

Utilidad de las ondas F en el diagnóstico de radiculopatía

Utility of F-waves in the radiculopathy diagnosis

Fabio Salinas D¹

Resumen

Las ondas F son respuestas tardías fácilmente obtenibles y reproducibles, que pueden contribuir al diagnóstico de radiculopatías. Existen unos nueve parámetros que se pueden evaluar de las ondas F y no solamente la latencia mínima, con lo cual la precisión diagnóstica se puede mejorar. En el presente artículo se revisarán los conceptos fisiológicos básicos de las ondas F, así como la bibliografía a favor y en contra de la utilidad de esta prueba para complementar el diagnóstico electrofisiológico de radiculopatía.

Palabras Clave: Ondas F, radiculopatía, electromiografía

Abstract

F-waves are late responses readily available and reproducible, which may contribute to the diagnosis of radiculopathies. There are about nine F-waves parameters that can be assessed and not only the minimal latency, thus the diagnostic accuracy can be improved. In this article F-waves basic physiological concepts and literature both for and against the usefulness of this test will be reviewed.

Key Words: F-waves, radiculopathy, electromyography

Conceptos generales

La utilidad de las ondas F para el diagnóstico de radiculopatías es un aspecto controversial, en los textos básicos de electrodiagnóstico se encuentran tanto argumentos a favor como en contra de su aplicación para detectar lesiones radiculares¹²³⁴. Una dificultad adicional cuando se evalúa la sensibilidad y especificidad de las pruebas electrodiagnósticas, es que ni la clínica ni los estudios de imágenes se consideran un “estándar de oro” para el diagnóstico⁵.

Las ondas F fueron descritas por Magladery y McDougal quienes las designaron con este término, quizá porque inicialmente fueron registradas en los músculos intrínsecos del pie⁶. La técnica de evocación de estas respuestas depende de la despolarización por un estímulo antidrómico de las neuronas motoras, que generará un potencial de acción que viajará en forma ortodrómica y producirá una respuesta tardía de latencia, amplitud y morfología variables, con respecto a la onda M, de acuerdo con el nivel de excitabilidad del soma de la motoneurona alfa que a su vez está influenciado por interacciones locales y supra-segmentarias, las cuales pueden ser excitatorias o inhibitorias⁷. Si se ajusta el valor de la latencia de la onda F con la longitud de la extremidad, un valor que supere 2 desviaciones estándar, es decir, 3 mseg en los brazos y 4 mseg en la pantorrilla, se puede considerar anormal. Para evitar la molestia que supone la estimulación supramáxima repetida para evocar las ondas F, se puede intentar hacerlo con estimulación submáxima, aquella que permite obtener un potencial de acción compuesto que oscila entre 10-20% en el mediano y 50% en el peroneal de la amplitud obtenida con un estímulo supramáximo⁸⁹.

¿Cuántas ondas buscar?

Fisher propone que el análisis de las ondas F luego de 10 estímulos (8-10 ondas) puede, en el mejor de los casos, proveer un estimativo de exactitud limitada de la latencia y la

¹ Médico Fisiatra. Profesor Titular. Facultad de Medicina. Universidad de Antioquia

Fecha de recepción: Mayo 17 de 2009

Fecha de aceptación: Octubre 18 de 2009

persistencia. Pero para mediciones más precisas sugiere 20 estímulos (17-20 ondas) para medir la latencia media, la relación onda F-onda M y las ondas F repetidas. Para evaluar la cronodispersión recomienda 50 a 60 ondas F¹⁰, aunque con solo 2 ondas F se podría establecer la cronodispersión, si la separación entre ambas es lo suficientemente anormal¹¹. La opinión de los expertos es que se debieran analizar al menos 20 ondas F en miembros superiores y 40 en los inferiores¹².

Parámetros a evaluar en las ondas F

1. Onda F mínima

Representa el valor mínimo de latencia, dado por el grupo de motoneuronas con velocidades de conducción más rápida. La diferencia lado-lado en un estudio fue menor de 1,4 mseg en los brazos y de 3,0 mseg en las piernas¹³.

