

EVALUACIÓN DE LAS CADENAS CINEMÁTICAS ELECTROMIOGRÁFICAS EN EL DEPORTE DE REMO

ELECTROMYOGRAPHY CINEMATIC CHAINS EVALUATION IN ROWING SPORT

RESUMEN

La evaluación funcional del aparato neuromuscular se realiza en un grupo de ocho atletas en el deporte de remos, mediante el registro de electromiografía de superficie de los principales músculos involucrados en ambos hemisferios, durante una simulación experimental del ciclo del movimiento de este deporte, con oposición a la fuerza isocinética máxima aplicada en un tiempo constante de 1 segundo. Se realiza el análisis cuantitativo de la señal electromiográfica y se determina la secuencia de activación temporal de los diferentes grupos musculares involucrados en el ciclo del movimiento. La relación entre la amplitud del Patrón de Contracción Máximo Electromiográfico y la secuencia de activación de los músculos explorados es utilizada para construir cadenas cinemáticas basadas en la amplitud del nivel de activación electromiográfico registrado en cada músculo.

El análisis de las cadenas cinemáticas EMG en cada atleta permitió caracterizar el nivel de activación, simetría e integración de cada músculo a la secuencia del movimiento característico del deporte, aportando datos electrofisiológicos objetivos que grafican con claridad la simetría en el desempeño de la técnica, localiza los planos musculares con asimetrías o deficiente participación a la secuencia de activación. La integración de las técnicas de evaluación electromiográficas con las pruebas de terreno (Test de Fuerza Isocinética) y los métodos de observación aportan una nueva metodología en la evaluación del rendimiento deportivo de estos atletas desde un enfoque de su desempeño técnico táctico sobre la base de respuestas objetivas electromiográficas. Los resultados de este estudio demostraron la efectividad y aplicabilidad de las cadenas cinemáticas EMG, posibilitando el diseño de planes individuales de entrenamiento orientados a educar la fuerza en función de optimizar el sincronismo de la técnica. Se diseña un nuevo esquema de entrenamiento que garantiza la economía energética en la actividad muscular al lograr una mejor coordinación neuromuscular, considerando el nivel de activación de cada músculo en cada instante del movimiento. La representación sensorial del movimiento por cada atleta se perfecciona al aplicar métodos de retroalimentación (*biofeedback*) basados en la representación de las cadenas cinemáticas en diferentes etapas del ciclo de entrenamiento.

Palabras clave: Remo. Electromiográfico. Cadena Cinemática. Fuerza isocinética.

CORRESPONDENCIA:

Dr. Arquímedes Montoya Pedrón. San Félix 317. e/ Trinidad y Habana. Santiago de Cuba. Email: arqui@sierra.scu.sld.cu

Aceptado: 30-05-2003 / Original nº 476

SUMMARY

A functional evaluation of neuromuscular system have been made in group of eight high score sportsman, recording surface electromyography from the main involve muscles from both hemi bodies meanwhile a experimental simulation of normal movement cycle of the rowing sport characteristic movement. EMG from sixteen muscles was recorded with the Opposition to an isocinetic maximum power force during one second of maximum strength force.

EMG signal quantitative analysis has been processed in order to obtain the temporal activation pattern of different muscular groups incorporated in the movement cycle. EMG Maximum amplitude pattern recorded from each muscle related with temporal muscular activation were use to build a cinematic electromyography chains supported in EMG amplitude activation inside the simulation of rowing movement.

Individual EMG Cinematic Chains analysis from each athlete allows a characterization of muscular activation pattern, movement symmetric cycle performance and how each muscle group has been incorporated. Objective electrophysiology data clearly shows the technical performance of the rowing movement's cycle, signaling asymmetric or muscle miss incorporation in activation sequence.

Quantitative EEG analysis integrated with field test as (Isocinetic Force Test) and observational techniques created a new methodology in rowing sport evaluation from technical strategies based in objective electromyography testing...

