

ウィンドサーフィンにおけるプレーニング時の生理的応答

山本周史¹⁾・建部貴弘²⁾

Physiological response during planing in windsurfing

Shuji YAMAMOTO, Takahiro TATEBE (Aichi Shukutoku University)

ウィンドサーフィン歴 15 年以上の男性を対象とし、プレーニング時の生理的特性を明らかにすることを目的として、帆走中の心拍数、上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋電図、血中乳酸値、および帆走速度を測定した。プレーニング時の心拍数は 175.1 ± 5.7 beats/min であり、ノンプレーニングに比べ高かった ($p < 0.01$)。帆走直後の血中乳酸値は 4.88 mmol/l であり、ノンプレーニング時と同等であった。上腕二頭筋および上腕三角筋の %EMG は、プレーニングとノンプレーニングにおけるマスト手とブーム手に差は見られなかった。ウィンドサーフィンにおけるプレーニング時は帆走の中でも運動強度が最も高くなると考えられ、全帆走時間に対するプレーニング帆走の割合が増加するほど無酸素性運動の割合が増加すると考えられた。

Keywords : ウィンドサーフィン、プレーニング、心拍数、%EMG、血中乳酸値
Windsurfing, Planning, Heart rate, %EMG, Blood lactate accumulation

1. 諸言

ウィンドサーフィンは、サーフィンに使われていたボードの上にヨットのような三角帆（セール）を取り付けたことが始まり（松本 1997）と言われ、サーフィンとヨットを融合したウォータースポーツである。風の力を推進力としてセールを操作しながら水面上を走るセーリングスポーツであり、発案当初はボードセーリングという名称であった。ウィンドサーフィンの競技は、国際ウィンドサーフィン連盟が主催するプロツアー競技種目として「ウェーブパフォーマンス」、「フリースタイル」、「フォーミュラーウィンドサーフィン（アップウィンド・コースレース）」および「スラロームレース」があり、国際セーリング連盟主催のセーリング競技の中にオリンピック種目としても採用される「RS : X 級（旧ミストラル級）」と言われるコースレース形態の種目がある。「ウェーブパフォーマンス」および「フリースタイル」は二人の選手がライディング技術の高さを競い合う競技であり、「フォーミュラーウィンドサーフィン（アップウィンド・コースレース）」と「スラロームレース」および「RS : X 級」は海上に設置されたコースを複数選手が同時にスタートし回航して先着を競う競技である。

国際ウィンドサーフィン連盟と国際セーリング連盟とにおける競技の大きな違いに、国際ウィンドサーフィン連盟の種目がプレーニングコンディションでのみ実施されるのに対し、国際セーリング連盟の RS : X 級はノンプレーニングコンディションであっても実施されるといった点がある。プレーニングとは、風の力で推進力を得た後に、進行風によってセールに揚力が発生し、ライダーがセールを引き込むことによってボードは加速して浮き上がり、ボード後部の接水面積が

1) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 スポーツ・健康医科学科

2) 愛知淑徳大学 健康医療科学部 スポーツ・健康医科学科 非常勤講師

小さくなり、高速度の定常状態に達して水面上を滑走するように進む状態のこと（村田 2005）である。プレーニングが可能となる風速は 5m/sec 以上と言われており、スラロームレースの風速規定は風速 6m/sec 以上を必要条件としている。一方、セーリング種目におけるノンプレーニングコンディション下では、微風域下においてセールを扇ぎボードに推進力を与えるパンピングと言われるセールトリム技術が多用される（藤原ら 2013）。RS:X 級では、風速規定が無く、ノンプレーニングコンディションにおいてもレースが実施される。レースでは高い艇速を維持する必要があることから、スラロームレースではプレーニング技術が、RS:X 級ではパンピング技術が重要な要因となる。

