

# セーリング競技レーザーラジアル級における2kgの重り付加が 風上帆走の艇速に及ぼす影響

榮樂洋光\*, 石井泰光\*\*, 布野泰志\*\*\*, 中村夏実\*, 松下雅雄\*\*\*\*

## The influence of 2kg weight for the boat speed during laser radial class in sailing

Hiromitsu EIRAKU, Yasumitsu ISHII, Taishi FUNO, Natsumi NAKAMURA, Masao MATSUSHITA

### Abstract

The objective of present study was to assess the relationship of body weight and boat speed under a wind velocity condition (4-7 m/s) using Laser-Radial class (total length, 4.23 m; width, 1.37 m; weight, 58 kg; sail area, 5.76 m<sup>2</sup>). Sailing athletes (n=6) performed an upwind sail for 150 seconds with the conditions that wore a life jacket of 0 kg (0-CON) or 2 kg (2-CON) weight, and conducted randomly 4 times with a 150 seconds rest between each condition. The boat speed was measured at a sampling frequency of 15 Hz using a global positioning system (SPI-ProX). In 4-5 m/s wind velocity, no significant differences were observed in boat speed between each condition (0-, 2-CON). On the other hand, the boat speed in 5-7 m/s wind velocity was significantly increased in the 2-CON than in the 0-CON (p<0.05). The results of the present study suggest that increase of body weight is related to increase of boat speed. However, the speed was affected by the influence of wind velocity (4-5 m/s < 5-7 m/s).

**Keywords** : global positioning system, upwind, wind velocity

### I. 研究目的

セーリング競技は、気象、地形、海面などの環境と相手艇との位置関係を把握して、目的地までのコース選択を行い、着順を競うスポーツである。パフォーマンスを高めるためには、高い艇速を獲得することが重要である (Walls, 1998; Gladstone, 2002)。

高い艇速を獲得するためには、ハイクアウトと呼ばれる動作が重要である。ハイクアウトは、風によって生じる船を傾けるモーメントに対抗するために、船外へ身体を突出させて、船のバランス

を保ち、船の推進力を獲得するために行われている。この動作は、レース中に占める割合が大きく (Blackburn, 1994), 身体にかかる負荷が大きいため、生理学および体力測定から数多くの研究が行われている。これらの研究は、セーリング競技用のシミュレーターを用いたものが多く (Blackburn, 1994; Walls, et al., 1998; Maïsetti et al., 2006; Cunningham and Hale., 2007; Vangelakoudi et al., 2007; Vogiatzis et al., 2008, 2011), 統制された条件下で実験が行われている。一方、海上において風速条件を規定することで、環境条件を統制し

\* 鹿屋体育大学体育学部スポーツ・武道実践科学系

\*\* 国立スポーツ科学センタースポーツ科学研究部

\*\*\* 鹿屋体育大学非常勤研究員

\*\*\*\* 鹿屋体育大学名誉教授

た研究 (Castagna and Brisswalter, 2007; Castagna et al., 2007, 2008) も行われている。先行研究では、ウインドサーフィンの帆走技術に関する研究 (Walls & Gale, 2001; So et al., 2004; Castagna et al., 2008) は見られるが、ヨットの帆走技術, 特に艇速に着目した研究は行われていない。この理由としては、機器の重量や防水性から、海上の艇に測定機器を搭載することが困難であったことが挙げられる。

これまでセーリング競技の指導現場では、艇速を高めるために、レジスタンストレーニングや食事により体重を増加させる取り組みが行われている。体重を増加させることによって、船を起すモーメントが増加するため、強風時に艇速が高まると考えられている。この知見を支持するデータとして Tan et al. (2006) は、高校生を対象としたレーザー級の国際大会において体重と競技成績の関係を検討したところ、体重が大きい競技者ほどレース順位が高いことを報告している。この研究は、競技者の体重が大きいことは、間接的に競技成績を高めることを示唆している。しかしながら、競技者の体重が増加することによって、艇速が実際に増加するか検証した研究は見あたらない。

そこで本研究では、1人乗り艇種であるレーザーラジアル級を用いて、セーリング競技者を対象に、2kgの重りを付加することが艇速に及ぼす

影響について風速域ごとに検証することを目的とした。重りの付加による艇速の影響を明らかにできれば、セーリング競技の指導場面で、競技者に対して体重を増加させる意義について説明するための根拠になり、競技力向上や指導者の育成のために役立つと考えられる。