Our results confirm the effectiveness and applicability of Cinematic EMG Chains with the possibility of designing individual training plans addressed to educate the muscular force in order to optimize the technical synchronization. A new technical training program has been designed oriented to muscular energetic economy and technical better results. A higher neuromuscular coordination was obtained over the bases of EMG amplitude activation level of each muscular group for sequential specific movement in rowing muscular action. Sensorial movement representation in all athletes were adjust by application of EMG Cinematic chains as Biofeedback techniques in which the sportsmen could represented and analyze much better the neuromuscular coordination after different steps of the training program .

Key words: Rowing. Electromyography. Cinematic Chain. Isocinetic force.

José Manuel
Loyola Amestro

Arquímedes
Montoya
Pedrón

Dirección
Provincial del
INDER. Santiago
de Cuba

INTRODUCCIÓN

La actividad deportiva actual y en especial deportes de gran exigencia en cuanto a potencialidades genéticas del hombre, casi al límite del rendimiento físico, por sus características y exigencias competitivas le imponen a las ciencias médicas, biológicas y pedagógicas un gran reto en la búsqueda de vías y métodos óptimos para tanpreciado fin. Es por esto que la caracterización funcional del aparato neuromuscular en atletas de alto rendimiento, utilizando para ello avanzadas técnicas de diagnóstico neurofisiológico, constituye un promisorio camino en el diseño de métodos de entrenamiento que optimicen el funcionamiento del sistema nervioso y motor. A la vez que brindan novedosas informaciones sobre la fisiología del cuerpo humano y los efectos del entrenamiento en la actividad nerviosa y del aparato locomotor. Las técnicas neurofisiológicas, particularmente los métodos electromiográficos, han sido ampliamente empleados para evaluar el efecto del entrenamiento en diferentes modalidades deportivas¹⁻⁸.

Especialmente en el remo como deporte cíclico de fuerza y resistencia, los métodos de tecnología avanzada se dirigen a la búsqueda de la coordinación neuromuscular óptima, que traducida a la técnica que nos ocupa no es más que disminuir las fuerzas negativas y aumentar las positivas; en aras de los tiempos récords actuales, desarrollando fundamentalmente la fuerza isocinética, como similitud al efecto de isocinesia oposita del agua con relación a la palanca⁹.

Estudios previos realizados por nuestro equipo de trabajo demostraron la efectividad de aplicar técnicas de registro EMG durante la simulación del ciclo del movimiento del deporte de remo, sugiriéndose nuevas variables para el análisis de la EMG cuantitativa, aplicables directamente al contexto de la actividad deportiva, como el coeficiente de efectividad de la fuerza muscular y el coeficiente de reclutamiento de unidades motoras¹⁰, creándose las bases teórica y experimentales para la confección de las cadenas cinemáticas EMG para este deporte y aplicables a cualquier modalidad deportiva.

Estas técnicas neurofisiológicas de análisis cuantitativo EMG son aplicables con modificaciones mínimas a la caracterización de cualquier deporte y resulta por tanto de alto valor en la estrategia actual de desarrollo deportivo de nuestro país¹¹, en el que sólo la aplicación de tecnologías avanzadas permitirá mantener los resultados deportivos actuales e incluso mejorarlos.

En el presente estudio se aplica un método de registro polielectromiográfico que incluye el análisis cuantitativo de la actividad electromiográfica generada por los principales músculos involucrados en el deporte de remo. Para ello se realiza una simulación de la secuencia dinámica de este deporte aplicando la fuerza isocinética máxima para cada atleta y registrando simultáneamente la señal E.M.G que se sometería a un análisis cuantitativo donde se obtienen variables electrofisiológicas que traducen la actividad funcional del músculo, así como signos de funcionamiento de las unidades motoras involucradas en el movimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Características de la muestra

Se estudian 8 atletas de la ESPA Provincial de Remo de Santiago de Cuba con diferentes niveles de entrenamiento y resultados deportivos. La participación en el estudio se realizó bajo el principio de la voluntariedad.

La selección de la muestra no fue al azar sino teniendo en cuenta:

- Diversidad de edades, resultados y experiencias deportivas, a partir de lo cual se subdivide en 3 niveles de entrenamiento y resultados para el estudio.