ウィンドサーフィンの研究では主に、オリンピック種目でもある RS:X 級に高い関心が集められている。RS:X 級においては、セーリング競技であることから、帆走速度、帆走角度および帆走距離といった移動様相（萩原と石井 2015）が分析されている。また、ノンプレーニングコンディションではパンピング技術が多用され重要となることから、シミュレーター上でのパンピング中の筋活動（Buchanan et al., 1996）、海上およびシミュレーター上でのパンピング動作（藤原ら 2013, So et al., 2004）が分析されている。一方、パンピングには体力的な要因も関係することから、競技者の有酸素性および無酸素性体力（Castagna et al., 2007, 萩原ら 2009, 萩原ら 2013, 谷所ら 2009）が報告されている。また、競技特性を明らかにするための運動強度に関して、セーリング中の心拍数（Schönle & Rieckert, 1983, 高倉 1992, Chamari et al., 2003）、コースレース直後の血中乳酸値（Medved & Oreb, 1984）、帆走中の酸素摂取量（Castagna et al., 2007）、海上でのパンピング中の筋活動（Dyson et al., 1996）が報告されている。

一方、スラロームレースに関する研究は皆無である。スラロームレースでは、コース上のブイを旋回する以外はほぼプレーニング状態であり、高い艇速を維持するためのプレーニング技術が重要である。また、レクリエーションスポーツとしてのウィンドサーフィンにおいても、愛好家の多くはスラローム用もしくはそれに準じた用具を使用し、プレーニングを主たる目的として行っている（室田 1989）。よって、ウィンドサーフィンにおいては、プレーニング技術の向上が重要な課題である。これらのことから、ウィンドサーフィンにおけるプレーニングは主要な研究対象であり、その詳細について科学的に分析することは有益なことである。本研究では、プレーニング時の生理的応答に着目し、その特性を運動生理学的指標である心拍数、上肢筋電図および血中乳酸値により明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1. 対象

ウィンドサーフィン歴 15 年以上の健康な男性 5 名（年齢：41.6±4.4 歳、身長 166.4±3.7cm、体重 62.0±7.8kg）を被検者とした。なお、愛知淑徳大学健康医療科学部倫理規定に基づき、実験に先立ち、被検者に対し実験目的と方法およびそれに伴い起こりうる危険性の説明を行ない、内容を理解させたうえで実験参加の承諾を得た。

2.2. 実験

実験は、静岡県浜松市の浜名湖大崎海岸において、被検者毎に異なる日時に行った。海上の風のコンディションは、全試技ともに、風向はスターボードタック（風を右舷から受けて帆走する状態）であった。また、ブロー（断続的に吹きつける突風）を受けた際にはセールサイズ 7.0m² 前後でプレーニング可能であるが、弱～中風速域のガスティーコンディションであった。使用した艇は、ボードがフリーライドタイプ（Starboard 社製 FUTURA 122L）、セールがノーカムフリー

レースタイプ (Severn 社製 NCX 7.5m²) であり、ハーネスシステム (ハーネスラインおよびフック) を使用した。なお、陸上での十分なウォーミングアップを行い、測定機器を装着した後に、帆走の測定を約 20 分間行った。また、被検者には、プレーニング時はウィンドアビーム (風向に対して直角) で帆走し、ノンプレーニング時はパンピングを行わないよう指示した。

2.3. 測定項目および測定方法

運動生理学的指標として、帆走中の心拍数および上腕二頭筋と上腕三頭筋の筋電図、および帆走直後の血中乳酸値を測定した。また、帆走速度を測定した。

[心拍数および帆走速度]

心拍数は、防水型のハートレートモニター RCX5 および T31C トランスミッター (Polar 社製) を用いて測定した。帆走速度は、G5 GPS センサー (Polar 社製) を RCX5 に連動させ記録した。GPS センサーは、防水パックに入れ、左上腕に固定して使用した。

[筋電図]