2. Onda F máxima

Representa el grupo de motoneuronas con velocidad de conducción más lenta. Se puede utilizar como valor de referencia 31 mseg en las manos, 37 en la pantorrilla y 60 en los pies.

3. Onda F media

La latencia media tiene la ventaja de obtener un valor que representa todo el rango de fibras, se puede obtener a partir de unos 10 estímulos y es el parámetro electrofisiológico que se prefiere por su mejor reproducibilidad¹⁴. Si se usa la latencia media de 20 estímulos, el límite superior de lo normal para la diferencia lado-lado es de 2 mseg en las manos, 3 en las pantorrillas y 4 en los pies.

4. Cronodispersión

La cronodispersión se define como la dispersión de las latencias y se simplifica con la resta de la onda F máxima menos la mínima.

5. Persistencia

La persistencia es el número de ondas F en una cantidad determinada de estímulos¹⁵. La persistencia de las ondas F es de un 60-100% para el Mediano, 70-100% para el Ulnar, 17-100% para el Peroneal y casi siempre del 100% para el Tibial.

6. Duración

Se toma desde el inicio de la respuesta hasta que esta regresa a la basal. La duración aumentada se puede explicar por la coexistencia de fibras con tiempos de conducción normal y otras retardado, y puede estar aumentada por reinervación colateral.

7. Amplitud

La amplitud de la onda F, medida pico-pico, se relaciona con el número de motoneuronas activadas, dicha amplitud se puede expresar en relación con la amplitud máxima de la onda M, siendo un 5% de esta¹⁶. Se debe tener presente que el tamaño de las ondas F está influenciado también por la excitabilidad del sistema nervioso^{17,18}.

8. Velocidad y taqueodispersión

La taqueodispersión es la distribución de las velocidades de conducción de las ondas F¹⁹.

9. Ondas F repetidas

El término de ondas F repetidas (*Repeater waves*) se refiere al número de ondas en una serie que son las mismas. El porcentaje de ondas F repetidas indica la selectividad de una descarga de unidad motora en una serie de ondas F, y este porcentaje se aumenta en lesiones axonales.

Utilidad

Las ondas F, sobre todo la media, tienen el mayor coeficiente de correlación intraclase y el más bajo de variación relativa inter-test, comparado con otras pruebas electrofisiológicas²⁰. La variación en las latencias de las ondas F es usualmente menor del 10%, que es comparable al rango de error que se encuentra en otras pruebas electrofisiológicas. Una ventaja adicional de las ondas F sobre la electromiografía de aguja, es que la prueba puede ser menos dependiente de la habilidad y entrenamiento del profesional, menos subjetiva y las ondas registradas se pueden almacenar para su posterior interpretación o reinterpretación por otro especialista.

Un reporte de las ondas F en radiculopatías lumbosacras encontró una sensibilidad del 18%,

en este estudio evaluaron 28 pacientes, con diagnóstico clínico “inequívoco” de radiculopatía L5 o S1, encontraron respuestas tardías anormales –Reflejo H u onda F- en 14 pacientes, pero en todos ellos la electromiografía fue anormal²¹. Sin embargo, en este estudio las ondas F fueron registradas solo del extensor corto de los dedos, un músculo predominantemente L5, mientras que la mayoría de los pacientes tenían radiculopatías S1. Otra crítica a algunos estudios que emplearon la onda F del extensor corto de los dedos para el diagnóstico de radiculopatía L5, es que lo hicieron solo con 10 estímulos, y dado que este es un flexor fisiológico con una baja persistencia, se registran muy pocas ondas F para un análisis confiable.

Si bien algunos autores enfatizan en la inutilidad de las ondas F para el diagnóstico de las radiculopatías, otros les dan valor, pues son una forma de evaluar la conducción proximal de los nervios, sitio en el cual se presenta el daño en las radiculopatías; además, la electromiografía con aguja puede ser normal en las fases iniciales de las radiculopatías o cuando estas no producen demasiado daño axonal motor. En este sentido comparan el tratar de diagnosticar un síndrome del túnel carpiano solo mediante la denervación del abductor corto del pulgar y sin realizar las conducciones a través del túnel, si se procediera así solo un pequeño porcentaje de pacientes mostrarían anomalías²². Si las ondas F se van a utilizar para el diagnóstico de radiculopatía, la recomendación es hacerlas cuando la lesión supuestamente involucre la raíz estudiada no tiene sentido hacer las ondas F del ulnar para evaluar un paciente con sospecha de radiculopatía C5, además se deben evaluar varios parámetros de las ondas F y no solo la latencia mínima. Finalmente los valores de las ondas F se deben normalizar para la estatura del paciente, la edad y la latencia motora distal.