## II. 方法

### 1. 対象者

年間を通してセーリング競技を行っている者6名 (男性2名: 年齢 $20.5 \pm 0.7$ 歳, 身長 $167.7 \pm 5.4$ cm, 体重 $63.7 \pm 0.1$ kg; 女性4名: 年齢 $21.0 \pm 2.2$ 歳, 身長 $163.6 \pm 6.8$ cm, 体重 $60.3 \pm 3.9$ kg) を対象者とした。競技年数は $7.8 \pm 3.4$ 年 (男性:  $9.0 \pm 2.8$ 年; 女性:  $7.3 \pm 3.9$ 年) であった。表1に、対象者ごとの性別, 年齢, 身体特性および競技年数を示した。対象者の体重は、International Laser class association (2010) によるレーザーラジアル級の推奨体重 (55–70kg) の範囲にあるものとした。2人乗り艇種を専門としている者が含まれていたが、設定した風速条件で、正確に帆走することが可能であった。対象者には、事前に本研究の主旨や測定内容, 測定の危険性について説明を行い、書面にて同意を得た。なお、本研究はK大学倫理審査小委員会に倫理審査申請書を提出して承諾を受けた。

表1. 対象者の身体特性および競技年数

対象者	性別	年齢(years)	身長(cm)	体重(kg)	競技年数(years)
A	男性	20	163.9	63.6	11
B	男性	21	171.5	63.7	7
C	女性	24	163.2	62.7	13
D	女性	21	170.8	63.7	6
E	女性	20	165.9	59.9	6
F	女性	19	154.6	55.0	4
全体(N=6)		20.8 ± 1.7	165.0 ± 6.2	61.4 ± 3.5	7.8 ± 3.4
平均値 男性(N=2)		20.5 ± 0.7	167.7 ± 5.4	63.7 ± 0.1	9.0 ± 2.8
女性(N=4)		21.0 ± 2.2	163.6 ± 6.8	60.3 ± 3.9	7.3 ± 3.9

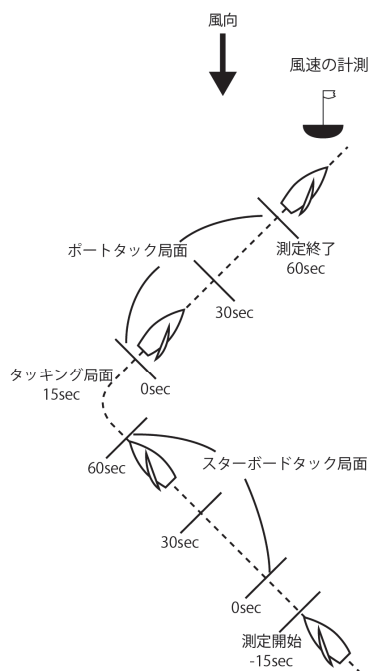


図 1. 実験の模式図

## 2. 実験の手順

対象者には、海上にて、ウォーミングアップとして帆走練習を約10分間行わせ、それから実験を開始した。風上への帆走は、ライフジャケットのみ着用する条件（以下、0kg条件と略す）と、ライフジャケットに2kgの重りを入れて行う条件（以下、2kg条件と略す）を4セットずつランダムに行わせた。風上への帆走は、左側方向の帆走（以下、スターボードタック局面と略す）を60秒間行わせ、15秒間以内に方向転換（タッキング動作）を行い、右側方向の帆走（以下、ポートタック局面と略す）を60秒間行わせた（図1）。方向転換に15秒以上の時間を要した場合は、帆走時間を15秒追加して、ポートタック局面で60秒間の帆走時間を確保するようにした。なお、方向転換時に船が転覆した場合は、スターボードタック局面のみ分析に用いた。セット間の休息時間は150秒以上として、疲労による影響が生じないようにした。また、1日あたりの総セット数が8-16セットになるようにした。