右体側の上腕二頭筋および上腕三頭筋の表面筋電図を、多用途テレメータ筋電計 Biolog DL-1000 (S&ME 製) および無線筋電センサ DL-500 (S&ME 製) を用いて測定した。電極はディスプレイ電極ビトロード F-150M (日本光電社製) を用い、電極間は 2cm とした。また、皮膚抵抗を減少させるために電極貼付部位の剃毛をおこない、消毒用アルコールで電極貼付部位を拭き、電極を貼付した。DL-500 は両面テープを用い貼付し、リード線は揺れを防ぐためにテープで固定し、防水フィルム (ニチバン社製) をセンサおよび電極を広範囲に覆うよう貼付して防水処置を施した。実験は、最大筋力 (MVC: maximum voluntary contraction) 発揮時の測定を行った後、帆走時の測定を行った。MVC は、徒手筋力検査法 (津山と中村 2014) に従い、被検者に同一の最大徒手抵抗を加えるようにし、3 秒間負荷をかけて最大筋力を発揮させた。帆走時の測定は、DL-1000 の PC ソフト上の測定ボタンとハートレートモニター RCX5 のスイッチを同時に押す方法で開始し、データの同期を行った。

[血中乳酸値]

採血用穿刺器具 ジェントレット および ジェントレット 針 (三和化学研究所製) を用いて、帆走終了後速やかに指尖から血液を採取した。血液採取は、被検者への十分な説明と同意の下、被検者自身に依頼した。採取した血液を乳酸測定器 Lactate SCOUT (NSI 社製) を用いて吸引し、血中乳酸値を測定した。

2.4. 分析方法

心拍数および帆走速度は、5 秒毎に分析した。帆走速度の結果から、速度が急激に増加し定常状態に達した区間をプレーニングとし、速度が急激に増加する前の区間をノンプレーニングとした。また、全帆走時間に対するプレーニング帆走およびノンプレーニング帆走の割合を算出した。筋電図は、サンプリング周波数 500Hz で測定し、全波整流した後に 1/10 秒毎に時間平均し平滑化した。また、徒手筋力検査法による最大筋力発揮時の活動電位を 100% として標準化 (%MVC) し分析した。なお、心拍数および帆走速度は、最高帆走速度を記録したプレーニング間とその前のノンプレーニング間の平均値を比較分析した。筋電図は、ウィンドサーフィンにおいては両手でブームを握り帆走するが、右体側のみを被検筋とし、スターボードタック (風を右舷から受けて帆走する状態) 時をマスト手 (マスト側のブームを握る手)、ポートタック (風を左舷から受けて帆走する状態) 時をブーム手 (クリュー側のブームを握る手) として分析した。スターボードタックおよびポートタックともに、最高帆走速度を記録したプレーニング間とその前のノンプレ

レーニング間の平均値を比較分析した。なお、全被検者とも利き腕は右側であった。

2.5. 統計処理

データは、全て平均±標準偏差で示した。心拍数および帆走速度は、プレーニングとノンプレーニングの比較に対応のある t 検定を用いた。上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋電図は、プレーニングとノンプレーニングおよびマスト手とブーム手の比較に二元配置分散分析を用いた。なお、有意水準は、いずれの場合も 5%未満とした。

3. 結果

表 1 にプレーニング時およびノンプレーニング時の平均帆走速度を示した。プレーニングが $9.84 \pm 1.30 \text{m/sec}$ 、ノンプレーニングが $2.09 \pm 0.41 \text{m/sec}$ であり、プレーニングが有意に高い値であった ($p < 0.001$)。

表1 プレーニング時およびノンプレーニング時の平均帆走速度(n=5)

	プレーニング	ノンプレーニング
帆走速度 (m/sec)	$9.84 \pm 1.30^{***}$	2.09 ± 0.41

***: $p < 0.001$ (t-test)

表 2 にプレーニング時およびノンプレーニング時の平均心拍数を示した。プレーニングが $175.1 \pm 5.7 \text{beats/min}$ 、ノンプレーニングが $135.4 \pm 18.0 \text{beats/min}$ であり、プレーニングが有意に高い値であった ($p < 0.01$)。

表2 プレーニング時およびノンプレーニング時の平均心拍数(n=5)

