



## ORIGINAL

# Medición manual de potenciales de unidad motora «miopáticos»

M. Fontoira Lombos

Servicio de Neurofisiología Clínica, Complejo Hospitalario de Pontevedra, Pontevedra, España

Recibido el 24 de noviembre de 2010; aceptado el 23 de marzo de 2011

Disponible en Internet el 6 de mayo de 2011

### PALABRAS CLAVE

Electromiografía;  
Miopatía;  
Potencial de unidad  
motora miopático

### KEYWORDS

Electromyography;  
Myopathy;  
Myopathic motor unit  
action potential

### Resumen

**Objetivo:** Investigar, en pacientes con miopatía, la posible existencia de potenciales de unidad motora (PUM) cuya duración individual esté por debajo de un límite normal y, por lo tanto, con un significado patológico y posiblemente miopático.

**Material y método:** Se midió en tibialis anterior la duración individual de 20 PUM en 82 sujetos sanos, tomando en cada sujeto el PUM con la menor duración. Lo mismo se llevó a cabo en 24 pacientes diagnosticados de miopatía, en su caso tomando todos los PUM con duración individual por debajo del valor mínimo encontrado en sujetos sanos.

**Resultados:** Duración individual mínima encontrada en sujetos sanos: 6,8 ms. Número de PUM de 6,7 ms o menos encontrados en tibialis anterior de sujetos con miopatía: 17 (el 33% de los sujetos con miopatía). Se compararon las duraciones mínimas entre sujetos sanos y enfermos, revelándose una diferencia significativa entre ambas, que se consideró patológica y específicamente miopática en el caso de los sujetos con miopatía.

**Conclusiones:** Dado el significado probablemente patológico y específicamente miopático de los PUM por debajo de 6,8 ms encontrados en tibialis anterior de los sujetos con miopatía, se propone el término «PUM miopático» para este tipo de PUM, así como el uso de este hallazgo como un criterio electromiográfico específico en el diagnóstico de las miopatías.

© 2010 Elsevier España, S.L. y SERMEF. Todos los derechos reservados.

### Manual measurements of potentials of the «myopathic» motor units

#### Abstract

**Objective:** To investigate in patients with myopathy the possible existence of motor unit action potentials (MUAPs) whose individual duration is below a normal limit, and therefore patients having a pathological and possibly myopathic significance.

**Material and method:** The individual duration of 20 MUAPs was measured in the tibialis anterior of 82 healthy subjects, using the MUAP with the shortest duration from each subject. The same measurement was obtained for 24 patients diagnosed of myopathy, in these cases, using the MUAPs with individual duration below the minimum value found in the healthy subjects.

**Results:** The minimum individual duration found in healthy subjects was 6.8 ms. Number of MUAPs of 6.7 ms or less found in tibialis anterior of subjects with myopathy: 17 (33% of the

subjects with myopathy). The minimum durations were compared between both healthy and ill subjects, there being significant differences between both, considered as pathological and specifically myopathic in the case of the subjects with myopathy.

**Conclusions:** Given the probably pathological and specifically myopathic significance of the MUAPs below 6.8ms found in the tibialis anterior of the subjects with myopathy, the term «myopathic» MUAP is proposed herein for this type of MUAPs. The use of this finding as a specific electromyographic criterion for the diagnosis of myopathies is also proposed.

© 2010 Elsevier España, S.L. and SERMEF. All rights reserved.

## Introducción

Con una electromiografía se pueden detectar signos específicos de miopatía en enfermos con miopatía, hecho que posee interés diagnóstico<sup>1</sup>. Existen diversos signos electromiográficos específicos de miopatía con interés clínico, siendo el análisis de unidad motora una de las técnicas utilizadas para obtener algunos de dichos signos<sup>2,3</sup>. Entre las diversas técnicas de análisis de unidad motora descritas, uno de los parámetros es el de la duración media de los potenciales de unidad motora (PUM) de un músculo dado, parámetro considerado importante por su especificidad y por la buena correlación entre clínica, electromiografía e histopatología<sup>3,4</sup>. Según la técnica estándar, para la medición de la duración media de los PUM se debe medir la duración de 20 PUM individuales por músculo, en varios puntos de inserción, calculando a continuación la duración media y, de este modo, si esta resulta ser menor que cierto rango para el músculo dado, según las tablas de referencia disponibles, tal hallazgo se podrá considerar específico de miopatía<sup>3</sup>. La medición puede ser tanto manual como automática<sup>5</sup>. La medición manual empezó a desarrollarse en 1951<sup>6</sup>.

