

Monograph

Análisis Electromiográfico en un Simulador de Windsurf

Philippe Campillo¹, Barbara Leszczynski¹, Cédric Marthe² y Jean-Michel Hespel¹¹Faculty of Sport Science, University of Lille 2, Ronchin, Francia.²AIRBUS Company, Aircraft Industry, Francia.

RESUMEN

Las últimas innovaciones técnicas en windsurf se han centrado en la evolución de la tabla y de las velas. Solo recientemente los fabricantes han puesto su interés en las botavaras que se han vuelto más delgadas y livianas que en el pasado. Un grupo de seis *windsurfers* experimentados participaron en un estudio en un simulador de windsurf terrestre. El objetivo del estudio consistió en analizar la fuerza muscular que se aplica en las diferentes técnicas de sostén de la botavara. La prueba consistió en registrar la actividad electromiográfica global de varios músculos del antebrazo utilizando electrodos colocados en la piel. Fueron simuladas dos condiciones en las que se utilizaron dos intensidades de viento diferentes: media (15 kg) y fuerte (25 kg). Se evaluaron botavaras de tres diámetros diferentes (28, 30 y 32 mm). Se analizaron cuatro posiciones diferentes de las manos sobre la botavara: la mano delantera y/o la mano trasera en pronación y/o supinación. Se observaron variaciones significativas en la actividad eléctrica de los músculos ($p < 0,05$) dependiendo del tipo de técnica empleada para sostenerla botavara y del diámetro de la misma. La posición con las dos palmas en supinación sobre la botavara de 28 mm de diámetro fue la más económica en términos musculares, notablemente en la flexión del antebrazo. La confirmación de los resultados podría hacer que los *windsurfers* revisen el posicionamiento de la botavara y la postura que adaptan para gastar la menor cantidad de energía posible.

Palabras Clave: antebrazo, rendimiento, windsurf

INTRODUCCION

La práctica de windsurf en las etapas iniciales, a menudo provoca dolores, calambres o espasmos musculares. Esto también se produce en los expertos que entrenan intensivamente. Estos síntomas se observan principalmente en los antebrazos. Los dolores de los antebrazos son a menudo intolerables durante la navegación y en algunos casos hacen que la persona abandone la actividad (Jablecki, 1999). A veces, algunos atletas padecen un raro síndrome de dolor crónico en sus antebrazos (Fontes et al., 2003; Kouvalchouk et al., 1993; Rodineau, 1998). Ellos se someten a una operación en la cual se corta la fascia del antebrazo para permitir un desarrollo adicional. Como en otras actividades atléticas (Bird y McCoy, 1983; Gainor, 1984) estas nuevas prácticas médicas y quirúrgicas son bastante raras, pero todavía causan preocupación.

Para un *windsurfer*, el dolor muscular agudo sigue siendo una preocupación, aunque esta actividad provoca pocos traumas o patologías (Habal, 1986; Porcella et al., 1992; Schonle, 1988). En el año 2003 se realizó una encuesta para evaluar correctamente el número de *windsurfers* que padecía dicho dolor y el impacto que éste tenía sobre su actividad. Los resultados confirmaron la importancia de la mialgia en el windsurf en 26 *windsurfers* que competían a nivel regional. Esto ya había sido previamente observado en un estudio realizado con 119 *windsurfers* en el Norte de Francia (encuestados desde septiembre de 1982 hasta julio de 1983), donde la patología muscular era más notable: 64% de los *windsurfers* padecían calambres, 44% mialgia, 52% rigidez y 23% sufrían diversas heridas musculares.

Los estudios científicos relacionados a la práctica de windsurf no son numerosos. La mayoría de los estudios están relacionados con los traumas que ocurren durante la práctica del deporte (Gosheger et al., 2001; Madsen et al., 1986; Nathanson y Reinert, 1999; Petersen et al., 2003; Prymka et al., 1999; Rosenbaum y Dietz, 2002; Salvi et al., 1997). Otros dependiendo del nivel de competición de los sujetos, analizan ciertos esfuerzos fisiológicos (Bachemont et al., 1984; Chamari et al., 2003; Ciuti et al., 1996; Vogiatzis et al., 2002). Algunos estudios que han utilizado la electromiografía (Dyson et al., 1996; Gheluwe et al., 1998; Guerrin, 1987; Meurgey, 1994) observaron que en el cuerpo de un *windsurfer* se pueden distinguir dos secciones anatómicas, en base al tipo específico de actividad muscular: una sección superior formada por las extremidades superiores, pecho y tronco, y una sección inferior formada por las extremidades inferiores. El grupo superior trabaja en tracción y busca la mejor ubicación para la resistencia - velocidad; el grupo inferior permite apoyar el cuerpo en la tabla y encontrar el equilibrio.