	プレーニング	ノンプレーニング
心拍数 (beats/min)	$175.1 \pm 5.7^{**}$	135.4 ± 18.0

**: $p < 0.01$ (t-test)

図 1 にプレーニング時およびノンプレーニング時の上腕二頭筋の平均%EMG を示した。マスト手はプレーニングが $9.8 \pm 3.2\%$ 、ノンプレーニングが $15.1 \pm 12.1\%$ であり、ブーム手はそれぞれ $16.1 \pm 9.3\%$ および $21.3 \pm 19.4\%$ であった。また、図 2 にプレーニング時およびノンプレーニング時の上腕三頭筋の平均%EMG を示した。マスト手はプレーニングが $17.8 \pm 8.7\%$ 、ノンプレーニングが $18.4 \pm 10.7\%$ であり、ブーム手はそれぞれ $21.7 \pm 9.5\%$ および $23.5 \pm 13.6\%$ であった。二元配置分散分析の結果、両筋のいずれ比較においても有意な交互作用および主効果は見られなかった。

なお、帆走直後の血中乳酸値は $4.88 \pm 1.52 \text{mmol/l}$ であった。また、全帆走時間に対するプレーニング帆走の割合は $24.2 \pm 15.4\%$ 、ノンプレーニング帆走の割合は $66.4 \pm 16.4\%$ であった。

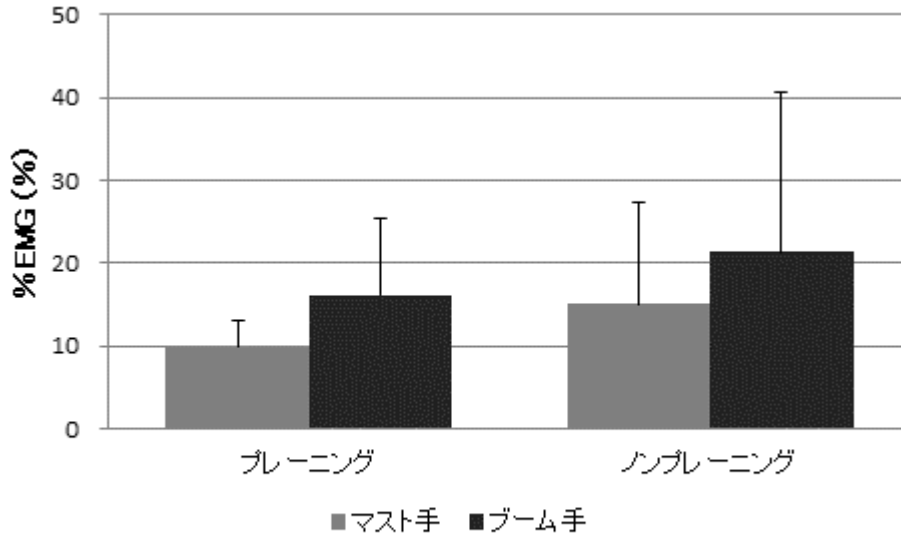


図1 プレーニングとノンプレーニングおよびマスト手とブーム手における上腕二頭筋の%EMGの比較(n=5)