En la práctica no es factible la medición de la duración media de 20 PUM en todos los enfermos explorados, por razones diversas (niños pequeños, paresia severa, etc.). Además, la medición de la duración de 20 PUM por músculo se considera una técnica demasiado lenta para la clínica diaria habitual<sup>7</sup>, por lo que en ocasiones se recurre a una estimación a simple vista (*eyeballing*) de la duración y amplitud de algunos PUM que se va consiguiendo aislar, procurando identificar la presencia de PUM pequeños, es decir, de baja amplitud y de corta duración (y con frecuencia también poli-fásicos), en pacientes con sospecha de miopatía<sup>8,9</sup>.

En los músculos afectados en el curso de una miopatía, hay correlación entre los hallazgos electromiográficos (la disminución de la duración media de los PUM) y los hallazgos histopatológicos (la pérdida de fibras musculares por unidad motora)<sup>10</sup>. Obsérvese entonces que si la duración media de 20 PUM se reduce de manera específica en las miopatías, esto implica que debería estar reducida en una magnitud importante la duración individual de al menos algunos de esos 20 PUM que actúen como sumandos en ese cálculo, algo que se infiere además a partir del propio *eyeballing*. Esto lleva lógicamente a formular la siguiente pregunta, dado su posible interés diagnóstico: ¿será posible medir una reducción por debajo de un límite normal de la duración individual de algunos PUM de entre los 20 medidos en caso de miopatía?

En este trabajo se plantea la posibilidad de responder a esta pregunta, para lo cual, en primer lugar, se intentará

determinar en sujetos sanos, mediante medición manual, un límite inferior para la duración de los PUM individuales (no para el valor medio) y, a continuación, se comparará ese valor con el obtenido en sujetos con miopatía, para intentar determinar si existen PUM individuales de corta duración, en el grupo de sujetos diagnosticados de miopatía, cuya duración esté significativamente por debajo del límite inferior para la duración de los PUM individuales encontrado en el grupo de sujetos sanos, es decir, se tratará de verificar la autenticidad, o no, de lo que podría denominarse PUM «miopáticos» observados mediante *eyeballing*.

## Materiales y métodos

### Sujetos en estudio

1. Sujetos sanos: durante un periodo de aproximadamente 3 años se midió la duración de los PUM registrados en tibialis anterior de 82 de sujetos sanos, sin manifestaciones clínicas con origen neuromuscular; 41 eran varones y 41, mujeres; con edades entre 3 meses y 80 años. Los sujetos o sus representantes legales fueron informados de esta investigación y dieron su consentimiento.
2. Sujetos enfermos: durante aproximadamente 3 años, y de forma paralela a la investigación en sujetos sanos, se exploró a 24 enfermos diagnosticados de miopatía en diversos servicios médicos, diagnóstico confirmado con biopsia (excepto en los enfermos con miopatía esteroidea). Las enfermedades que presentaron fueron las siguientes: distrofia de Duchenne (n=1), enfermedad de McArdle (n=3), miopatía de cinturas (n=3), miopatía esteroidea (n=7), miopatía oculo-faríngea (n=1), distrofia de Becker (n=1), miopatía escápulo-humeral (n=1), distrofia facioescapulohumeral (n=3), enfermedad de Steinert (n=2), miopatía en relación con una resistencia congénita a la vitamina D (n=1), distrofia muscular congénita positiva a merosina (n=1); 7 eran varones y 17 mujeres, con edades de 0 a 79 años.