Niveles

1er nivel: atletas que han tenido buenos rendimientos. Nivel internacional caso 1 y 2.

2do nivel: atletas con buena preparación física,

cuyos resultados han sido intermitentes: caso 4 y 8.

3er nivel: atletas noveles en desarrollo con perspectivas caso 3, 5, 6, 7.

Diseño experimental

Se realiza el registro electromiográfico mediante la simulación de la actividad cíclica del deporte de remo en el que el atleta realiza una tracción aplicando la fuerza isocinética máxima que logra en un segundo y desplazándose sobre una máquina de remo en un acto motor que simula la secuencia de este deporte. Simultáneamente se realiza el registro electromiográfico (E.M.G) de superficie en los principales músculos involucrados.

- Montaje de registro.
- Músculos explorados.

La evaluación temporal de los registros electromiográficos (medición del instante de tiempo en que se activa cada plano muscular), registrados en nuestro diseño experimental, permitió determinar la activación secuencial, que se produce en el orden siguiente:

1. Gemelo externo (G).
2. Vasto lateral (VL).
3. Bíceps femoral (BF).
4. Dorsal largo (DL).
5. Dorsal de la escápula (DE).
6. Deltoides medio (DM).
7. Bíceps braquial (BB).
8. Braquío radial (BR).

Eléctrodo activo (-) punto motor del músculo.

Eléctrodo referencia (+) 3 cm. distancia del electrodo activo.

RESULTADOS

En el presente estudio, y a partir del diseño experimental anteriormente explicado, se construyen las cadenas cinemáticas a partir de la secuencia de activación de los diferentes planos estudiados durante la ejecución de la técnica del movimiento del deporte de remo. Estas cadenas se estructuran con la variable amplitud registrada para cada plano muscular en ambos hemicuerpos (izquierdo y derecho).

Para evaluar el comportamiento de dichas cadenas Cinemáticas construimos las Tablas 1, 2 y 3.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del test de fuerza isocinética detalladamente para cada uno de los atletas incluidos en la muestra de estudio, especificándose el tanto por ciento de fuerza muscular que corresponde a cada plano muscular. Los resultados de este Test permitieron correlacionar estas pruebas de campo con los resultados objetivos mostrados por medio de las cadenas cinemáticas electromiográficas.

La potencia muscular media desarrollada por cada atleta es mostrada en la Tabla 2, la relación fuerza isocinética dividida por la amplitud media del patrón EMG. Obsérvese que los atletas de mejor nivel de entrenamiento y resultados deportivos (casos 1-2) obtienen los coeficientes más elevados de potencia muscular. Adicionalmente el caso 6 de los atletas noveles obtiene el segundo mejor coeficiente de potencia muscular.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del coeficiente de economía muscular para cada atleta. Los resultados demuestran el valor esperado de mejor coeficiente de economía muscular en los atletas de mejores resultados deportivos (Nivel I).

DISCUSIÓN

Los gráficos 1, 2 y 3 muestran coincidentemente que los casos 1 y 2 resultan los que presentan

LOYOLA AMESTRO, JM.
y Cols.

Casos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Pierna								
F. Max	730	425	395	720	455	395	710	410
Brazo								
F. Max	380	290	185	238	155	380	155	155
Espalda								
F. Max	410	455	365	469	410	515	305	455
Boga (20)								
F. Max/1''	105	45	26	56	26	65	36	26
Pierna%								
Aplicado	14	10,5	6,5	7,7	5,7	16,4	5	6,3
Brazo%								
Aplicado	27	15,5	14	23,5	16,7	17	23	16,7
Espalda%								
Aplicado	25	9,8	7	11,9	6,3	12,6	12	5,7
Pierna%								
F. Max	48	36,3	41,7	50	44	30,6	60,6	40
Brazo%								
F. Max	25	24,7	19,5	16,6	15	29,4	13,2	15
Espalda%								
F. Max	27	38,8	38,6	32,8	40	39,9	26	44,6
Total								
F. Max	1520	1170	945	1427	1020	1290	1170	1020