La precisión diagnóstica de una prueba se puede cuantificar mediante la curva de características operativas del receptor (ROC), en la cual un área mayor de 0,9 se considera de alta precisión diagnóstica, una de 0,7-0,9 moderada y una de 0,5-0,7 baja. Un paciente con una lesión radicular, en la cual la velocidad en el segmento lesionado sea <5 m/seg tendría una curva ROC

>0,9, en tanto uno cuya velocidad en dicho segmento estuviera entre 10-20 m/seg tendría un área ROC <0,7. El área bajo la curva ROC se puede interpretar como la probabilidad de que un sujeto afectado, seleccionado en forma aleatoria, tendrá un resultado más anormal que el de un sujeto sano seleccionado de igual forma. Esto se puede convertir en una razón de probabilidades (OR), en la cual, por ejemplo, al comparar dos pruebas diagnósticas si el OR es de 2, esto quiere decir que una de ellas es dos veces más efectiva para el diagnóstico que la otra. El OR de las ondas F en una radiculopatía que cause una conducción <5 m/seg en el segmento afectado sería de 7, y en modelos experimentales de desmielinización se encuentra que los axones pueden conducir a velocidades entre 2-20 m/seg en el segmento afectado. Adicionalmente, las anomalías en las ondas F tienden a desaparecer en los pacientes con radiculopatía luego de la cirugía de hernia de núcleo pulposo, lo cual provee una forma de seguimiento electrofisiológico²³.

Bibliografía a favor

Uno de los primeros autores en afirmar que la sensibilidad de las ondas F era similar a la de la electromiografía (Emg) en radiculopatías L5 y S1 fue Toyokura²⁴. En otro estudio comparó la diferencia en la duración de la onda F en pacientes con radiculopatía S1 leve²⁵. En este se incluyeron 46 voluntarios y 27 pacientes, se tomó como valor máximo de la duración de las ondas 16,7 mseg. Ocho de los 27 pacientes mostraron una onda F prolongada, en tanto que la mayoría de los pacientes tuvieron una onda F mínima normal, como desventajas de este estudio están que no se realizó electromiografía con aguja ni hubo cegamiento por parte de los evaluadores. En otro estudio compararon las ondas F de 60 nervios tibiales y 41 peroneales normales contra las de 25 pacientes con radiculopatía lumbosacra confirmada, y encontraron que el 65% de los pacientes tenían alterada la conducción proximal del peroneal y 56% la del tibial, con la ventaja de que las ondas F aun se pueden evocar en pacientes con arreflexia aquiliana y ausencia del reflejo H²⁶. Otro estudio comparó 42 pacientes con radiculopatía L5 o S1 con 36 sujetos sanos, en el grupo de pacientes con

debilidad, la sensibilidad diagnóstica de la Emg con aguja fue de 90% para radiculopatía L5 y de 80% para S1. Las ondas F tuvieron la misma sensibilidad en los pacientes con debilidad; sin embargo, en los pacientes sin debilidad, fueron más sensibles que la Emg pues estuvieron alteradas en 80% de las L5 y 67% de las S1²⁷. Estos estudios que muestran una mayor sensibilidad de las ondas F, comparable con la de la Emg, controlan la altura del paciente, la longitud de la extremidad y utilizan varios parámetros de las ondas F, no solo la latencia mínima.