### Equipos y condiciones técnicas

Las electromiografías se llevaron a cabo con los siguientes electromiógrafos: Cadwell Sierra, Cadwell Sierra II, Cadwell 5200; Cadwell 7400, Medelec Sapphire, Medelec Premiere y Medelec Sinergie. Se utilizaron electrodos de electromiografía bipolares concéntricos de 25 × 0,3 mm y área de registro de 0,03 mm<sup>2</sup>. Los pacientes fueron explorados en decúbito supino. La medición de la duración de los PUM se efectuó con los filtros de paso alto y paso bajo de 10 Hz y 10 kHz

respectivamente, con el barrido en 5 ms/div y la amplificación en 100 mV/div. Sólo en una minoría de casos se hizo preciso promediar la señal del PUM para obtener una línea de base estable.

## Métodos de medición

1. Sujetos sanos: en cada sujeto sano se aislaron 20 PUM de tibialis anterior, que se fijaron con el *trigger* uno a uno para medir su duración individual. El criterio para aceptar cada PUM aislado para medición fue que su pendiente (*rise time*) fuese menor de 500  $\mu$ s, que es un criterio comúnmente aceptado<sup>2</sup> (el mismo criterio se aplicó en el caso de los PUM medidos en los sujetos con miopatía). De cada sujeto sano se guardó para su análisis posterior sólo el PUM con menor duración de los 20 aislados en tibialis anterior, desechándose los 19 restantes. Los datos obtenidos se ordenaron correlativamente en función de la edad. La medición manual de la duración de cada PUM trifásico fijado en pantalla se midió desde la primera deflexión de la primera fase hasta la última deflexión de la tercera fase. Para determinar el punto en que cada fase abandonaba o volvía a la línea de base se trazó una línea recta entre ambos puntos utilizando como molde para dicha recta la línea de base, lo cual hizo preciso que la línea de base fuese lo suficientemente estable en cada caso para hacer esta medición. En el caso de potenciales satélite, se sumó su duración a la del PUM correspondiente.
2. PUM individual en sujetos con miopatía: se procedió de modo similar, pero con una diferencia: se guardaron para análisis posterior los PUM que tuvieron una duración individual menor que el límite inferior hallado en tibialis anterior en el grupo sano. En el caso de PUM polifásicos se midió hasta la última fase. Los datos obtenidos en sanos y enfermos se ordenaron correlativamente en función de la edad. Para la comparación de los resultados obtenidos en pacientes y controles se recurrió a la *t* de Student.
3. Otros parámetros medidos: en sujetos enfermos, se registraron también las magnitudes de otros parámetros habituales en la exploración electromiográfica de las miopatías: actividad de inserción, actividad en reposo, trazado de máximo esfuerzo (sumación espacial y temporal), detección a simple vista (*eyeballing*) de PUM pequeños. En los casos con miopatía en los que fue técnicamente posible, se calculó la duración media de 20 PUM y se llevó a cabo la exploración en otros músculos aparte de tibialis anterior, sobre todo en los músculos afectados clínicamente, teniendo en cuenta que, en general, tibialis anterior no suele estar tan afectado clínicamente en comparación con otros músculos más proximales.
4. Identificación de artefactos: los siguientes artefactos de medición simulaban ser PUM pequeños y de corta duración con origen miopático y hubo que desecharlos: potenciales de placa motora; fibrilaciones; PUM pequeños y romos por falta de centrado del electrodo en el campo eléctrico de la unidad motora medida (y que, por lo tanto, no cumplían el criterio de la pendiente menor de 500  $\mu$ s citado más arriba, por lo que, a su vez, no producían en el altavoz la típica crepitación

aguda audible cuando el electrodo está bien centrado); PUM pequeños por avería del electrodo de aguja; PUM pequeños por avería del cable conector; PUM pequeños por error técnico en el ajuste de filtros y/o ganancia y/o barrido; PUM pequeños «seudomiopáticos» de origen neurógeno.

## Resultados

### Hallazgos sobre la duración de los PUM individuales en tibialis anterior, sujetos sanos

Número de sujetos sanos: 82. Número de PUM con duración individual mínima: 82 (uno por sujeto). Duración media de los PUM con duración mínima: 9,8 ms. Desviación típica: 1,9. Intervalo en ms de la duración de los PUM de duración mínima: 6,8-13,4. Duración mínima observada en PUM individuales en sujetos sanos, independientemente de la edad: 6,8 ms.