TABLA 1.-
Test de Fuerza
Isocinética

Casos	Fuerza isocinética	Amplitud EMG
1	45,62	Lib / mv
2	14,68	Lib / mv
3	7,59	Lib / mv
4	12,74	Lib / mv
5	7,32	Lib / mv
6	16,98	Lib / mv
7	12,49	Lib / mv
8	10,20	Lib / mv

TABLA 2.-
Potencia muscular

Casos	Área/Fuerza isocinética
1	0,42 Mv. en cada m.s / Lib
2	1,41 Mv. en cada m.s / Lib
3	2,64 Mv. en cada m.s / Lib
4	1,63 Mv. en cada m.s / Lib
5	2,68 Mv. en cada m.s / Lib
6	1,25 Mv. en cada m.s / Lib
7	1,67 Mv. en cada m.s / Lib
8	2,01 Mv. en cada m.s / Lib

TABLA 3.-
Economía muscular

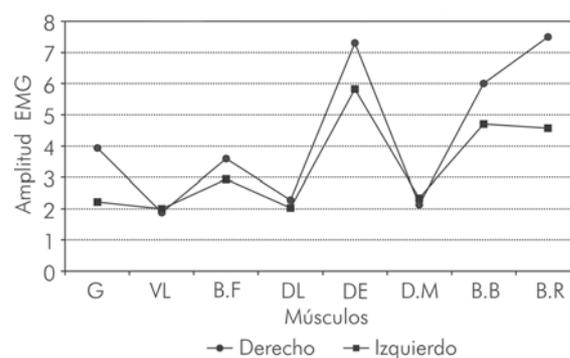


FIGURA 1.- Caso 1: infiere un movimiento bastante coordinado y parejo en cuanto a amplitud potencial, con puntos de estabilización de la fuerza dentro del bote a nivel del bíceps femoral y de los deltoides, cerrando óptimamente la cadena al final sobre la palanca del remo en un solo vector. Significativamente el predominio del hemisferio derecho a nivel del gemelo, vasto y bíceps braquial, muestran un adecuado estereotipo para la banda que rema (Babor). Al analizar la integración del movimiento se observa una similitud potencial entre piernas y brazos, demostrando así una insuficiente actuación de soporte por los músculos de la espalda, producto a la debilidad de este plano muscular no le es posible aplicar mayor potencia en el movimiento.

mejor potencia y economía, sólo superado el caso 2 por el 6, lo que parece ser algo paradójico en correspondencia con los niveles de entrenamiento, sólo explicable porque el caso 6 parece tener condiciones físicas congénitas, que le facilitan la asimilación de la coordinación propia de la técnica en menor tiempo, este atleta

(caso 6) ya que fue seleccionado porque resultó subcampeón nacional en los Juegos Escolares Nacionales de Alto Rendimiento con sólo 4 meses de entrenamiento y 14 Años de Edad. Los casos 4 y 8 son los que le siguen en el orden de mejor potencia económica, interrumpido este orden por el Caso 7 que supera al 8, escogi-

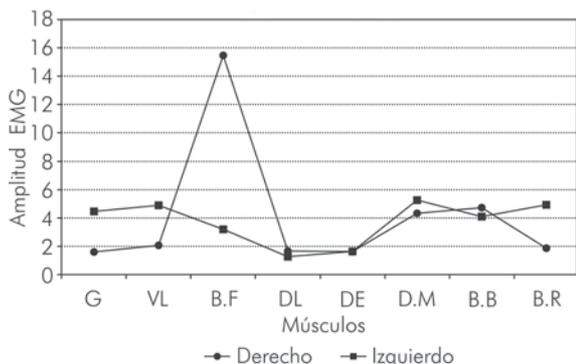


FIGURA 2.- Caso 2: al analizar la integración del movimiento se muestra la poca explosividad del trabajo en las piernas y por ende su mala utilización, lo que ocasiona poca utilización de la espalda e hipereplotación de los brazos. El vector de fuerza final termina en una cadena totalmente abierta sobre la palanca del remo. Teniendo en cuenta que se trata de un remero estribor y analizando los cruces de la cadena, tiene estereotipada una mala estrategia desde el punto de vista de economía-potencia muscular.