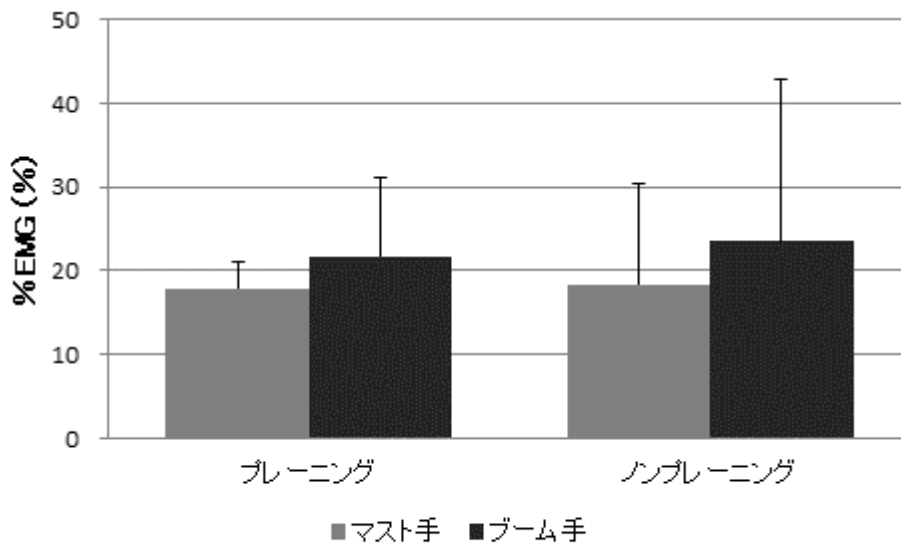


図2 プレーニングとノンプレーニングおよびマスト手とブーム手における上腕三頭筋の%EMGの比較(n=5)

4. 考察

ウィンドサーフィンにおける帆走は、セールが受けた風の力をボードに伝えることによって起こるが、帆掛け船のように風に押される場合とセール面のドラフト（曲がり）に沿って風を流し生じた圧力差による揚力を利用する場合がある（村田 2005）。前者がノンプレーニングにおける帆走状態であり、本実験におけるノンプレーニング時は、RS:X 級でパンピングを用いた際（藤原 2013）およびテクノ 293 クラスの模擬レース時（萩原と石井 2015）の帆走速度および風速と同等の弱風域のコンディションであった。一方、後者がプレーニングにおける帆走状態であり、セールに掛かる力を引き込むことで揚力に変え、風速よりも早く帆走することができる（村田 2005）。本実験では海上のブローの風速を計測することはできなかったが、ブローによるプレー

ニング時は、平均帆走速度がノンプレーニング時と比較し有意に高い 9.84m/sec であり、プレーニング可能風速である 5m/sec を上回る中風域のコンディションであった。他方、風力エネルギーは風速の 2 乗から 3 乗に比例し、風速 10m/sec 時のセールに掛かる風力は風速 5m/sec 時の 4~9 倍に達すると言われている（松本 1997）。プレーニング時のセールに掛かる力は、ノンプレーニング時に比べて数倍高く、実際に腕力で引き込むことは不可能となる。そこで、通常の帆走時には、プレーニング時に、ハーネスシステムと言われる補助具（腰部に装着したハーネスのフックをブームのハーネスラインに掛ける）によって、体重を利用してセールを引き込み帆走している。

プレーニング時の平均心拍数は 175.1beats/min であり、年齢から推定（220-年齢）した最大心拍数（HRmax）に対する割合に換算すると 98%HRmax であった。Schönle & Rieckert（1983）は強風時のセーリング中の最高心拍数が 200beats/min に達したと報告している。また、高倉は（1992）は、強風時のセーリング中にプロフェッショナルセーラーの平均心拍数が 92%HRmax を示し、強風時のセーリングは極めて高強度の運動と予測されると述べ、風速と運動強度に関連性があることを示唆している。本研究におけるプレーニング時の風速は中風域であり、運動強度は強風時に比べ低いと考えられる。しかし、先行研究に比べて被検者の年齢が高いこと、および帆走技術レベルが低いことを考慮すると、中風域であっても、プレーニング時の心拍数は高強度運動レベルに達することが明らかとなった。一方、RS:X 級においては、風上および風下方向のいずれの帆走ともに、運動強度は 80%VO₂max 以上である（Castagna et al., 2007）と報告されている。本研究におけるノンプレーニング時の平均心拍数は、プレーニング時に比べて低く、最大心拍数に対する割合は 76%HRmax を示した。RS:X 級ではパンピング動作により運動量が増加するために弱風域のノンプレーニングに比べて運動強度は高くなると考えられるが、ウィンドサーフィンの帆走における運動強度はプレーニング時が最も高くなると推測される。