Actualmente las investigaciones tecnológicas en el ámbito del windsurf, se concentran principalmente en la evolución de las velas y de la tabla; sólo recientemente los fabricantes se han interesado en las botavaras, que en la actualidad son más delgadas y livianas que en los años anteriores. El corte se ha vuelto más ovalado y la curva menos pronunciada.

Sin embargo, estas innovaciones se basan en los "sentimientos" y las sensaciones de los *windsurfers*, ya que hay poca información y estudios científicos que apoyen estos cambios.

El objetivo de nuestro estudio fue primero elaborar y validar nuestro simulador terrestre de windsurf para recrear en el laboratorio un ambiente similar y simular los inconvenientes para el *windsurfer* de una manera lo más semejante a la realidad posible. Segundo, nuestro objetivo fue determinar la influencia de la posición de las manos sobre la actividad de las áreas musculares anteriores de los antebrazos.

MÉTODOS

En el estudio participaron seis *windsurfers* derechos de sexo masculino, que competían a nivel regional.

La edad, talla y peso promedio (\pm SD) de los sujetos fueron ($22,4 \pm 2,7$) años, ($1,74 \pm 0,9$) m, y ($68,9 \pm 7,5$) kg, respectivamente. El criterio de selección de los participantes incluyó la ausencia de desórdenes neuromusculares o musculo-esqueléticos previos relacionados a los miembros superiores. Luego de que se les informara acerca de los objetivos y de los posibles riesgos de participar en este estudio, los sujetos dieron su consentimiento informado por escrito.

En la Figura 1 se observa un diagrama del simulador empleado. Este comprendía una zona limitada en el suelo de 60 cm x 40 cm, dónde los sujetos se paraban. El aparejo (vela) se realizó con una sección de un mástil que medía 3,5 m y una botavara unida mediante una cuerda que simulaba la tensión producida por la vela. La fuerza del viento fue simulada ejerciendo una fuerza de tracción en la botavara. El sistema requirió el uso de una viga transversal de levantamiento de pesas electrónica semejante al tipo Bérénice (Verdera, 1999).

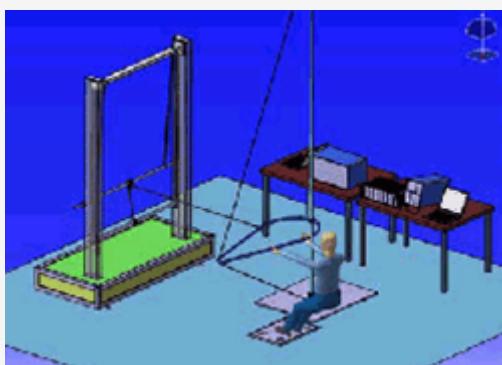


Figura 1. Diagrama de representación del simulador de windsurf terrestre que permite la simulación de una práctica de windsurf utilizando el software CATIA V5. El sistema estaba compuesto por varios elementos: Una barra de levantamiento de pesas electrónica que representaba la fuerza de tracción aplicada a la botavara mediante un cable de acero, el sistema de análisis electromiográfico y la base fija para el mástil.

Este aparato puede reemplazar al equipo tradicional (mástil de hierro, barra libre...) mediante el uso de una barra unida a

pilares oscilantes controlados por un motor eléctrico. Esto permite la ejecución de todos los tipos de movimiento, y por lo tanto de todos los tipos de contracciones musculares (isométricas, anisométricas y pliométricas), con restricciones mecánicas bien definidas. El motor eléctrico sigue un programa para estandarizar el esfuerzo impuesto al atleta. La función de motor está controlada por las leyes del electromagnetismo y por lo tanto no depende de factores externos. Una caja de control permite la regulación de diferentes parámetros que cambian la fuerza de ascenso y descenso, y la posición de referencia para la barra (cuando la barra es soltada, regresa automáticamente a la posición de referencia). La viga transversal se usa isométricamente, lo que significa que el sujeto deberá luchar para no seguir el movimiento que le impone la barra.

Se utilizó un sistema de registro de actividad electromiográfica global para medir la actividad muscular de los antebrazos y más precisamente de los flexores superficiales en los dedos. Se usaron seis sensores; tres en cada brazo (Figura 2). Para recibir una señal de buena calidad, la piel debe ser preparada, luego se deben colocar los electrodos y finalmente se debe regular (aumentar) la amplificación del aparato. Las actividades electromiográficas globales se detectaron mediante una derivación bipolar con la ayuda de un electrodo de superficie de tipo *Beckman*, con un diámetro de 8 mm. Los mismos están compuestos por una superficie plástica que contiene un bloque de cloruro de plata (Ag/AgCl). Para asegurar el contacto entre los electrodos y la piel se utilizó un gel electrolítico.

La distancia entre los electrodos fue de 2 cm y los mismos fueron colocados en la piel mediante adhesivos de dos lados siguiendo la dirección de las fibras musculares. La exfoliación de la capa superficial de la piel se realizó utilizando un material abrasivo. Antes de colocar los electrodos se desengrasó la piel con una mezcla de alcohol y éter para disminuir la resistencia eléctrica de la misma.