Un estudio realizado en 57 pacientes encontró que en radiculopatías L4 la Emg fue anormal en 89%, los potenciales evocados somatosensoriales (PESS) por dermatomas en 67% y las latencias de las ondas F en 44%. En radiculopatías L5, las anomalías fueron 87%, 67% y 66%, respectivamente, y en lesiones S1 fueron 53%, 64% y 24%, respectivamente²⁸. La anomalía de las ondas F fue más frecuente en los pacientes con radiculopatías L5, lo cual es más útil pues las raíces L4 y S1 se pueden evaluar mediante un reflejo H que suele ser fácil de registrar. En este estudio la Emg y las ondas F fueron ambas anormales en 25%, la Emg aislada fue anormal en 25%, las 3 pruebas fueron anormales en 17% y hubo 4 casos (7%) en los cuales la única anomalía se encontró en las ondas F.

En otro estudio compararon los resultados obtenidos en 31 sujetos sanos, con los resultados retrospectivos de 1.520 pacientes remitidos al laboratorio de electrodiagnóstico, 383 de los cuales tenían radiculopatía²⁹. Encontraron que la sensibilidad de la cronodispersión de la onda F fue superior a la de la latencia mínima, supuestamente porque la desmielinización de la raíz daría un enlentecimiento diferencial. Las anomalías de la onda F identificaron 58 de 110 radiculopatías L5 aisladas (53%) y 14 de 19 radiculopatías L5/S1 (74%). Registraron las ondas F luego de 10 estímulos con el músculo relajado y no compararon con resultados de la electromiografía.

Un estudio realizado en 34 pacientes con radiculopatía lumbosacra, encontró que el coeficiente de verosimilitud (LR) positivo de las

ondas F fue de 2,5 y el LR negativo fue de 0,36³⁰. Estos índices miden la probabilidad pretest y postest de un diagnóstico, entre más alto sea el LR positivo, más probable que la información ayude a establecer un diagnóstico, entre más bajo el LR negativo, menos factible que la condición esté presente.

Un estudio incluyó 31 pacientes con radiculopatía cervical, 6 con mielopatía cervical y 30 controles, a quienes les practicaron ondas F de los medianos (evaluaron la mínima, la máxima, amplitud, persistencia, cronodispersión), electromiografía y resonancia magnética (RM). La utilización combinada de estos parámetros de las ondas F resultó en una sensibilidad de 55% para radiculopatía cervical. En 23 de 31 casos (75%) se diagnosticó radiculopatía con la electromiografía, teniendo la RM como estándar diagnóstico. En 4 de 31 casos (13%) se encontró alguna alteración de la onda F a pesar de una electromiografía normal. Cuando se combinaron los parámetros de las ondas F con los hallazgos de la electromiografía se diagnosticó radiculopatía en 27/31 pacientes (87%). Cuatro de los seis pacientes con mielopatía tuvieron alteraciones en las ondas F desafortunadamente en este estudio solo emplearon ondas F del mediano (C8) para diagnosticar alteración de diferentes raíces.

Una utilidad adicional que pueden tener las ondas F es en los pacientes con canal lumbar estrecho, quienes consultan por claudicación neurogénica y en los cuales el estudio convencional puede no mostrar ninguna alteración, máxime que son realizados con el paciente en reposo. En un estudio realizado con 26 pacientes con síntomas de canal lumbar estrecho, comparado con 20 controles, se realizaron ondas F del Tibial, tanto en reposo como luego de una prueba de marcha en banda, encontraron que en los pacientes la onda F pasó de $50,5 \pm 4,5$ a $51,8 \pm 4,8$, con una p de 0,001. En el grupo de controles la onda F pasó de $49,0 \pm 3,0$ a $49,5 \pm 3,4$ con una p de 0,435³². Otro estudio evaluó 29 pacientes con canal lumbar estrecho, diagnosticado mediante tomografía, de estos 16 tenían claudicación neurogénica y 13 no. El grupo se comparó con 24 pacientes diabéticos con polineuropatía y contra 25 sujetos sanos. La