Medved & Oreb（1984）は、コースレース直後の血中乳酸濃度が 2.06~4.98mmol/l であったことから、ボードセーリングのレースは有酸素性および無酸素性運動が混合状態で行われていたと報告している。また、高倉（1992）も同様に、コースレースにおける換気性作業閾値の結果から、ボードセーリング時は有酸素性および無酸素性運動が混合状態によって行われており、特にリーチング（風下への帆走）やランニング（真風下への帆走）時は無酸素性運動の割合が多くなると述べている。さらに、ボードセーリングの中でもスラロームやウェーブパフォーマンスは競技特性上、リーチングが主になるために、無酸素性運動の割合が多くなると推測している。一方、ボードセーリング中は、両手は常にブームを握っていなければならない、前腕の手関節屈筋群は高強度の等尺性筋収縮を要する（Schönle & Rieckert, 1983）。また、等尺性筋収縮時は、作業負荷が高いほど、筋収縮による血管圧迫のため末梢血管の血流が阻害され、組織の酸素含量が減少して無酸素性代謝が用いられる（猪飼と田口 1986）。このことから、ボードセーリング時は組織内に乳酸が産出されやすく、血中乳酸濃度が高まる（高倉 1992）と言われている。本研究では、時折ブローが入るガスティな海上コンディションの中、全帆走時間に対するプレーニング帆走の割合が 24.2±15.4%、ノンプレーニング帆走の割合が 66.4±16.4%であり、帆走直後の血中乳酸値は 4.88mmol/l であった。また、肘関節の屈曲伸展力発揮に関わる上腕二頭筋および上腕三角筋の%EMG は、プレーニングとノンプレーニングにおけるマスト手とブーム手の比較において差は見られなかった。これらのことから、プレーニング時は、セールに掛かる風力が増大し、高強度の等尺性筋収縮を要すると考えられる。しかし、補助具であるハーネスシステムにより体重を利用してセールを引き込み帆走しているために、ノンプレーニング時における肘関節の筋力発揮様相と差異はなく、先行研究におけるコースレース直後の血中乳酸値と同等の蓄積であったと考え

られる。しかしながら、スラローム時は無酸素性運動の割合が高くなると推測されているように、全帆走時間に対するプレーニング帆走の割合が増加するほど無酸素性運動の割合も増加すると考えられる。

本研究における心拍数の結果からプレーニング時は高強度運動であると考えられるが、上肢の筋活動量はノンプレーニング時と同等であった。先行研究によると、実験室内のシミュレーター上でのパンピング動作では、上肢筋群が 66-94%MVC、下肢筋群が 16-40%MVC の筋活動を示し (Bunchanan et al., 1996)、その動作に手関節および足関節に関わる筋群が影響し (So et al., 2004)、海上でのパンピングを伴うセーリング中は上肢筋群および前脛骨筋が高い活動を示した (Dyson et al., 1996) と報告されている。これらのことから、セーリングにおいては、セールを引き込む上肢筋群の筋活動に加え、セールからの力をボードへ伝えるための下肢筋群の筋活動が貢献すると考えられる。さらに、5.0-6.5m²のセール使用時のセーリングにおけるハーネスラインには体重 1kg 当たり約 4.9N 程の力が掛かっていた (Walls & Gale, 2001) と報告されていることから、プレーニング時は、ハーネスシステムを利用してセールに掛かる揚力をボードへ伝える際に、下肢筋群において高強度の筋活動を示すものと推測される。このように、プレーニング時の生理的応答として、下肢筋活動を明らかにする必要性があると考えられる。しかし、本研究では、予備実験において下肢筋電図の測定を試みたが、電極貼付部位の浸水を完全に防ぐまでの防水処置を施すことができず、データを得ることができなかった。下肢筋活動の分析は今後の課題としたい。