## 3. 実験の指示および風速の計測方法

測定を実施するにあたって、伴走船と風速測定

船の2艇のモーターボートを使用して計測した。伴走船では、対象者に測定開始および終了の指示と、重りの受け渡しを行った。また、セーリング競技の経験者が伴走船に同乗することにより、風速に合わせたセールのセッティングおよび適切なクローズホールド（風上帆走時に風向に対しておおよそ45度で帆走すること）で帆走されているか確認を行った。風速測定船は、スタート位置から150秒間の帆走後に到達すると予想される、風上まで移動した。移動した位置で、ハンド風速計（ADC Summit, SILVA, Sweden）を用いて、船上から約180cmの高さを保持して、風向を確認しながら15秒間隔ごとに計測した（Castagna et al., 2008）。風速計の測定精度は、風速3m/s以上では±5%以下である。本研究で対象とした風速域は、予備実験によりハイクアウトが行われる風速域である4-7m/sの範囲であった。風速は1m/sごと（4m/s条件：4m/s以上5m/s未満、5m/s条件：5m/s以上6m/s未満、6m/s条件：6m/s以上7m/s未満）にグループ化を行い、風速および負荷条件ごとにサンプル数が10以上になるようにした。1日で規定したサンプル数を満たさない場合は、複数日にまたがって計測を行った。なお、測定中に大幅な風の振れがあった場合は、測定を中止して、再度計測した。

GPS 機器と同期して、測定開始および終了時間を記録するために、測定者はGPS型腕時計（ForeAthlete 610, Garmin, USA）を着用して、時間を管理しながら計測を行った。測定者と競技者の連絡を円滑に行うために、無線電話装置（VXD-10, バーデックススタンダード, 日本）を使用した。

## 4. 実験に用いた用具および測定機器

実験では、1人乗りヨット艇種であるレーザーラジアル級（全長4.23m, 幅1.37m, 重量58kg, セール面積5.76m<sup>2</sup>）を使用した。レーザーラジアル級の航跡および艇速を計測するために、GPS（SPI-ProX, GPSports, Australia）を使用した。GPSは、重量76g, 大きさは48mm × 20mm ×

87mm であり, GPS の測位は15Hz で計測することができる. GPS は単独測位方式 (non-differential) であり, 速度の平均誤差は  $-0.08 \pm 0.15\text{m/s}$  である. 誤差の許容限界 (limits of agreement) は  $-0.36 - 0.21\text{m/s}$  であった.

GPS を使用するにあたって, 上空360度見渡せる箇所に GPS を10分間以上置き, 衛星を十分に捕捉してから計測を開始した. GPS 本体には防水機能がないため, GPS は防水のプラスチックケース (LPL806, Lock & Lock, 大韓民国:  $135 \times 102 \times 52\text{mm}$ ) に入れて使用した. GPS の重量と防水ケースの重量の総計は, 280g 未満であるため, セーリングの帆走動作に支障を及ぼすものではなかった. 防水ケースに入れた GPS を, 船首からマストホールを結ぶ直線上の船首から81.3cm の位置に, マジックテープを用いて取り付けた.

競技者には0.8kgのライフジャケット (Liberty world cup weight jacket, Liberty) を常時着用させた. 2kgの負荷条件では, ライフジャケットの正面ポケットに1kgの重り ( $173 \times 103 \times 8\text{mm}$ ) を2枚挿入した. ライフジャケットの重りの中心位置は, 立位時  $120.8 \pm 2.7\text{cm}$  (男性:  $121.5 \pm 3.0\text{cm}$ , 女性:  $120.5 \pm 3.0\text{cm}$ ) であり, 身長に対する重りの高さは,  $73.3 \pm 1.4\%$  (男性:  $72.4 \pm 0.5\%$ , 女性:  $73.7 \pm 1.5\%$ ) であった. 体重に対する2kg条件における重りの割合は,  $4.6 \pm 0.3\%$ , (男性:  $4.4 \pm 0.0\%$ , 女性:  $4.7 \pm 0.3\%$ ) であった.

## 5. データの解析方法

計測完了した GPS はドッキングステーションに接続して, USB 経由でパーソナルコンピュータと接続した. GPS 付属のソフトウェア (Team AMS) を使用して, データのダウンロードを行い, データを確認後に CSV ファイルの出力を行った. MATLAB R2010b (MathWorks, USA) を用いて, CSV ファイルの読み込み, 緯度・経度から平面直角座標系の変換, 速度の算出を行った. 緯度, 経度から平面直角座標系の換算方法は, Bowring (1996) に基づいて行った. 座標変換の

原点は, 東経131度0分0秒, 北緯33度0分0秒とした.

実験試技の分析は, スターボードタック局面とポートタック局面を30秒ごとに前半と後半に分けて, 艇速および風速の平均値を求めた. 対象者の平均値を求めるにあたって, スターボードタック局面とポートタック局面や前半および後半に関係なく, 風速条件ごとに艇速の平均値を求めた. なお, 方向転換後に, 艇速が即座に戻らない場合は, ポート局面の後半30秒のみ分析に用いた.