En cuanto a la edad, se ha encontrado que la duración mínima de los PUM individuales en sujetos sanos aumentaba con la edad. Aunque la duración mínima para un PUM individual de 6,8 ms en sujetos sanos correspondió a la edad infantil, también se ha tomado como referencia para adultos, para que dicho valor sea independiente de la edad, aunque con ello se haya reducido la sensibilidad de la técnica, lo cual se ha llevado a cabo a cambio de una mayor especificidad (menor riesgo de falsos positivos) al conseguirse de este modo que no se superpongan en absoluto los intervalos normal y patológico.

### Hallazgos sobre la duración de los PUM individuales en tibialis anterior, sujetos con miopatía

Número de enfermos explorados: 24. Número de sujetos enfermos en los que se halló en tibialis anterior PUM menores de 6,8 ms (es decir, 6,7 ms o menos): 8 (el 33% de los pacientes). Número de PUM con duración menor de 6,8 ms: 17. Duración media de los PUM con duración mínima: 4,9 ms. Desviación típica: 1,2. Intervalo en ms de la duración de los PUM con duración mínima: 2,8-6,7 (nótese que este intervalo no se superpone con el equivalente en sujetos sanos). Comentario: en pacientes con miopatía puede haber en tibialis anterior unidades motoras enfermas cuyo PUM mida más de 6,8 ms, lo cual no ha impedido la detección de PUM de 6,7 ms o menos.

### Comparación pacientes/controles

Se tuvo en cuenta la influencia de la edad y el sexo. Se ha encontrado una diferencia significativa (test de Student:  $p < 0,001$ ) entre la duración de los PUM más cortos registrados en tibialis anterior de sujetos sanos y la duración de los PUM más cortos y menores de 6,8 ms registrados en tibialis anterior de sujetos con miopatía. El análisis no reveló diferencias significativas en función del sexo ni la edad.

### Otros parámetros

La electromiografía estuvo alterada en alguno de los parámetros electromiográficos en algún músculo afectado

clínicamente en 23 de los 24 sujetos enfermos. La duración media de 20 PUM se calculó en algún músculo clínicamente afectado en un 35% de los pacientes con miopatía. La duración media estaba reducida en un 37% de los pacientes en los que se midió. Los trazados de máximo esfuerzo con carácter miopático (completos y de baja amplitud y/o con aumento de la sumación temporal) en músculos clínicamente afectados mostraron una sensibilidad del 52%.

Durante los aproximadamente 3 años de investigación, se observó en un paciente de la consulta, al margen de la investigación, un PUM en tibialis anterior menor de 6,8 ms, en el curso de un proceso no miopático: se trataba de una severa estenosis de canal lumbar con un importante trastorno de la marcha, hipotrofia muscular y arreflexia en extremidades inferiores. Este hallazgo ha impedido que en esta serie la especificidad del PUM «miopático» como signo clínico sea del 100%.

## Sensibilidad y especificidad

Sensibilidad obtenida con esta muestra en la detección de PUM «miopáticos» en tibialis anterior de sujetos con miopatía: 33%. Se trata de una sensibilidad aparentemente baja, pero relativamente alta si se tiene en cuenta que en parte de los 24 sujetos con miopatía el músculo tibialis anterior no estaba clínicamente afectado de manera evidente. Hipotéticamente, incluso existe por tanto la posibilidad del hallazgo de PUM «miopáticos» subclínicos en algunos casos.

Especificidad diagnóstica de los PUM «miopáticos» procedentes de tibialis anterior de sujetos con miopatía obtenida con esta serie: 99%. Se trata de una especificidad relativamente alta, dado que el falso positivo observado, que se tuvo en cuenta para el cálculo de la especificidad con los datos de esta muestra, tuvo lugar en el curso de un proceso patológico neurógeno y, por lo tanto, podría ser descartado en correlación con la clínica (se desconoce el origen de este PUM «seudomiopático» en este sujeto con estenosis del canal lumbar; tal vez su origen se deba a un proceso de reinervación directa e incompleta, en vez de colateral, que es lo más frecuente, de una unidad motora que hubiera estado denervada previamente).