cronodispersión de la onda F del Tibial permitió diferenciar los pacientes con canal estrecho y claudicación neurogénica, de los otros grupos, pues tuvieron el valor más alto. En otro estudio se evaluaron los cambios electrofisiológicos inducidos por el ejercicio en pacientes con claudicación neurogénica y se encontró que había un aumento estadísticamente significativo de la latencia mínima de la onda F del nervio Tibial³⁴. Un estudio que comparó alteraciones electrofisiológicas vs hallazgos en la RM de pacientes con estenosis lumbar, encontró que no hubo correlación entre la electromiografía y los hallazgos en las imágenes, la Emg con aguja no diferenció a los pacientes con estenosis leve a moderada sintomáticos, pero esto se pudo con algunos de los parámetros de reflejos H u ondas F, lo cual implica que en pacientes con estenosis lumbar y claudicación neurogénica, la desmielinización más que el daño axonal puede ser el mecanismo que explique los síntomas³⁵. Sin embargo, se debe tener presente que los síntomas de claudicación son sensitivos y que las ondas F evalúan solo la conducción motora.

Limitaciones de las ondas F

Los detractores del uso de las ondas F en radiculopatías mencionan varias razones: 1. que la sensibilidad es baja, pues el enlentecimiento en un segmento corto usualmente no prolongará las latencias totales de forma significativa, 2. en la medida que algunas pocas fibras estén respetadas, estas conducirán a una velocidad normal en el segmento lesionado, lo cual dará una latencia mínima normal, aun en presencia de una lesión radicular grave, 3. dado que las ondas F no evalúan la conducción sensitiva, no son útiles para evaluar pacientes con quejas predominantemente sensoriales –como pudiera serlo el reflejo H–, además lo más frecuente es que las lesiones radiculares causen síntomas puramente sensitivos, luego sensitivos y motores y, en forma más rara, síntomas puramente motores³⁶, 4. la lesión puede no causar un enlentecimiento, 5. los músculos generalmente son inervados por varias raíces, por lo cual la conducción anormal por la raíz afectada pudiera ser compensada

por la conducción en las raíces normales y 6, las alteraciones de las ondas F no son exclusivas de una radiculopatía, sino que pueden ser causadas por otras enfermedades como una polineuropatía³⁷³⁸.

Entre las limitaciones técnicas de las ondas F está el que usualmente solo se mide y reporta la latencia más corta y como la lesión de un nervio no necesariamente afecta todos los axones, la conducción a través de los más rápidos pudiera estar respetada y así la latencia mínima sería normal. Por lo cual la latencia de la onda F pudiera ser normal en lesiones pequeñas o incompletas. Otro factor anatómico limita la sensibilidad de las ondas F, y es que si bien se pueden obtener luego de la estimulación de cualquier nervio, solo suelen ser útiles en músculos distales, en los cuales la onda F no se superpone con la M, como ocurre en los músculos más proximales, a no ser que se utilicen técnicas de colisión, por esto las ondas F serían solo útiles para radiculopatías C8, T1, L5 y S1.

La utilidad de la latencia de las ondas F para evaluar lesiones radiculares se controvierte basado en un argumento: el tiempo de conducción resultante de todo el nervio “diluye” el retardo asociado a una lesión focal. Dado que la aplicación diagnóstica de las ondas F se fundamenta en una decisión binaria entre normal y anormal, de acuerdo con un valor umbral, la exactitud de la prueba se puede caracterizar mediante la teoría de detección de señales. Por ello si el argumento de la dilución es válido y consistente con la teoría de detección de señales, el coeficiente de variación de las latencias de conducción nerviosa debe ser constante. Por ejemplo, si la latencia motora distal del nervio peroneal en un sujeto control es de 3,77 mseg, con una desviación estándar (D.E.) de 0,86 mseg, entonces la distribución de latencias de la onda F del peroneal con una media de 48,4 mseg tendría una D.E. de 11,0 mseg, cuando en realidad es de solo 4,0 mseg³⁹. Por lo tanto, la teoría de la dilución puede ser rebatible, aparte de que este mismo concepto de la dilución sería aplicable al reflejo H, una prueba electrofisiológica que tradicionalmente si se considera útil para el diagnóstico de algunas radiculopatías⁴⁰⁴¹.

