフォーマンスの変化

陸上でのエイトパンピングトレーニングの前後で、水上でのパフォーマンス測定を行うと、タイムは全被験者で短縮し、その変化は統計的にも有意であった。このとき、1回パンピング時間は有意に短くなったが、1回推進距離には有意な変化は認められなかった(図6)。タイムの向上には艇速の向上が不可欠であるが、この艇速は1回推進距離÷1回パンピング時間で表すことができる。従って、1回推進距離の減少を最小限に食い止めつつ1回パンピング時間を短くすることができたことにより、タイムが向上したことになる。

なお、1回推進距離の減少を最小限に食い止めることができた理由として以下のことが考えられる。すなわち、エイトパンピングにより艇が前進する原理は、①第1, 2局面でのセイルを漕ぐ動作によ

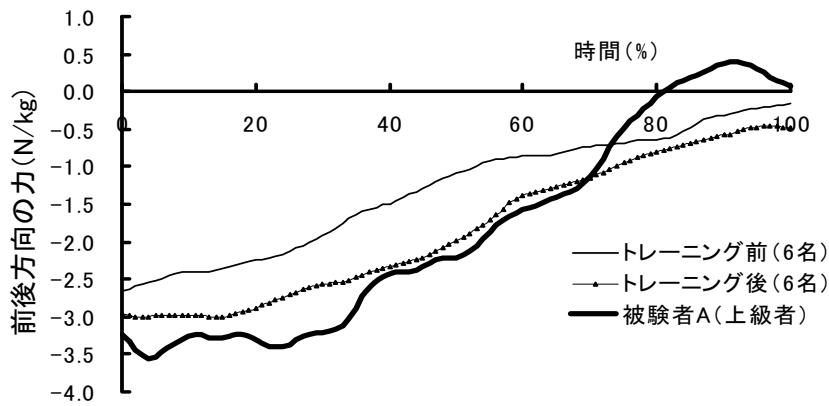


図9-a. 第2局面が改善した被験者のトレーニング前後での力波形(6名の平均値)と被験者A(上級者)の力波形の比較



図9-b. 第2局面が改善した被験者Cのトレーニング前後のフォームと被験者A(上級者)のフォームの比較

て、進行方向とは逆方向への風を押し出す作用（抗力）が生じ、その反作用を利用するものと、②第1局面中にセイルを進行方向に出す動作によって、体の重心やセイルを進行方向に移動させることで艇が加速する力（ニュートンの第2法則）を利用するものの2種類がある。つまりこの2つの力を強くすることで1回推進距離が増加すると考えられる。

①の抗力は、 $1/2 \times \text{抗力係数} (CD) \times \text{流体の密度} (p) \times \text{物体と流体の相対速度} (V)^2 \times \text{物体の代表面積} (S)$ で表すことができる。従って、第1,2局面でのセイルを漕ぐ動作によって生まれる抗力では、 CD がセイルの角度などの技術に依存し、 V がセイルの引き込み速度にあたり、筋力や技術に依存すると考えられる。

②の力については、質量 \times 加速度で表すことができる。そして質量は体重やセイルの重量にあたるが、セイルの重さは共通であることから、結局は体重に依存することになる。また加速度は、体重とセイルによる加速度であり、これは技術や筋力に依存すると考えられる。さらに、この力を最大限に利用するためには、セイルを引き込むことによって艇が前進する時に生じる進行風の抵抗を小さくする必要があるのである。

1回推進距離の減少を最小限にいとめることができたのは、技術もしくは筋力が向上することで、艇に推進力を加える①や②の力が強くなり、より短いパンピング時間でトレーニング前と同レベルの力を発揮することができた（単位時間当たりの力が増加した）ことが考えられる。

2. トレーニング前後での有酸素性作業能力の変化

陸上でのエイトパンピングトレーニングの前後で、 $\dot{V}O_2\text{peak}$ と $HR\text{peak}$ には変化は認められなかった。被験者はトレーニング中、フォームの改善を中心に行っていたため、心肺機能の向上を達成するための十分な生理的負荷がかからなかったことが考えられる。

3. トレーニング前後でのエイトパンピング中の床反力の変化

本実験後の感想で第1局面が改善されたと答えた

4名の被験者（被験者B, C, D, F）について、その力波形を見ると、前足の進行方向に対して右側への力が強くなっていた。また、第2局面が改善されたと答えた6名の被験者では、前足の進行方向への力が強くなっていた（図8,9-a）。これは4分間のエイトパンピングトレーニングによって「セイルを引き込む前に重心を低くする」というトレーニング課題が達成され、左右方向や前後方向の力が発揮されやすくなったことや、抗力係数（セイルスピードや風に対するセイルの角度）の増加によりセイルにかかる抗力が大きくなった結果、前足にかかる力が強くなったためと考えられる。