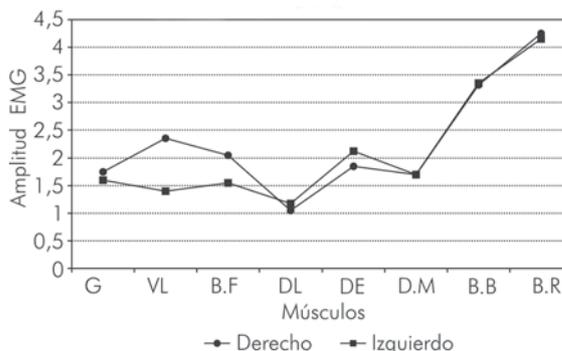


FIGURA 3.- Caso 3: tomando en consideración los valores de amplitud comparativamente con los otros casos y los resultados de su fuerza isocinética, podemos decir que presenta una inadecuada utilización de las piernas, ya que al no activar con la explosividad necesaria ocasiona poca preparación para una adecuada transmisión, observándose la pésima utilización de los planos de la espalda y los brazos, en los que como algo atípico se observa la hipereplotación del brazo izquierdo, aunque al final cierra la cadena en un sólo vector de fuerza sobre la palanca del remo.

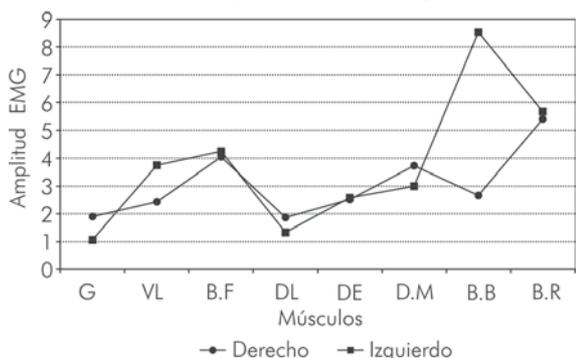


FIGURA 4.- Caso 5: partiendo de las potencialidades que presenta por planos musculares, observamos que se sigue poniendo de manifiesto la falta de explosividad en las piernas, presentando una mala coordinación potencial del movimiento, siendo significativa la poca diferencia que presenta el trabajo de ambos hemicuerpos en las piernas y espalda, no así en los brazos donde la cadena queda totalmente abierta en el vector final sobre la palanca del remo.

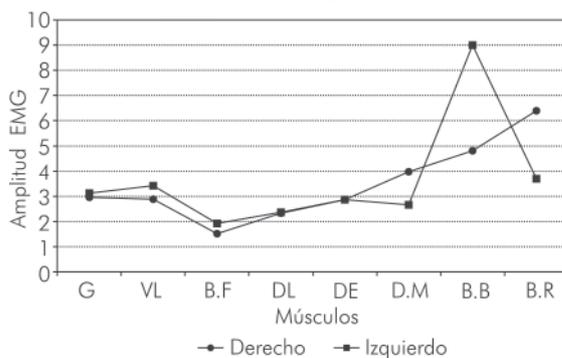


FIGURA 5.- Caso 6: haciendo un análisis de la integración del movimiento y tomando en consideración además sus potencialidades por planos musculares, apreciamos que sigue apareciendo la ya manifiesta falta de adecuada explosividad en las piernas, lo que le impide poder aplicar sus potencialidades reales mostrando un movimiento bastante descoordinado potencialmente, recargándose el trabajo sobre la espalda alta fundamentalmente, así como los brazos, quedando totalmente abierto el vector de fuerza al final.

do el mismo también con sólo 3 meses de práctica por el hecho de la buena coordinación que presenta en la ejecución de la técnica para el poco tiempo de entrenamiento. Estos resultados demuestran la sensibilidad del método propuesto en la selección temprana de los talentos deportivos.