5. まとめ

ウィンドサーフィンにおけるプレーニング時の生理的応答として、本研究の被検者においては、心拍数は高強度運動レベルに達するが、血中乳酸値はノンプレーニング時と同等であり、上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動はノンプレーニング時と差異はなかった。ウィンドサーフィンの帆走における運動強度はプレーニング時が最も高くなると考えられ、全帆走時間に対するプレーニング帆走の割合が増加するほど無酸素性運動の割合が増加すると考えられる。

付記

本実験に参加して頂いた被検者の皆様に心より感謝致します。また、本研究は平成 23-24 年度愛知淑徳大学研究助成を受けて行われた。

文献

- Buchana, M., Cunningham, P., Dyson, R. J., & Hurrion. P. D. (1996). Electromyographic activity of beating and reaching during simulated boardsailing. *J Sports Sci.*, 14(2), 131-137.
- Castagna, O., Vaz Pardal, C., & Brisswalter, J. (2007). The assessment of energy demand in the new Olympic windsurf board; Neilpryde RS:X. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 100(2), 247-252.
- Chamari. K., Moussa-Chamari. I., Galy. O., Koubaa. D., Hassen. C. B., & Hue. O. (2003). Correlation between heart rate and performance during Olympic windsurfing competition. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89(3-4), 387-392.
- Dyson, R. J., Buchana, M., Farrington, T. A., & Hurrion. P. D. (1996). Electromyographic activity during windsurfing on water. *J. Sports Sci.*, 14(2), 125-130.
- 藤原昌・萩原正大・石井泰光・山本正嘉 (2013) 「ウィンドサーフィン選手の帆走能力と技術をディファレンシャル測位 GPS を用いて評価する試みーパンピング動作を対象としてー」『スポーツパフォーマンス研究』5, 295-309.

- 萩原正大・中村夏実・平野貴也・宮野幹弘・千足耕一・山本正嘉 (2009) 「一流ウィンドサーフィン (RS:X 級) 選手の体力特性」『スポーツトレーニング科学』10, 33-39.
- 萩原正大・石井泰光・榮樂洋光・中村夏実・山本正嘉 (2013) 「日本人の一流 RS:X および Laser クラス競技者の身体および体力特性」『スポーツトレーニング科学』14, 1-7.
- 萩原正大・石井泰光 (2015) 「ウィンドサーフィン競技における模擬レース中の移動様相の特徴」『スポーツパフォーマンス研究』7, 320-333.
- 猪飼道夫・田口貞善 (1968) 「筋の酸素摂取量と作業能力Ⅱ」『体育の科学』18, 188-194.
- 松本和久 (1997) 「ウィンドサーフィンの魅力」『日本造船学会誌』811, 11-15.
- Medved, R., & Oreb, G. (1984). Blood lactic acid values in boardsailors. *J Sports Med Phys Fitness.*, 24(3), 234-237.
- 村田浩 (2005) 「ウィンドサーフィンの力学」『日本歯科大学紀要』34, 21-25.
- 室田泰弘 (1989) 「ウィンドサーフィン」『風力エネルギー』13, 14-16.
- Schönle, C., & Rieckert, H. (1983). Cardiovascular reactions during exhausting isometric exercise while windsurfing on a simulator or at sea. *Int. J. Sports Med.*, 4(4), 260-264.
- So, R., Chan, K.M., Appel, R., & Yuan, Y. (2004) Changes in the multi-joint kinematics and co-ordination after repetitive windsurfing pumping task. *J Sports Med Phys Fitness.*, 44(3), 49-257.
- 高倉実 (1992) 「換気性作業閾値からみたボードセーリングの運動強度」『琉球大学教育学部紀要』第二部 41, 237-245.
- 谷所慶・前川剛輝・平野貴也・広瀬秀一・高松潤二 (2009) 「日本人一流ウィンドサーフィン選手の有酸素作業能力」『トレーニング科学』21, 81-86.
- 津山直一・中村耕三 (2014) 『新・徒手筋力検査法』(原著第9版) 協同医書出版.
- Walls, J.T., & Gale, T.J. (2001). A technique for the assessment of sailboard harness line force. *J Sci Med Sport.*, 4(3), 348-356.