## 6. 統計処理

すべての測定値は, 風速条件 (風速4m/s 条件, 風速5m/s 条件, 風速6m/s 条件) および負荷条件 (0kg, 2kg) ごとに, 平均値  $\pm$  標準偏差で示した. 風速条件および負荷の効果を検定するために, 対応のある二元配置分散分析を行った. 主効果の検定には, Tukey の HSD 検定による多重比較を用いた. 交互作用が有意に認められた場合は単純主効果検定を行った. すべての検定は, 有意水準は5%未満とした.

## Ⅲ. 結果

本研究では, 風速条件および負荷条件を合計した総サンプル数は867であった. 条件ごとのサンプル数を提示すると, 0kg条件では, 風速4m/s 条件: 147サンプル, 風速5m/s 条件: 141サンプル, 風速6m/s 条件: サンプル111であり, 2kg条件では, 風速4m/s 条件: 202, 風速5m/s 条件: 172, 風速6m/s 条件: 94であった.

図2には, 風速条件ごとに0kg条件および2kg条件における艇速を示した. 風速条件および負荷条件に交互作用が認められたため, 単純主効果検定を行ったところ, 風速4m/s 条件では, 負荷条件に有意差は認められなかった. 一方, 風速5m/s 条件および風速6m/s 条件では, 0kg条件に比べて2kg条件は艇速が有意に大きかった. さらに, 風速条件間の艇速を比較したところ, 2kg条件のみ, 風速4m/s 条件に比べて風速6m/s 条件の艇速が有

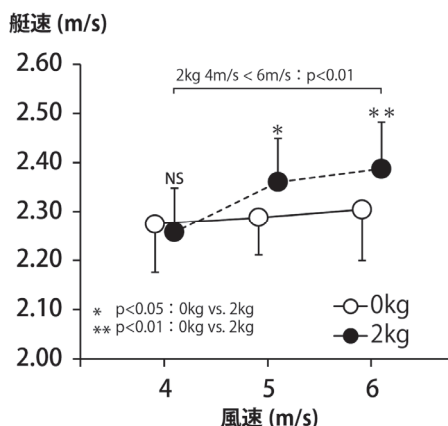


図2. 0kg条件および2kg条件における各風域の艇速

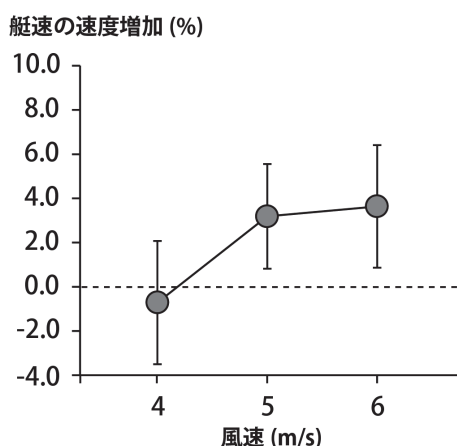


図3. 2kgの重り付加による艇速の増加率

意に大きかった。

図3には、風速条件ごとに0kg条件に対する2kg条件の艇速の増加率を示した。艇速の増加率は、風速4m/s条件では $-0.7 \pm 2.5\%$ 、風速5m/s条件では $2.9 \pm 2.3\%$ 、風速6m/s条件では $3.5 \pm 2.6\%$ であった。

#### IV. 考察

##### 1. 2kgの重り付加が艇速を増加させた理由

本研究はセーリング競技者を対象に、ウエイトジャケットの着用による体重の増加が、艇速に及ぼす影響を検討した。風速4m/s条件では、負荷条件間による艇速の差は認められなかった。一方、風速5m/sおよび6m/s条件においては、2kg条件は0kg条件に比べて艇速が有意に増加した。艇速が増加した要因としては、ハイクアウトを体重が増加した状態で行うことにより、風によって生

じる船を傾けるモーメントに対抗できるようになり、船のバランスを保ち、船の推進力を獲得できたことが影響したと考えられた。さらに、体重の増加により、高い風速域まで、セールにかかる風圧を調整するために行われるメインシートの調整動作（シートトリム）を行わずに帆走できるようになり、風の力を逃がすことなく船の推進力に変換できたことも、艇速を高めた理由だと推察される。