Otra limitante teórica se presenta porque se ha encontrado que existe diferencia en la temperatura de la extremidad en pacientes con radiculopatía lumbosacra, con respecto a sujetos control, lo cual podría afectar la velocidad de conducción de las ondas F. Una dificultad adicional para utilizar las ondas F en el diagnóstico de radiculopatías es que los valores de referencia de las latencias mínimas, cronodispersión, persistencia cambian de acuerdo con la fuente que se consulte⁴³.

Bibliografía en contra

Para algunos autores la sensibilidad diagnóstica de las ondas F es baja, un 10 a 20%⁴⁴. Desde el punto de vista histológico la mayoría de las radiculopatías causan daño axonal parcial y solo raramente desmielinización focal, que sería la que afectaría más las ondas F⁴⁵. En consecuencia, autores como Aminoff concluyen que las ondas F a menudo son normales en los pacientes con radiculopatía y aun cuando son anormales, esto es inconsecuente pues los hallazgos en la electromiografía de aguja son también anormales y ayudan a establecer el diagnóstico de forma más definitiva⁴⁶.

Un estudio que incluyó 91 pacientes con evidencia clínica o electromiográfica de radiculopatía L5 o S1 y 81 controles sanos, realizó ondas F en el extensor corto de los dedos -L5- y flexor corto del hallux -S1- los autores encontraron que la cronodispersión en los controles osciló entre 0,2 a 23,4 mseg para el nervio peroneal y 1,2 a 13,4 mseg para el tibial, y en los pacientes la cronodispersión fue de 0,2 a 23,4 para el peroneal y 0,4-18,2 mseg para el tibial. El percentil 95 se calculó en 13 mseg para el peroneal y 9,2 para el tibial. Solo 5 (5,5%) y 8 (11,3%) pacientes tuvieron valores por encima del percentil 95 para los nervios peroneal y tibial, respectivamente. Con lo cual se concluyó que la cronodispersión no tenía un valor adicional sobre la latencia de la onda F para el diagnóstico de radiculopatía lumbosacra⁴⁷.

El estudio de Aiello et al, realizado en 24 pacientes con radiculopatía L5, encontró anomalías en la electromiografía en todos

los pacientes, mientras que solo 7 (29,2%) mostraron alteraciones en alguno de los parámetros de la onda F del extensor corto de los dedos (latencia mínima, media, diferencia entre un lado y otro), concluyendo que la onda F no aportaba información adicional⁴⁸. En otro estudio tomaron 36 pacientes con sospecha clínica o mielográfica de radiculopatía. La electromiografía fue anormal en 75% de los casos, contra 43% de las ondas F⁴⁹.

En un resumen publicado por Robinton et al, en una revisión retrospectiva de 1.116 reportes de electrodiagnóstico, encontraron que la Emg fue anormal en 66,56% de los casos de radiculopatía lumbosacra, mientras que las ondas F fueron anormales, como única alteración, en el 0,6% de los casos, por lo cual consideraron a las ondas F como de utilidad muy limitada⁵⁰.

Conclusiones

Usualmente las anomalías de las ondas F se correlacionan con las encontradas en la electromiografía con aguja, por ello no tendría sentido en radiculopatías que estén claramente definidas por electromiografía hacer ondas F. Sin embargo, cuando no existan alteraciones en la Emg o, por ejemplo, en pacientes con arreflexia aquiliana bilateral y reflejos H ausentes, las ondas F pudieran ser la única forma de evidenciar lesión de las ramas anteriores de la raíz. Además se deben hacer cuando la lesión supuestamente involucre la raíz estudiada. Finalmente es importante evaluar varios parámetros de las ondas F y normalizar por estatura y latencia motora distal.

Bibliografía

1. Dumitru D. Amato A, Zwarts M. Electrodiagnostic Medicine. Second Edition, 2002. Hanley & Belfus, Philadelphia.
2. Chious Tan F. Emg Secrets. 2003. Hanley And Belfus Medical Publishers
3. Kimura J, Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice. Third edition, 2001. Oxford University Press.
4. Oh Shin. Clinical Electromyography: Nerve