## Discusión

El valor de la duración de un PUM se ha visto que depende de factores diversos: influyen las características del electrodo, por ejemplo, si es monopolar o bipolar<sup>11</sup>; influye el área de registro del electrodo<sup>12</sup>; influyen el barrido, la ganancia o los filtros empleados<sup>13,14</sup>, e influye la temperatura del músculo<sup>15</sup>. La duración del PUM también depende de la longitud de la fibra muscular y del número de fibras por unidad motora<sup>16</sup>: a mayor número de fibras, mayor será la probabilidad de que la duración de los PUM sea mayor, y a menor número de fibras, mayor será la probabilidad de que la duración de los PUM sea menor. La duración también depende del espacio ocupado por las fibras; a mayor volumen, mayor duración<sup>17,18</sup>, probablemente por eso los PUM de los niños son de menor duración relativa.

De todos estos factores, el que más influye en la duración de los PUM tomada con fines diagnósticos en el caso de las miopatías es el número de fibras<sup>19,20</sup>, dado que esto es lo que

se correlaciona con una disminución de la duración de los PUM independientemente del espacio ocupado por la unidad motora<sup>20</sup>, y de ahí el interés de llevar a cabo el análisis de unidad motora para las miopatías basándolo en la medición de la duración de los PUM.

En contra de lo supuesto hasta ahora<sup>11</sup>, recientemente se ha comprobado que el área de registro del electrodo podría tener poca influencia en el resultado del análisis de los parámetros de los PUM<sup>21</sup>.

Hay dos maneras de enfocar la duración del PUM, por un lado, existe la que se denomina «duración clínica», que consiste en la duración de las fases de un PUM sin contar la fase de repolarización. Por otro lado, está la «duración fisiológica», que incluye la fase de repolarización de las fibras y, por lo tanto, añade a lo anterior la suma del pospotencial de repolarización que sigue a las fases de la onda de descarga<sup>16,17</sup>. En este trabajo se ha analizado la «duración clínica».

La duración media de 20 PUM es el parámetro electromiográfico que se ha considerado más interesante desde el punto de vista clínico a la hora de tratar de identificar signos electromiográficos con significado miopático en un músculo que se sospecha enfermo<sup>19</sup>. Hoy en día sigue considerándose la duración una medida clave en el análisis cuantitativo del PUM<sup>5</sup>; sin embargo, dicha técnica no se podrá llevar a cabo en todo paciente con sospecha de miopatía, por lo que interesará disponer de toda alternativa técnica que permita utilizar la duración de los PUM como parámetro con utilidad clínica práctica. Una alternativa podría ser esta técnica consistente en la detección de PUM «miopáticos» mediante medición manual, como paso siguiente al *eyeballing*.

Aunque hay evidencia de la correlación entre la reducción de la duración de los PUM y las alteraciones histopatológicas características de las miopatías<sup>3,10</sup>, consistentes básicamente en la pérdida de fibras musculares en el seno de las unidades motoras, existe aproximadamente un 10% de discrepancia entre histopatología y electromiografía<sup>22</sup>, debido a la inespecificidad de la técnica electromiográfica en algunos casos particulares que hay que tener en cuenta, que son los hallazgos seudomiopáticos (trazados de máxima contracción de baja amplitud) en procesos neurógenos severos y los hallazgos seudoneurógenos (trazados simplificados de gran amplitud) en procesos miopáticos severos. Por ejemplo: es posible realizar hallazgos electromiográficos con carácter seudoneurógeno en algunos sujetos con miopatía, sobre todo en las miopatías severas y de larga evolución, como puede ser el caso de una miositis crónica acusada y activa, como en una miositis con cuerpos de inclusión de décadas de evolución (observación personal); en este caso puede no ser ya posible encontrar PUM «miopáticos» en un músculo dado durante la exploración electromiográfica, por tener ya todos los PUM y los trazados de máxima contracción un aspecto seudoneurógeno en vez de miopático<sup>23</sup>, debido a la reinervación colateral que sufren las unidades motoras degeneradas, reinervación colateral que, aun teniendo un origen miógeno, será indistinguible desde el punto de vista electromiográfico de la reinervación colateral que tendría lugar en un proceso neurógeno. En estas situaciones el resultado de una electromiografía será difícil de interpretar sin una adecuada correlación clínica y patológica y si no se conoce en cierto detalle el curso evolutivo del enfermo.