第1局面が改善されたと答えた4名のフォームについて見ると、左右方向の力が最高値を示した時に上体が進行方向へ傾いており、競技レベルの最も高い被験者Aに近いフォームとなっていた（図8,9-b）。被験者Bは、「上体をあえて進行方向へ倒すことによって、セイルの引き込みすぎが少なくなり、安定して漕げるようになった」と述べていたことから、第1局面ではある程度上体を進行方向へ傾けることが必要であると考えられる。

本実験後の感想において第2局面が改善されたと答えた6名の被験者（被験者A, C, D, E, F, G）については、トレーニング前と比べ、トレーニング後には右足が曲がっていることが映像から判断できた。これは重心を低くする意識が反映したためと考えられる。

V. まとめ

本研究では、ウィンドサーフィン技術で用いられるエイトパンピングを陸上で行った時の生理学的及び力学的特性について明らかにした。その上で、陸上でのエイトパンピングトレーニングを行い、このトレーニングの有効性を検討した。

その結果、陸上で行うエイトパンピングトレーニングは、体力面と技術面の両面からトレーニングを行える可能性があることが示唆された。そして、技術面の改善を目的とした陸上でのトレーニングを1ヶ月間で12回実施した結果、 $\% \dot{V}O_2\text{peak}$ には改善が認められなかったが、全被験者において技術の改

善によるものと考えられる床反力やフォームの変化が見られ、水上でのパフォーマンスも有意に向上した。この理由として第1, 2局面のいずれか、もしくは両局面の技術が向上したことにより、水上でのパフォーマンスが向上したと考えられる。

以上のことから、陸上で行うエイトパンピングトレーニングは、技術面の改善による水上でのパフォーマンス向上に有効であり、トレーニング方法を工夫すること(例えば長時間漕ぐこと)によって、体力面のトレーニングにも応用が可能であると考えられる。

VI. 参考文献

1. Vito, D. G. and Filippo, L. D. :Is the Olympic boardsailor an endurance athlete?
Int. J. sports. Med., 18(4) : 281-284, 1997.
2. Karim, C. and Ime, M. C. :Correlation between heart rate and performance during Olympic windsurfing competition.
Eur. J. Appl. Physiol., 89 : 387-392, 2003.
3. Vogiatzis, G., Vito, D. G., Rodio, A., Madaffari, A. and Marchetti, M. : The physiological demands of sail pumping in Olympic level windsurfers. Eur. J. Appl. Physiol., 86 : 450-454, 2002.
4. Buchanan, M., Cunningham, P., Dyson, R. J. and Hurrion, P. D. : Electromyographic activity of beating and reaching during simulated boardsailing. J. Sports Sci., 14 : 131-137, 1996.
5. Dyson, R. J., Buchanan, M., Frrington, T. A. and Hurrion, P. D. : Electromyographic activity during windsurfing on water.
J. Sports Sciences., 14 : 125-130, 1996.
6. So, R., Chan, K. M., Appel, R. and Yuan, Y. : Changes in the multi-joint kinematics and co-ordination after repetitive windsurfing pumping task.
J. Sport. Med. Phys. Fitness., 44 (3) : 249-257, 2004.
7. 國分俊輔, 楠本恭介, 三森絵里, 千足耕一, 山本正嘉. : ウィンドサーフィン (ミストラル級) の競技特性をもとに考案した陸上での補強トレーニングの効果; ナショナルチーム入りを果たした E. M. 選手の事例. スポーツトレーニング科学, 4 : 57-61, 2003.
8. 板東隆男, 猪熊慎, 若吉浩二, 近藤潤. : 剣道における右脚踏み込み動作の分析-床反力及び接地時期について; 体力科学, 35(6) : 401, 1986.
9. 植田真帆 : 初心者柔道指導における前回り受け身指導の有無が衝撃力に及ぼす影響.
和歌山大学教育学部教育実践総合センター紀要, 13 : 119-124, 2003.
10. 重岡孝文, 三浦修史 : 後ろ受け身の習熟に関する研究; 中腰からの後ろ受け身について. 鹿屋体育大学学術研究紀要, 26 : 1-13, 2001.
11. 谷村尚実, 飯本雄二 : なぎなた競技における側面打ちの速さの要因について; 高速VTR動作分析と床反力からみた熟練者と未熟練者の比較. 中京女子大学研究紀要, 30 : 29-35, 1996.