風速4m/s条件では、2kg条件は0kg条件に比べて、重りを付加しているため、股関節および膝関節の伸展角度が小さくなり、ハイクアウトの大きさが小さくなっていたと推察される。船を起すモーメントは、体重とハイクアウトの大きさによって決定することから、負荷条件間で船を起すモーメントが同程度になったため、艇速にも差が生じなかったと考えられる。

風速5m/s条件および風速6m/s条件では、両方の負荷条件において股関節および膝関節が完全伸展しているハイクアウトが行われていたと考えられる。0kg条件は、風速が高まるにつれて、風によって生じる船を傾けるモーメントが、自体重によって船を起すモーメントよりも大きくなるため、ハイクアウトだけでは船のバランスを保つことが難しくなる。これに対応するためには、メインシートを緩めて、セールに加わる風圧を弱めることで、船を倒す方向に作用するモーメントを低減させる必要がある。このメインシートの調整動作（シートトリム）は、セールにかかる風の力を減少させるため、その動作に伴い船の推進力を減少させた可能性が考えられる。

一方、2kg条件では、重りを着用することにより、ハイクアウトによって船を起すモーメントが増大するため、0kg条件に比べて、風速が高まってもシートトリムを行う必要がなく、ハイクアウトだけで帆走することが可能である。したがって、シートトリムを行わなくても帆走できる風速が高まるため、風の力を効率よく船の推進力に変換できるようになったことが、0kg条件に比べて2

kg条件において艇速が高まった理由だと考えられる。

## 2. 2kgの重り付加が競技パフォーマンスに及ぼす影響

風速が増加するにつれて、0kg条件と2kg条件の艇速の差が大きくなることが明らかになった。風速5m/s条件および風速6m/s条件において、体重の増加による艇速の増加は0.05m/sおよび0.08m/sであり、艇速の増加率は2.9-3.5%であった。

例えば、風速6m/s条件の場合、艇速を獲得する能力が同程度である2名に対して、片方の競技者に対して2kgの重りを着用させると、重りを着用しない競技者に比べて艇速が増加する。これは、1分間で4.8m前方に位置することになり、10分間帆走した場合は、両者には48mの差が生じることが推察される。この艇速の増加は、実際の試合を想定すると、風上帆走局面におけるスタートから第1マークまでの到達時間を短縮できることを意味している。したがって、体重の増加による艇速の増加は、数値としては小さなものであるが、セーリング競技のレースを想定すると決して小さなものではないと考えられる。

スタートから第1マークまでのレース順位は、ゴール時の順位と密接に関連していることから(千足ほか, 2007), 体重を増加させることは艇速を増加させ、レース順位を高めることにつながると考えられる。さらに、この見解を支持する研究として、Tan et al. (2006)は、高校生を対象としたレーザー級の国際大会において、体重が大きな競技者ほどレース順位が高いことを報告している。この知見は、体重が大きいと風上への帆走時に艇速が増加して、その結果としてゴール時の順位が高まり、体重とレース順位に関係性があることを示したものである。

本研究の対象者は、International Laser class association (2010)が推奨する体重の範囲(55-70kg)としたため、平均体重は $60.3 \pm 3.9$ kgであった。重りを着用することにより体重が2kg増加し

たため、Blackburn (2001) および Goodison (2009)が提唱している適正体重(Blackburn:65-72kg; Goodison:65-70kg)により近づくため、レーザーラジアル級の艇性能を引き出せる体重になり、艇速が増大したものと推察される。本研究では、レーザーラジアル級の推奨体重(International Laser class association, 2010)にしたがい、55kg以上70kg未満のセーリング競技者を対象としたため、この推奨体重以上の競技者を対して、体重を増加させた場合は、結果が異なる可能性も考えられる。

本研究の結果は、セーリング競技の指導現場でいわれていた、体重を増加させることにより艇速が増加するという経験知に対して、科学的な裏付けを示すものである。本研究で得られた知見は、風上方向への帆走に限定されるが、体重が軽い競技者に対して、ウエイトトレーニングや食事により体重増加をさせる意義を説明する根拠になりえる。なお、本研究では、対象者の体力レベルも考慮して、負荷条件の設定を0kg条件と2kg条件に限定して行った。さらに、負荷条件を4kgや6kgとした場合、艇速の増加がどの程度生じるかは、今後の検討課題である。