Las señales electromiográficas obtenidas fueron amplificadas por el instrumento de medición a una frecuencia de entre 20 Hz y 1000 Hz y fueron visualizadas con la ayuda de un osciloscopio catódico que permitió que el experimentador las controle.

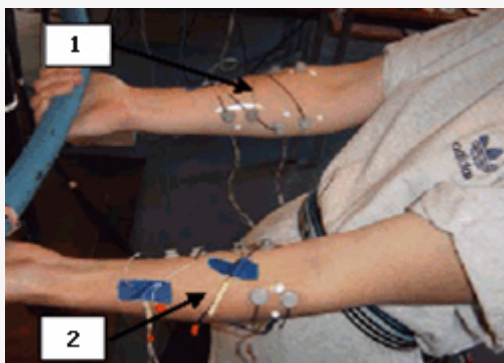


Figura 2. Ubicación de los electrodos en el antebrazo del brazo delantero (1) y trasero (2).

Para que los registros del simulador se adapten a las características de cada sujeto fue necesario realizar varios ajustes. 1) Los primeros ajustes estuvieron relacionados con el aparejo (vela): Los sujetos regularon a gusto la altura de la botavara. La distancia entre la plataforma de fuerza y el pie del mástil fue estandarizada (utilizamos las medidas obtenidas con un flotador como los de *Fórmula*): ancho (100cm) y distancia del pie del mástil hasta el punto medio entre las correas para los pies (78 cm).

El pie del mástil fue colocado 50 cm adelante y 78 cm al costado del centro de la zona limitada. 2) A continuación los sujetos subieron a la plataforma para poder familiarizarse con el simulador. Los sujetos realizaron algunas acciones de bombeo (abrir y cerrar la vela varias veces) (la Bérénice no aplica más fuerza que la masa de la barra). A continuación se solicitó a los sujetos que se colocaran en una posición similar a la que adoptan cuando navegan con vientos de costado (la fuerza aplicada por la Bérénice es perpendicular a la botavara), y que movieran la barra Bérénice hasta que encontraran una posición en donde se sintieran en equilibrio y estables. En ese punto realizamos una marca en la estructura del Bérénice para el posicionamiento de la barra. 3) además se realizó otra marca en el primer tercio de la botavara que correspondía a la proyección del centro del área de la vela sobre la botavara. Los sujetos debían posicionar sus manos de acuerdo a esta marca.

Después de una entrada en calor específica individualizada, los sujetos se subieron al simulador de windsurf terrestre. La

posición inicial fue la siguiente: los sujetos se colocaban en la zona limitada y allí debían sujetar la vela con la mano delantera tomando la botavara y la mano trasera simplemente apoyada en la misma, lista para resistir las fuerzas a las que será sometida. Ellos debían tomar la vela tirando con la mano delantera para que el cable que une la botavara al marco de la Bérénice formara un ángulo de 90° con la botavara. Los sujetos debían encontrar la propia velocidad de viento lateral para poner la barra de la Bérénice en el punto previamente marcado. Los sujetos no enfrentaban ninguna otra fuerza que no sea el peso del aparejo (vela); los brazos y piernas permanecían extendidos. Ellos debían sujetar el cable que une la botavara al marco de la Bérénice, mientras mantenían el aparejo y resistían las fuerzas aplicadas por la Bérénice. Una vez que alcanzaban esta posición, comenzaba el registro de las fuerzas electromiográficas y de la Bérénice.

Cada sujeto realizó un total de 6 carreras de 2 minutos de duración cada una. Las carreras fueron realizadas con botavaras de tres diámetros diferentes (28, 30 y 32 mm) seleccionados a partir de un estudio realizado con 26 windsurfers y dos pesos de tracción diferentes (15 y 25 kg) que simulaban un viento de intensidad media y fuerte, respectivamente. Los sujetos debían realizar el ejercicio con botavaras de tres diámetros diferentes y dos pesos diferentes.

Durante cada carrera, los sujetos debían colocar las manos en las cuatro posiciones posibles en orden aleatorio: las dos palmas en posición supina, las dos palmas en pronación, una palma en pronación y la otra en supinación. Los sujetos debían cambiar las posiciones de las manos cada 15 segundos. El tiempo estimado necesario para cambiar las posiciones fue de 5 segundos por lo que la sucesión de posiciones comprendía 75 segundos, más el tiempo necesario para levantar la barra hasta la posición marcada, lo que significaba un tiempo máximo de 2 minutos.

Una vez que se encontraban en el simulador, los sujetos debían mantener las mismas posiciones estudiadas durante quince segundos. El análisis de los datos se realizó en un intervalo de 5 segundos, situado al medio de los 15 segundos que correspondían a cada una de las cuatro posiciones.