En general, los hallazgos electromiográficos en una miopatía, al margen de la serie utilizada en este trabajo, suelen ser específicos de miopatía en la mayoría de las ocasiones, según observación personal, pero no patognomónicos, por lo que deben ser integrados coherentemente con el resto de la información clínica disponible. Y del mismo modo, el hallazgo de un PUM pseudomiopático en un paciente con un proceso neurógeno tampoco dará lugar a un equivoco si se establece una correcta correlación entre los hallazgos electromiográficos y el resto de la información clínica disponible.

El concepto de PUM «miopático» ha sido rechazado por algunos autores<sup>24</sup> o considerado inapropiado y confuso por otros<sup>25</sup>. Este rechazo no deja de ser lógico hasta cierto punto, porque aunque la duración de un PUM individual esté significativamente reducida, otros parámetros del PUM (amplitud, morfología, estabilidad interna o *jiggle*) podrían mantenerse dentro de límites fisiológicos. Otro problema para emplear el concepto de PUM «miopático» es el hecho de que un PUM podría corresponder a una unidad motora enferma y, sin embargo, no ser identificable el carácter patológico de la duración de este PUM con los criterios aquí expuestos, por ejemplo: en tibialis anterior de un sujeto con miopatía un PUM correspondiente a una unidad motora enferma podría pasar de medir 14 ms a medir 8 ms al ir perdiendo fibras musculares la unidad motora correspondiente y, sin embargo, no ser detectable el significado patológico de la duración de ese PUM individual de 8 ms de acuerdo con lo observado en este trabajo, al no ser menor de 6,8 ms. Una tercera desventaja achacable al concepto de PUM «miopático» consiste en que un PUM es la representación gráfica de un registro bioeléctrico, no una estructura anatómica, por lo que estrictamente el término PUM «miopático» es incorrecto, ya que un PUM no puede padecer una miopatía (de ahí que se coloque entre comillas). No obstante estas desventajas, en esta investigación ha sido posible demostrar en sujetos con miopatía la presencia de PUM cuya duración individual ha estado significativamente reducida por debajo de la normalidad, hecho que ha permitido distinguirlos, por su significado patológico y específicamente miopático, de los PUM más pequeños observados en sujetos sanos.

Se han encontrado pocas referencias al concepto de PUM «miopático» en la revisión bibliográfica efectuada, y las que se han encontrado no son recientes. Pero no todos los autores han desechado el concepto, que ha sido aplicado incluso en simulaciones por ordenador<sup>20</sup>. Aquí se ha visto que el concepto probablemente corresponde a un ente electromiográfico detectable y que, como tal, poseería una posible aplicación útil en la práctica clínica diaria, con el fin de mejorar el rendimiento diagnóstico de la electromiografía en el caso de las miopatías.

## Conclusiones

Dado el probable significado patológico y específicamente miopático de los PUM menores de 6,8 ms hallados en tibialis anterior de sujetos con miopatía, se propone el término PUM «miopático» para este tipo de PUM, y su uso como criterio electromiográfico específico para el diagnóstico de las miopatías.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes y que todos los pacientes incluidos en el estudio han recibido información suficiente y han dado su consentimiento informado por escrito para participar en dicho estudio.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

## Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

1. Liguori R, Fuglsang-Frederiksen A, Nix W, Fawcett PR, Andersen K. Electromyography in myopathy. *Neurophysiol Clin.* 1997;27:200–3.
2. Stalberg E, Andreassen S, Falck B, Lang H, Rosenfalck A, Trojaborg W. Quantitative analysis of individual motor unit potentials: a proposition for standardized terminology and criteria for measurement. *J Clin Neurophysiol.* 1986;3:313–48.
3. Buchthal F, Kamieniecka Z. The diagnostic yield of quantified electromyography and quantified muscle biopsy in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve.* 1982;5:265–80.
4. Fernández JM. Exploración neurofisiológica. En: Codina A, editor. *Tratado de Neurología.* Barcelona: ELA; 1994. p. 119–35.
5. Rodríguez-Carreño I, Gila-Useros L, Malanda-Trigueros A, Gurtubay IG, Navallas-Irujo J, Rodríguez-Falces J. Application of a novel automatic duration method measurement based on the wavelet transform on pathological motor unit action potentials. *Clinical Neurophysiology.* 2010;121:1574–83.
6. Pinelli P, Buchthal F. Duration, amplitude, and shape of muscle action potentials in poliomyelitis. *Electroenceph Clin Neurophysiol.* 1951;3:497–504.
7. Stalberg E, Nandedkar SD, Sanders DB, Falck B. Quantitative motor unit potential analysis. *J Clin Neurophysiol.* 1996;13:401–22.
8. Engel WK. Brief, small, abundant motor-unit action potentials. A further critique of electromyographic interpretation. *Neurology.* 1975;25:173–6.
9. Fernández-Lorente J, Esteban A, Salinero E, Traba A, Prieto J, Palencia E. Miopatía del enfermo crítico. Valoración neurofisiológica y biopsia muscular en 33 pacientes. *Rev Neurol.* 2010;50:718–26.
10. Black JTR, Bhatt GP, Defesus PV. Diagnostic accuracy of clinical data, quantitative electromyography and histochemistry in neuromuscular disease. *J Neurol Sci.* 1974;21:59–70.
11. Dumitru D, King JC, Nandedkar SD. Motor unit action potential duration recorded by monopolar and concentric

- needle electrodes. Physiologic implications. *Am J Phys Med Rehabil.* 2000;76:488–93.
12. Nandedkar SD, Dumitru D, King JC. Concentric needle electrode duration measurement and uptake area. *Muscle Nerve.* 1997;63:175–80.
  13. Daube JR. The description of motor unit potentials in electromyography. *Neurology.* 1978;28:623–5.
  14. Nandedkar SD, Barkhaus PE, Sanders DB, Stalberg E. Analysis of amplitude and area of concentric needle EMG motor unit action potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1988;69:561–7.
  15. Bertran MF, Nishida T, Mlnieka MM, Jansen I, Levy CE. Effects of temperature on motor unit action potentials during isometric contraction. *Muscle Nerve.* 1995;18:1443–6.
  16. Dumitru D, King JC. Motor unit action potential duration and muscle length. *Muscle Nerve.* 1999;22:1188–95.
  17. Dumitru D, King JC, Zwarts MJ. Determinants of motor unit action potential duration. *Clin Neurophysiol.* 1999;110:1876–82.
  18. Dumitru D, King JC, Rogers WE. Motor unit action potential components and physiologic duration. *Muscle Nerve.* 1999;22:733–41.
  19. Dumitru D, King JC, Nandedkar S. Comparison of single-fiber and macroelectrode recordings: relationship to motor unit action potential duration. *Muscle Nerve.* 1997 Nov; 1381–8.
  20. Nandedkar S, Sanders DB. Simulation of myopathic motor unit action potentials. *Muscle Nerve.* 1989;12:197–202.
  21. Brownell AA, Bromberg MB. Comparison of standard and pediatric size. concentric needle EMG electrodes. *Clin Neurophysiol.* 2007;118:1162–5.
  22. Kimura J. *Electrodiagnosis in disease of nerve and muscle. Principles and practice.* Philadelphia: FA Davis; 1989. p. 268.
  23. Uncini A, Lange DJ, Lovelace RE, Solomon M, Hays AP. Long-duration polyphasic motor unit potentials in myopathies: a quantitative study with pathological correlation. *Muscle Nerve.* 1990;13:263–7.
  24. Brown WF, Bolton CF. *Clinical electromyography.* London: Butterworths; 1987. p. 388.
  25. Johnson EW, Fallon TJ, Wolfe CV. Errors in EMG reporting. *Arch Phys Med Rehabil.* 1976;57:30–2.