## V. まとめ

本研究では、セーリング競技者を対象に、レーザーラジアル級を用いて、風速4-7m/sの範囲で、2kgの重り付加が艇速に及ぼす影響について検討した。本研究における主な結果は、以下の通りである。

- 1) 2kgの重りを付加することによって、風速4m/s条件では艇速の増加は認められないが、風速5m/s条件および風速6m/s条件では、艇速が有意に増加することが認められた。したがって、5-6m/sの風速域において、体重を増加させることは艇速の増加に有効である可能性が示唆された。
- 2) 風速5m/s条件および風速6m/s条件において、2kgの重りを付加することによる艇速の増加は

0.05-0.08m/s であり, 艇速の増加率は2.9-3.5%であった。体重の増加による艇速の向上は必ずしも大きなものではないが, 実際のレースを想定すると, 順位に影響する変化であると考えられた。

## 文献

- Blackburn, M. (1994) Physiological responses to 90 min of simulated dinghy sailing. *Journal of Sports Sciences*. 12 (4): 383-390.
- Bowring, B. R.(1996) Total inverse solutions for the geodesic and great elliptic. *Survey Review*. 33 (261): 461-476.
- Castagna, O., and Brisswalter, J. (2007) Assessment of energy demand in Laser sailing: influences of exercise duration and performance level. *European Journal of Applied Physiology*. 99 (2): 95-101.
- Castagna, O., Vaz Pardal, C., and Brisswalter, J. (2007) The assessment of energy demand in the new Olympic windsurf board: Neilpryde RS:X. *European Journal of Applied Physiology*. 100 (2): 247-252.
- Castagna, O., Brisswalter, J., Lacour, J., and Vogiatzis, I.(2008) Physiological demands of different sailing techniques of the new Olympic windsurfing class. *European Journal of Applied Physiology*. 104 (6): 1061-1067.
- 千足耕一, 榮樂洋光, 藤原昌, 中村夏実, 松下雅雄 (2007) セーリング競技の戦術に関する基礎研究—第1マーク回航順位とフィニッシュ順位の関係—。鹿屋体育大学学術紀要。鹿屋体育大学学術研究紀要。 35 : 55 – 59.
- Cunningham, P., and Hale, T.(2007) Physiological responses of elite Laser sailors to 30 minutes of simulated upwind sailing. *Journal of Sports Sciences*. 25 (10): 1109-1116.
- Gladstone, Bill .(2002) North U. Performance Racing Tactics Sixth edition. North U. USA.
- International Laser Class Association.(2010) 2010 Handbook-Constitution and Class Rules- United Kingdom. p.4.
- Maïsetti O, Boyas S, Guével A.(2006) Specific neuromuscular responses of high skilled laser sailors during a multi-joint posture sustained until exhaustion. *International Journal of Sports Medicine*. 27 (12): 968-975.
- Spurway, N.(2007) Hiking physiology and the "quasi-isometric" concept. *Journal of Sports Sciences*. 25 (10): 1081-1093.
- Tan,B., Aziz, AR., Spurway, NC., Toh, C., Mackie, H., Xie, W., Wong, J, Fuss, FK., and Teh, KC. (2006) Indicators of maximal hiking performance in Laser sailors. *European journal of Applied Physiology*. 98 (2): 169-176.
- Vogiatzis, I., Tzineris, D., Athanasopoulos, D., Georgiadou, O., and Geladas, N. (2008) Quadriceps oxygenation during isometric exercise in sailing. *International Journal of Sports Medicine*. 29 (1): 11-15.
- Vogiatzis, I., Andrianopoulos, V., Louvaris, Z., Cherouveim, E., Spetsioti, S., Vasilopoulou, M., and Athanasopoulos, D. (2011) Quadriceps muscle blood flow and oxygen availability during repetitive bouts of isometric exercise in simulated sailing. *Journal of Sports Sciences*. 29 (10): 1041-1049.
- Vangelakoudi, A, Vogiatzis, I, Geladas, N. (2007) Anaerobic capacity, isometric endurance, and Laser sailing performance. *Journal of Sports Sciences*. 25 (10): 1095-1100.
- Walls, J. Bertrand, L. Gale, T., and Saunders, N. (1998) Assessment of upwind dinghy sailing performance using a virtual reality dinghy sailing simulator. *Journal of Science and Medicine in sports*. 1 (2): 61-71.
- Walls, JT. & Gale, TJ. (2001) A technique for the assessment of sailingboard harness line force. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 4 (3) : 348-356.