Los datos fueron registrados mediante una tarjeta analógica/digital (*Computer Boards, PCM-DAS16D/16*) con una frecuencia de 1000 Hz y fueron analizados según el protocolo de Meurgey (1994).

Los gráficos representaban la actividad eléctrica muscular integrada a lo largo del tiempo.

Posteriormente las líneas obtenidas fueron analizadas para determinar cual era el diámetro de botavara y la posición de las manos a quienes correspondía la actividad eléctrica más débil. Este estudio fue realizado en dos pasos:

1. Primero, comparamos las líneas obtenidas en las cuatro posiciones de las manos con un diámetro de botavara con una determinada fuerza de tracción para cada una de las seis carreras. Al final de esta primera comparación, registramos en cada carrera la posición de las manos en donde la actividad eléctrica fue más débil.
2. Segundo, comparamos las posiciones de las manos en las que fue hallada la menor actividad eléctrica con cada uno de los diámetros de la botavara utilizados.

Los datos fueron analizados mediante el software SPSS 10.1 para Windows. Los resultados se presentan como media \pm desviación estándar (\pm DS).

Evaluamos la influencia del diámetro de la botavara (28 mm, 30 mm, 32 mm) sobre la fatiga del antebrazo dependiendo cual mano era la delantera y cual la trasera, sin importar el peso de tracción (15 kg o 25 kg) utilizando el test no paramétrico de Friedman para varias muestras y el test de Wilcoxon para realizar el apareamiento de las muestras. El mismo se realizó para analizar el efecto de la técnica de sostén de la botavara utilizada (PP, SS, SP, PS) sobre la fatiga de los antebrazos, cualquiera haya sido el diámetro o el peso de tracción utilizado en los mismos tests. La significancia estadística fue fijada en $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los resultados significativos arrojados por el test de Friedman demuestran que hay diferencias importantes en los valores electromiográficos en los antebrazos, de la mano delantera y de la mano trasera dependiendo del diámetro de la botavara o de la técnica de sostén utilizada, cualquiera sea el peso de tracción utilizado (15 kg o 25 kg).

En la Figura 3A se observa que el 68% de los sujetos utilizaron mínimamente los antebrazos ($p < 0,01$) cuando utilizaban la botavara de 28 mm de diámetro.

Esto sólo se observó en el 32% de los que utilizaron las botavaras de 30 mm de diámetro y en el 1% de los que utilizaron las de 32 mm de diámetro. Para el 42% de los sujetos ($p < 0,001$), la técnica de sostén aplicada menos extenuante fue la que

implicaba que las palmas se ubicaran en posición supina (SS). La otra técnica elegida por el 28% de los sujetos fue aquella en la cual la palma delantera se colocaba en posición de pronación y la palma trasera en supinación (PS).

La Figura 3B presenta los resultados obtenidos en los antebrazos de la mano trasera, donde la posición inicial fue con la mano de frente. Esto fue interesante en el caso en que se utilizó la botavara de 28 mm de diámetro y en dos técnicas de sostén de la misma (SS) y (PS). La diferencia fue menos marcada con porcentajes de 29% y 34% contra una intensidad de viento considerada débil.

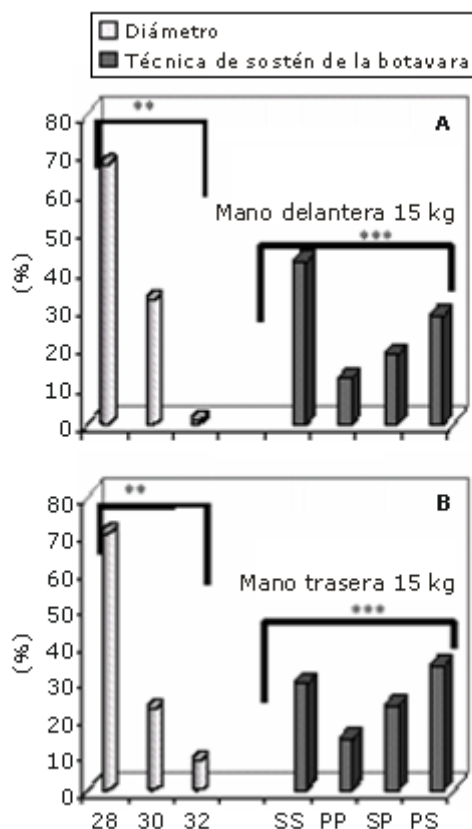


Figura 3. Resultado de la electromiografía obtenida a partir de los antebrazos contra una fuerza de tracción de 15 kg. (A) Antebrazo de la mano delantera; (B) antebrazo de la mano trasera. Los valores en los que la actividad muscular fue mínima se presentan como porcentajes (%) en función de: diámetro de la botavara (28 mm, 30 mm y 32 mm); posición de las manos (delantera, trasera) en pronación (P) o en supinación (S), en las cuatro posturas posibles (SS, PP, SP, PS).