Evaluación de las cadenas cinemáticas

Para poder hallar un sentido evaluativo en estas cadenas, partimos del criterio de que mientras más se acerca el % de potencia que aplica al que realmente tiene, nos da la medida de que

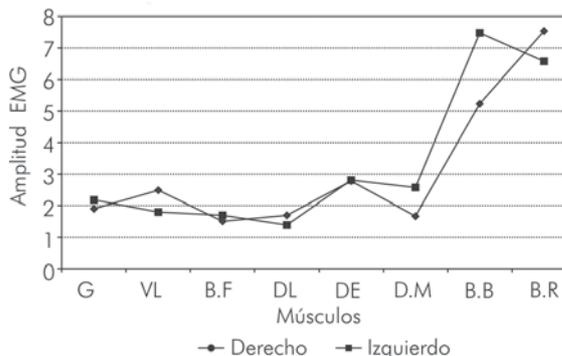


FIGURA 6.- Caso 8: en este caso se aprecia poca utilización de piernas y espalda, lo que intuimos sea por la ya puesta de manifiesto falta de explosividad en las piernas, recargándose el trabajo sobre los brazos, quedando abierto al final el vector de fuerza sobre la palanca del remo.

efectivamente el plano muscular está educado o no para la función que le corresponde en el movimiento técnico de este deporte.

Partiendo del criterio técnico de que en este deporte, para que un atleta pueda aplicar toda su potencia en el ángulo óptimo, el primer impulso de fuerza debe ser lo suficientemente explosivo y fuerte y conjugado fluidamente con el ritmo del bote. Por demás, este impulso parte de las piernas, las que por características propias de sus fibras musculares son predominantemente lentas. Observamos que en casi todos la educación del trabajo de las piernas ha sido inadecuado para la función que le corresponde en la ejecución, excepto en el caso 1.

Por todo lo anteriormente expuesto, los autores proponen una Metodología de Educación de la Fuerza por Planos Musculares sobre la base de la aplicación de una metodología de evaluación mediante el registro de electromiografía durante la simulación del ciclo de movimiento que infiere la técnica del remo, construyéndose posteriormente las cadenas cinemáticas electromiográficas relacionadas con otras pruebas de campo convencionales que de conjunto constituyen una novedosa y promisoría metodología en la evaluación del rendimiento deportivo mediante métodos electrofisiológicos objetivos, aplicables a otras modalidades deportivas con adecuado diseño de la técnica de exploración electromiográfica de forma objetiva.

B I B L I O G R A F I A

1. **Lepers R, et al.** The effects of a prolonged running exercise on strength characteristics. *Int J Sports Med* 2000May; 21(4):275-80.
2. **Hausswirth C, et al.** Evolution of electromyographic signal, running economy, and perceived exertion during different prolonged exercises. *Int J Sports Med* 2000Aug;21(6):429-36.
3. **Lucia A, et al.** Metabolic and neuromuscular adaptations to endurance training in professional cyclists: a longitudinal study. *Jpn J Physiol* 2000Jun;50(3):381-8.
4. **Pogliacomì F, et al.** Isolated atrophy of the infraspinatus muscle in baseball players. *Acta Biomed Ateneo Parmense* 2000;71(5):127-34.
5. **Strojnik V, Komi PV.** Fatigue after submaximal intensive stretch-shortening cycle exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Jul;32(7):1314-9.
6. **Bosco C, Colli R, Bonomi R, von Duvillard SP.** Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci Sports Exerc* 2000Jan;32(1):202-8.
7. **Barr WB, McCrea M.** Sensitivity and specificity of standardized neurocognitive testing immediately following sports concussion. *J Int Neuropsychol Soc* 2001Sep;7(6):693-702.
8. **Naccache L, et al.** Boxer's dementia" without motor signs. *Presse Med* 1999Sep4;28(25):1352-4.
9. **Donskoi DD.** *Biomecánica con Fundamentos de la Técnica Deportiva*. Ed: Pueblo y Educación, 1982;Capt.II,III: 26,122.
10. **Loyola JM, Montoya A.** Caracterización funcional del aparato neuromuscular en atletas de alto rendimiento. Método Electromiográfico en la evaluación de la fuerza isocinética. *Archivos de Medicina del Deporte* 1999; 16(71):261-3.
11. **López V.** El Electromiograma Cuantitativo en el Seguimiento de las lesiones de nervios periféricos. La Habana: Trabajo de Tesis, 1993.