- Conduction Studies, 2003. Lippincott, Williams and Wilkins. Philadelphia.
5. Fisher M. Electrophysiology of radiculopathies. *Clin Neurophys* 2002; 113: 317–335.
 6. Magladery JW, McDougal Jr DB. Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man: identification of certain reflexes in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibers. *Bull Johns Hopkins Hospital* 1950;86:265–90.
 7. Puksa L, Stalberg E, Falck B. Reference values of F wave parameters in healthy subjects *Clin Neurophys*, 2003; 114: 1079–1090
 8. Kong X, Bansal P, Megerian JT, Gozani SN. Peroneal F-wave characteristics under submaximal stimulation *Neurol, Neurophys and Neurosc* 2006; 1:1-13.
 9. DiBenedetto M, Gale SD, Adames D. F-Wave Acquisition using low-current stimulation. *Muscle Nerve* 2003;28:82-86.
 10. Fisher M. issues & opinions the contemporary role of F-wave studies F-Wave Studies: Clinical Utility. *Muscle & Nerve*, 1998; 8:1098-1101
 11. Fisher MA, Hoffen B, Hultman C: Normative F wave values and the number of recorded F waves. *Muscle Nerve* 1994;17: 1185–1189
 12. Taniguchi MH, Hayes J, Rodriguez AA. Reliability determination of F mean response latency. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993; 74:1139-43
 13. Puksa L, Stålberg E, Falck B. Reference values of F wave parameters in healthy subjects *Clin Neurophys*, 2003;114:1079-90.
 14. Maciel J, Spinola D, Mastrocola G, Kimura J. Various aspects of F-wave values in a healthy population. *Clin Neurophys*, 2004; 115: 2336–2342
 15. Espiritu M, Lin C, Burke D. Motoneuron Excitability And The F Wave. *Muscle Nerve* 2003; 27: 720–727.
 16. Panayiotopoulos C, Chroni E. F-waves in clinical neurophysiology: a review, methodological issues and overall value in peripheral neuropathies. *Electroenceph Clin Neurophys*, 1996; 101: 365-374
 17. Fox J, Hitchcock E. F wave size as a monitor of motor neuron excitability: the effect of deafferentation. *J Neurol, Neurosurg Psych* 1987;50:453-459
 18. Wedekind C, Ullrich R, Klug N. F-wave amplitudes indicate evolving spinal autonomy during spontaneous recovery of hindlimb function in rat spinal cord contusion. *Spinal Cord*, 2006; 44: 44–48.
 19. Ohgaki K, Nakano K, Shigeta H, et al. Ratio of Motor Nerve Conduction Velocity to F-Wave Conduction Velocity in Diabetic Neuropathy *Diabetes Care*, 1998; 21: 616-618
 20. Spinola D, Mastrocola G, Maciel J. Reproducibility in nerve conduction studies and F-wave analysis. *Clin Neurophys*, 2008; 119: 2070–2073
 21. Aminoff MJ, Goodin DS, Parry GJ, Barbaro NM, Weinstein PR, Rosenblum ML. Electrophysiologic evaluation of lumbosacral radiculopathies: electromyography, late responses, and somatosensory evoked potentials. *Neurology* 1985;35:1514–8.
 22. Rivner M. F-Wave Studies: Limitations *Muscle & Nerve*, 1998; Aug: 1101-04
 23. Toyokura M, Ishida A, Murakami K. Follow-up study on F-wave in patients with lumbosacral radiculopathy: comparison between before and after surgery. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1996;36:207–214.
 24. Toyokura M, Murakami K. F wave study in patients with lumbosacral radiculopathies. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1997;37:19–26.
 25. Toyokura M, Furukawa T. F wave duration in mild S1 radiculopathy: comparison between the affected and unaffected sides *Clinical Neurophysiology* 2002; 113:1231–1235
 26. Eisen A, Schomer D, Melmed C. An electrophysiological method for examining lumbosacral root compression. *Can J Neurol Sci* 1977;4: 117–23.
 27. Weber F, Albert U. Electrodiagnostic examination of lumbosacral radiculopathies. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2000;40:231–6.
 28. Braune H-J, Wunderlich MT. Diagnostic value of different neurophysiological methods in the assessment of lumbar nerve root lesions, *Arch Phys Med Rehabil* 1997; 78:518-20.