El aumento de 10 kg en el peso de tracción no reforzó los resultados encontrados cuando se utilizó un peso de tracción de 15 kg, más bien se observó lo contrario (Figura 4A y 4B). En ambos antebrazos (mano delantera y mano trasera), disminuyeron las diferencias entre las diferentes posiciones de las manos a pesar de que los resultados del test de Friedman revelaron una diferencia significativa en el grupo ($p < 0,01$). Nuevamente la preferencia predominantemente por la botavara de 28 mm de diámetro se observó en un 59% en el caso de las manos delanteras y 67% en el caso de las manos traseras.

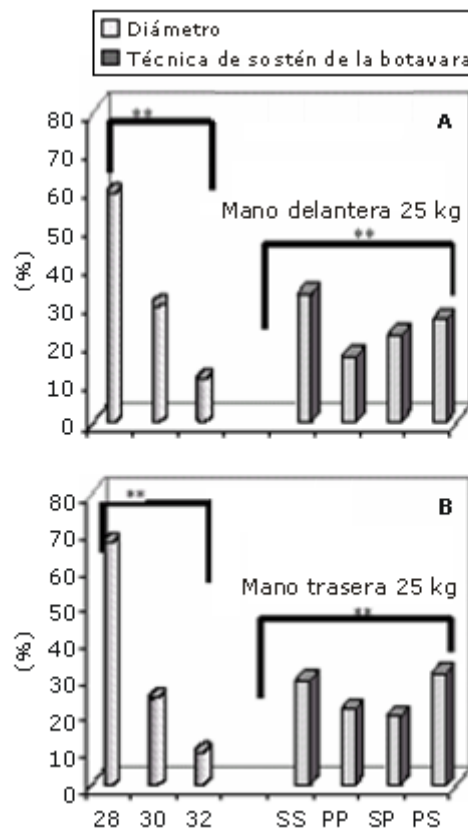


Figura 4. Resultado de la electromiografía obtenida a partir de los antebrazos contra una fuerza de tracción de 25 kg. (A) Antebrazo de la mano delantera; (B) antebrazo de la mano trasera. Los valores en los que la actividad muscular fue mínima se presentan como porcentajes (%) en función de: diámetro de la botavara (28 mm, 30 mm y 32 mm); la posición de las manos (delantera, trasera) en pronación (P) o en supinación (S), en las cuatro posturas posibles (SS, PP, SP, PS).

DISCUSION

El windsurf es un deporte que puede comenzar a ser practicado durante la niñez temprana porque, sobre todo, es una actividad de equilibrio que no requiere de esfuerzo o resistencia extremos. Es por ello que los fabricantes confeccionan tablas que evolucionan con el niño; son más pequeñas y ligeras con una vela de menor tamaño adaptada a estructuras musculares menos desarrolladas. Sin embargo, una encuesta realizada antes de comenzar nuestro estudio reveló varias características asociadas a la práctica de windsurf entre las que se incluía la percepción de dolor durante y después de la actividad. Parecería que la gran mayoría de las personas que practican este deporte padecen de dolor muscular. De hecho, 65% de las personas encuestadas manifestaron dolor muscular mientras practicaban windsurf y el 70% expresó haber sentido dolor después de haber realizado la actividad, especialmente en los antebrazos. Con respecto al equipo usado, pudimos observar que el 60% de los atletas cuestionaron el uso de una botavara de 30 mm en el diámetro. De cualquier manera, parecería que el dolor de los antebrazos disminuye cuando se utiliza una botavara más delgada. Además, observamos que la técnica de sostén de la botavara que se utiliza con mayor frecuencia es con las dos manos en pronación (PP) (68% de los windsurfers consultados) y también aquella postura donde la mano delantera se coloca en pronación y la mano trasera en supinación (PS).

Considerando toda la información, el objetivo de este trabajo consistió en estudiar aquellos factores que podrían influir en la aparición de dolor en los antebrazos.

Diferentes estudios relacionados con la ergonomía técnica y con la fatiga muscular (Gheluwe, 1988) introdujeron, mediante el uso de análisis electromiográfico, la idea que los grupos musculares del tren superior eran mucho más activos que los grupos musculares del tren inferior (Guerrin et al., 1987). Otras pruebas realizadas sobre la porción anterior de los antebrazos en las que variaron los pesos de tracción mostraron una proporcionalidad que, aunque no era absolutamente lineal, era excelente. Algunos datos electromiográficos registrados y calculados, tomados a partir de secuencias de

navegación sin 'bombeo' casi se corresponden con los datos provenientes de condiciones isométricas. Los estudios comparativos disponibles acerca de la postura de manos nos permitieron proponer un diagrama de ubicación específica de las manos que permite ahorrar energía, en el cual el brazo delantero está extendido y el brazo trasero está flexionado, con ambas palmas dadas vueltas en posición de supinación (SS). Se ha demostrado que en todas las posiciones realizadas por el *windsurfer*, los niveles de fuerza que se desarrollaron en la región muscular anterior de los antebrazos eran sistemáticamente más débiles cuando las manos se ubicaban en pronación que cuando se ubicaban en supinación (Meurgey, 1994). Mas aún, también parecería que la actividad del flexor de los dedos es muy importante cualquiera sea la actividad o disciplina de windsurf que se practique (Dyson, 1996).

Con respecto a nuestro estudio electromiográfico, para una fuerza de tracción de 15 kg, las técnicas de sostén de la botavara que demandan la menor cantidad de actividad muscular son: ambas manos en posición de supinación (SS) y mano delantera en pronación con mano trasera en supinación (PS).

Evidentemente, dicha posición es imposible de realizar. Sin embargo nosotros observamos que ambas manos en supinación permiten que uno realice la menor actividad muscular en tantos casos como cuando la mano trasera está en supinación y la mano delantera está en pronación. Entre las posiciones posibles de realizar, la posición que utiliza la menor cantidad de energía es aquella en que ambas manos se colocan en posición de supinación (Figura 5).

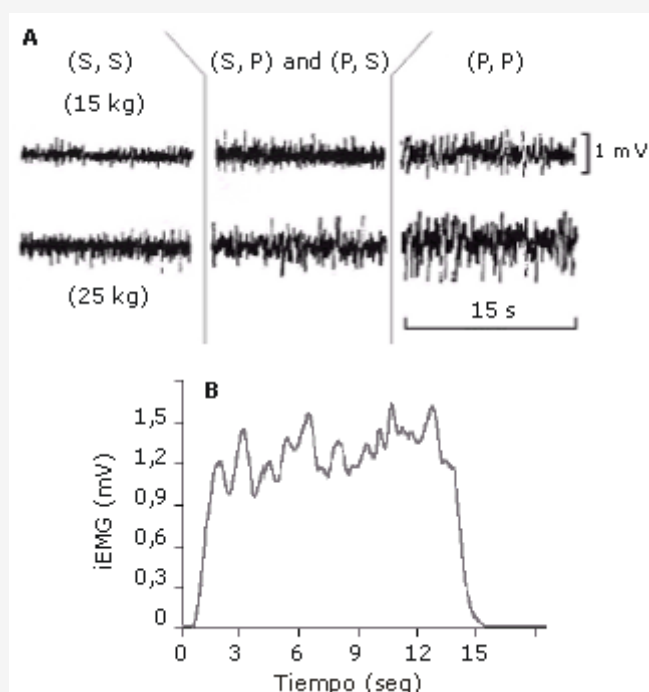


Figura 5. Ejemplo del registro de la señal en bruto del EMG (A) y de la EMG integrada (B) obtenidas a partir de los músculos del antebrazo según las diferentes posturas de sostén de la botavara posibles (SS; SP; PS y PP) contra dos pesos de tracción diferentes 15 kg o 25 kg.

Para una fuerza de tracción de 25 kg, los resultados acerca de cual es la postura que produjo la menor actividad muscular en los antebrazos, son similares a los resultados observados para una fuerza de tracción de 15 kg, y nuevamente esto se observó cuando ambas manos fueron colocadas en supinación. Para el caso de la mano trasera, obtuvimos la misma clase de resultados, notablemente las dos posiciones se presentan casi con la misma frecuencia: 29% con ambas manos en supinación y 31% con la mano trasera en supinación y la mano delantera en pronación, mientras que en el 21 % ambas manos fueron colocadas en pronación. Por lo tanto es posible plantear si es factible que aquella posición en la cual la mano delantera esté colocada en posición de pronación facilite el trabajo para la mano trasera

El estudio de las posiciones de las manos apoya el hecho de que la posición que demanda la menor cantidad de actividad muscular es aquella en la que ambas manos se colocan en supinación (SS). Sin embargo esta no es la posición frecuentemente utilizada por la mayoría de los *windsurfers*, ya que los 26 encuestados prefirieron la postura donde ambas manos se colocan en pronación (PP). También señalamos que nuestro estudio fue realizado sin el uso del arnés, aunque es

de uso obligatorio cuando se practica el deporte. De hecho, el mismo alivia los músculos de la región baja de la columna así como también la musculatura de los miembros superiores. Sin embargo, el correcto uso de un arnés requiere que la persona esté acostumbrada a su uso y el buen manejo de la vela no se hace tirando de la botavara, si no que más bien empujándola. Por lo tanto los esfuerzos no son los mismos.