29. Weber F. The diagnostic sensitivity of different F wave parameters. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998;65:535–540
30. Fisher MA, Bajwa R, Somashekar KN. Routine electrodiagnosis and a multiparameter technique in lumbosacral radiculopathies. *Acta Neurol Scand* 2008; 118: 99–105.
32. Lo L, Chan L, Leoh T, Lim W, Tan S, Tan C, Fook-Chong s. Diagnostic utility of F waves in cervical radiculopathy: Electrophysiological and magnetic resonance imaging correlation *Clinical Neurology and Neurosurgery* 2008; 110: 58–61
33. Bal S, Celiker R, Palaoglu S, Cila A: F wave studies of neurogenic intermittent claudication in lumbar spinal stenosis. *Am J Phys Med Rehabil* 2006;85:135–140
34. Adamova B, Vohanka S, Dusek L. Differential diagnostics in patients with mild lumbar spinal stenosis: the contributions and limits of various tests. *Eur Spine J*, 2003;12 :190–196
35. Adamova B, Vohanka S, Dusek L. Dynamic electrophysiological examination in patients with lumbar spinal stenosis: Is it useful in clinical practice? *Eur Spine J*, 2005; 14 : 269–276
36. Chiodo A, Haig AJ, Yamakawa KSJ, Quint D, Tong, H, Choksi VR: Magnetic resonance imaging vs. electrodiagnostic root compromise in lumbar spinal stenosis: a masked controlled study. *Am J Phys Med Rehabil* 2008;87:789–797.
37. Hardy RW, Plank NM. Clinical diagnosis of herniated lumbar disc. In: Hardy RW, editor. *Lumbar disc disease*, New York: Raven, 1982. pp.17–28.
38. Wilbourn A, Aminoff M, AAEE Minimonograph #32: The Electrophysiologic Examination In Patients With Radiculopathies *Muscle & Nerve* 1988; 11:1099-1114.
39. Levin K. Electrodiagnostic approach to the patient with suspected radiculopathy. *Neurol Clin N Am*, 2002; 20: 397–421
40. Gozani S, Kong X, Fisher M. Factors influencing F-wave latency detection of lumbosacral root lesions using a detection theory based model. *Clinical Neurophysiology* 2006, 117: 1449–1457
41. Braddom R, Johnson E. Standardization of H reflex and diagnostic use in S1 radiculopathy. *Arch Phys Med Rehabil* 1974;55:161–6.
42. Schuchmann J. H reflex latency in radiculopathy. *Arch Phys Med Rehabil* 1978;59:185–7.
43. Yuen TS, Aminoff MJ, Olney RK. The role of thermography in the evaluation of lumbosacral radiculopathy. *Neurology* 1989;39:1154–8.
44. Alavian-ghavanini M, Haghpanah S. Normal values of F wave in lower extremities of 73 healthy individuals in Iran. *Electrom Clin Neurophys*, 2000, 40; 375-379
45. Tsao B. The Electrodiagnosis of Cervical and Lumbosacral Radiculopathy *Neurol Clin*, 2007; 25: 473–494
46. Rydevik BL, Brown MD, Lundborg G. Pathoanatomy and pathophysiology of nerve root compression. *Spine* 1984; 9:7–15.
47. Aminoff MJ. Electrophysiological evaluation of root and spinal cord disease. *Semin Neurol* 2002;22:197–9.
48. Mebrahtu S, Rubin R. The utility of F wave chronodispersion in lumbosacral radiculopathy. *J Neurol*, 1993; 240 : 427-429
48. Aiello I, Patraskakis S, Sau Gf et al. Diagnostic value of extensor digitorum brevis F-wave in L5 root compression. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1990;30:73-6.
49. Eisen A, Hoirsch M, Moll A: Evaluation of radiculopathies by segmental stimulation and somatosensory evoked potentials. *Can J Neurol Sci* 1983; 10:178-182 .
50. Robinton J.E., Pearson J.M., Malloy M.J., Richards, R., Zamora, J. Diagnosis of Lumbar Radiculopathy by EMG, Nerve Conduction and Late Wave Testing, AANEM Poster. *Muscle Nerve* 2006