Los tres diámetros de botavara fueron seleccionados en base a los tamaños disponibles en el mercado para la práctica de windsurf. Los estudios electromiográficos demuestran indiscutiblemente ($p < 0,01$) que la menor actividad muscular se obtiene utilizando la botavara de menor diámetro; o sea de 28 mm, independientemente del peso de tracción utilizado, de la ubicación de las manos y de cual sea el antebrazo estudiado.

Es aconsejable, dado el objetivo inicial del estudio realizar estudios paralelos acerca de factores fisiológicos, antropológicos y posturales para poder determinar cual es el tamaño óptimo de botavara específicamente para atletas. Tal como lo indicamos previamente cuando se practica el windsurf, la fatiga se percibe primero en los antebrazos. Esto provoca calambres que afectan tanto a los principiantes como a los *windsurfers* experimentados. Hay fatiga nerviosa en la placa motora final con una menor cantidad de acetilcolina liberada, pero también un menor nivel de acetilcolinesterasa, que permite la posibilidad de bloquear el antebrazo a través de una cantidad residual de acetilcolina. Además los músculos de los antebrazos y de los dedos trabajan estáticamente. Debido a que ellos permanecen tensos para sostener la botavara, los capilares se cierran disminuyendo el flujo de sangre y aumentando la producción de ácido láctico, el dolor y los calambres debido a que los músculos no han trabajado aeróbicamente. De la misma manera, dado que los flexores de los dedos trabajan sinérgicamente con el extensor de la muñeca, mientras más se extiende la muñeca mayor será la fuerza en los flexores. Por consiguiente, para obtener los mismos resultados en el sostén de la botavara, si la muñeca está ligeramente extendida disminuye la fuerza estática requerida por los flexores y los calambres no se producen. Idealmente la muñeca debería extenderse alrededor de 15° .

Este estudio se realizó sobre dos condiciones de rendimiento en la práctica de windsurf, especialmente a lo referente al factor limitante "dolor muscular de los antebrazos": el diámetro de la botavara y la posición de las manos adoptada por el *windsurfer*. El estudio confirma que la ubicación de ambas manos en posición de supinación sobre la botavara es la más económica, y proporciona a los *windsurfers* información útil, que les permita navegar sin que la actividad se vea limitada por el dolor muscular en los antebrazos. El estudio de los diferentes diámetros de botavara que nos permitió establecer que el diámetro óptimo es de 28 mm, será de gran interés para aquéllos que practican el deporte, así como para los fabricantes y diseñadores de equipos, quienes encontrarán información que los ayude o que apoye sus innovaciones. Por otra parte, una de las limitaciones importantes de nuestro estudio es que fue realizado en un simulador terrestre que no puede simular la variabilidad de condiciones de viento que se producen en la naturaleza que afectan la vela o el efecto de las olas sobre las estrategias de equilibrio del *windsurfer*. Utilizamos las posiciones básicas de un *windsurfer* desde un punto de vista estático.

Obviamente en el agua, el sujeto cambia constantemente de posición para lograr el equilibrio, regulando la vela según la fuerza del viento. En nuestro estudio esto no se realizó.

Conclusión

En nuestro estudio se estableció con claridad la importante actividad que realizan los músculos flexores de los dedos en la practica del windsurf en comparación con la actividad que realizan otros grupos musculares; sería interesante estudiar esta actividad para revelar cuales son las posiciones en las que dicha actividad es mayor. Nuestro estudio confirma los resultados de estudios previos que demostraron que la actividad de músculo flexor de los dedos es mayor cuando la mano está en pronación. Esto explicaría el dolor que siente la mayoría de los *windsurfers* en sus antebrazos. Este dolor se debe a la acumulación de ácido láctico asociada a una débil oxigenación local. Para evitar el dolor y la fatiga, el *windsurfer* cambia frecuentemente la posición de las manos (palma hacia arriba o hacia abajo). Este cambio intermitente mejora la calidad de la circulación vascular. Para descansar, el *windsurfer* puede sostener también la botavara con la curva de su brazo o con la axila del brazo trasero, pero hay riesgo de que se produzca compresión nerviosa y vascular, por lo que esta posición no puede ser mantenida por mucho tiempo.

El uso de una botavara de diámetro pequeño (28 mm) parecería disminuir la actividad muscular de los flexores de los dedos, y por lo tanto el uso de este tipo de botavara podría evitar el dolor muscular en el antebrazo tanto tiempo como fuera posible.

Puntos Clave

Nuestro estudio fue realizado para analizar la fuerza muscular empleada en las diferentes técnicas de sostén de la botavara.

Se evaluaron botavaras de tres diámetros diferentes y cuatro posturas de manos sobre la misma.

La postura donde ambas manos se colocaron en posición de supinación sobre una botavara de 28 mm de diámetro fue la postura más económica en términos de actividad muscular.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer los seis *windsurfers* por la paciencia y la colaboración brindada durante los experimentos. Un especial agradecimiento para Jon Whitefield por su traducción y comentarios críticos del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Bachemont F., Fouillot J. P., Terkaia M. A. and Brobowski T (1984). Study of the heart rate while sailing or windsurfing by ambulatory monitoring. *L'union médicale du Canada* 113, 644-647
2. Bird C. B. and McCoy J. W (1983). Weight-lifting as a cause of compartment syndrome in the forearm. A case report. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 65, 406
3. Chamari K., Moussa-Chamari I., Galy, O., Chaouachi M., Koubaa D., Hassen C. B. and Hue O (2003). Correlation between heart rate and performance during Olympic windsurfing competition. *European journal of applied physiology* 89, 387-392
4. Ciuti C., Marcello C., Macis A., Onnis E., Salvi M., Solinas R., Tintrup F., Sollai R., Capra A., Lai C., Velluti C. and Concu A (1996). Physiological responses obtained by a laboratory simulator in world level windsurfers. *Journal of sports traumatology and related research* 18, 173-181
5. Dyson R. J., Buchanan M., Farrington T. A. and Hurrion, P. D (1996). Electromyographic activity during windsurfing on water. *Journal of Sports Sciences* 2, 125-130
6. Fontes D., Clement R. and Roure P (2003). Endoscopic aponeurotomy for chronic exertional compartmental syndrome of the forearm: report of 41 cases. *Chirurgie de la main* 22, 186-196
7. Gainor B. J (1984). Closed avulsion of the flexor digitorum superficialis origin causing compartment syndrome. A case report. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 66, 467
8. Gheluwe B. V., Huybrechts P. and Deporte E (1998). Electromyographic evaluation of arm and torso muscles for different postures in windsurfing. *International journal of sport biomechanics* 2, 156-165
9. Gosheger G., Jagersberg K., Linnenbecker S., Meissner H. J. and Winkelmann W (2001). Injury patterns and prevention in World Cup windsurfing. *Sportverletz Sportschaden* 15, 50-54
10. Guerrin H (1987). Physiology and physiopathology on windsurf. *Science & Sports* 2, 303-304
11. Habal M. B (1986). Athletic injuries caused by the new sport of windsurfing and a proposed set of preventive measures. *The Journal of the Florida Medical Association* 73, 609-612
12. Jablęcki C. K (1999). Lateral antebrachial cutaneous neuropathy in a windsurfer. *Muscle & nerve* 22, 944-945
13. Kouvalchouk J. F., Watin Augouard L., Dufour O., Coudert X. and Paszkowski A (1993). Chronic stress-related compartment syndrome of the forearm. *Revue de chirurgie orthopédique et réparatrice de l'appareil moteur* 79, 351-356
14. Madsen F., Rock N. D. and Freund K. G (1986). Injuries in windsurfing. *Ugeskrift for læger* 148, 1817-1818
15. Meurgey B (1994). Global electromyography and training personalization. *Science & Sports* 9, 19-25
16. Nathanson A. T. and Reinert S. E (1999). Windsurfing injuries: results of a paper- and Internet-based survey. *Wilderness & environmental medicine* 10, 218-225
17. Petersen W., Rau J., Hansen U., Zantop T. and Stein V (2003). Mechanisms and prevention of windsurfing injuries. *Sportverletzung Sportschaden : Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 17, 118-122
18. Porcella P., Succa V. and Vona G (1992). Windsurfer somatotypes. *Anthropologischer Anzeiger; Bericht über die biologisch-anthropologische Literatur* 50, 327-334
19. Prymka M., Plotz G. M. and Jerosch J (1999). Injury mechanisms in windsurfing regatta. *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 13, 107-111
20. Rodineau J (1998). Chronic compartment syndrome in the forearms. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 41, 503-510
21. Rosenbaum D. A. and Dietz T. E (2002). Windsurfing injuries. Added Awareness for Diagnosis, Treatment, and Prevention. *The Physician and sportsmedicine* 30, 15-36
22. Salvi M., Velluti C., Concu A., Ariu U., Atzori A., Dessy D. and Sichel G (1997). Retrospective epidemiological evaluation of acute and overuse injuries of muscle and bone in windsurfers. *Journal of sports traumatology and related research* 19, 30-37
23. Schonle C (1988). Incidence of accidents and prevention of injuries in windsurfing. *Der Unfallchirurg* 91, 16-21
24. Verdera F., Champavier L., Schmidt C., Bermon S. and Marconnet P (1999). Reliability and validity of a new device to measure isometric strength in polyarticular exercises. *The Journal of sports medicine and physical fitness* 39, 113-119
25. Vogiatzis I., De Vito G., Rodio A., Madaffari A. and Marchetti M (2002). The physiological demands of sail pumping in Olympic level windsurfers. *European journal of applied physiology* 86, 450-454

Cita Original

Campillo Philippe, Barbara Leszczynski , Cédric Marthe and Jean-Michel Hespel. Electromyographic Analysis on a Windsurfing Simulator. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 135-141, 2007.