

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE MEDICINA

SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“Análisis de las Co-Fluctuaciones en los Reflejos Hoffman del Músculo Flexor Carpi Radialis en el Humano”.

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD
PRESENTA:**

ALFONSO TORIZ ROLDAN

DIRECTORES DE TESIS

**Dr. JOEL LOMELÍ GONZÁLEZ
Dr. ELÍAS MANJARREZ LÓPEZ**

MÉXICO, D. F. JUNIO 2011.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA	¡Error! Marcador no definido.
ACTA DE REVISIÓN	4
CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS.....	¡Error! Marcador no definido.
GLOSARIO	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	6
SUMMARY	8
INTRODUCCION.....	9
ANTECEDENTES	11
Tipos de movimiento.....	11
Fisiología de los husos musculares.....	14
LOS REFLEJOS MEDULARES	16
Estimulación para provocar el reflejo H.....	27
Curvas H y M de reclutamiento	27
Reflejos entre miembros.....	29
Coordinación medular	32
JUSTIFICACIÓN	37
Planteamiento del Problema	38
HIPÓTESIS.....	39
OBJETIVO GENERAL.....	40
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	41
MATERIAL Y MÉTODOS	42
RESULTADOS	49
DISCUSIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES	60
PERSPECTIVAS	61
ANEXO 1	62
ANEXO 2	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí sorteando todo tipo de obstáculos.

A mis hijos Alfonso, Frida, Rodrigo Alfonso y Jesús, a quienes he robado su tiempo conmigo para dedicarlo a este trabajo.

A Lupita, quien me ha acompañado a lo largo de mi carrera siendo el viento favorable que me ha ayudado a llegar a puerto seguro.

A Joel quien aparte de profesor, Tutor y guía, ha sido un amigo entrañable.

A las secretarias Araceli y Muriely, quienes me han ayudado incondicionalmente más allá de sus obligaciones laborales para que pudiera yo cumplir con los requisitos administrativos de este trabajo.



SIP-14-BIS

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 10:00 horas del día 27 del mes de Mayo del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.M para examinar la tesis titulada:

"Análisis de las Co-Fluctuaciones en los Reflejos de Hoffman del Músculo Flexor Carpi Radialis en el Humano"

Presentada por la alumna:

Toriz
Apellido paterno

Roldán
Apellido materno

Alfonso
Nombre(s)

Con registro:

A	0	9	0	7	5	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA SALUD

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Joel Lomeli González

Dr. Elias Manjarrez López

Dra. Norma Estela Herrera González

Dr. Andrés Salas Casas

Dr. Pedro López Sánchez



PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

ESQUELA SUPERIOR DE MEDICINA
I.P.N.
SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACION
CONTROL ESCOLAR

Dr. Ezeazar Lara Padilla



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 27 del mes mayo del año 2011, el que suscribe Toriz Roldán Alfonso alumno del Programa de Maestría en Ciencias de la Salud con número de registro A090754 adscrito a La Escuela Superior De Medicina, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Joel Lomelí González, Dr. Elías Manjarrez López y cede los derechos del trabajo intitulado “Análisis de las Co-Fluctuaciones en los Reflejos de Hoffman del Músculo Flexor Carpi Radialis en el Humano”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección alfonsotoriz@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Alfonso Toriz Roldán

Nombre y firma

RESUMEN

Introducción: El reflejo de Hoffman es una herramienta que puede ser útil para determinar patrones de conexión en la médula espinal. En el presente trabajo estudiamos las fluctuaciones bilaterales en la amplitud de los reflejos registrados en los músculos *flexor carpi radialis* de ambos antebrazos en 9 sujetos humanos neurológicamente sanos. Este trabajo se realizó con la finalidad de investigar la posibilidad de fluctuaciones sincronizadas de la excitabilidad de los núcleos motores entre ambas extremidades superiores. Ello nos permitiría inferir la existencia de grupos de interneuronas que comanden, regulen o sincronicen esta excitabilidad.

Material y métodos: los experimentos se realizaron en 9 sujetos neurológicamente sanos los cuales firmaron el consentimiento informado. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de La Escuela Superior de Medicina del IPN. Para obtener los reflejos se aplicaron pulsos rectangulares de corriente constante de 1 ms de duración y una intensidad entre 3 y 7 mA y frecuencia de 1 Hz. Se tomaron 500 registros simultáneos de ambos músculos *flexor carpi radialis* descartando los primeros 10 y utilizando los 490 restantes para el análisis. Se analizaron las curvas de reclutamiento con la finalidad de saber cuál era el grado de excitabilidad basal de los núcleos motores. Se analizó también la autocovarianza en la amplitud de los reflejos para cada extremidad, así como la covarianza cruzada entre ambas antes y después de aleatorizar las amplitudes de los registros.

Resultados: Se observó que aún cuando la excitabilidad basal de ambos

lados fue diferente, las amplitudes de los RHs fluctúan de manera semejante.

Conclusión: Independiente de la diferencia en la excitabilidad basal para cada extremidad superior parece ser que existe algún circuito neuronal coordinando las variaciones bilaterales en la amplitud del reflejo. Esto es congruente con lo encontrado por otros investigadores en segmentos inferiores medulares.

Palabras clave: reflejo H, covarianza, covarianza cruzada, flexor carpi radialis, excitabilidad del núcleo motor.

SUMMARY

Introduction: The Hoffman Reflex is a tool that can be useful in determining connection patterns in the spinal cord. In this paper we study bilateral fluctuations in amplitude of reflexes recorded in flexor carpi radialis of both forearms in nine neurologically healthy human subjects. This work was done in order to investigate the possibility of synchronized fluctuations in the excitability of the motor nuclei between both upper limbs. This would allow us to infer the existence of groups of interneurons that command, regulate or synchronize this excitability.

Material and methods: Experiments were performed in 9 neurologically healthy subjects who signed informed consent. The protocol was approved by the Ethics Committee of Escuela Superior de Medicina, IPN. To obtain H reflexes, rectangular pulses of constant current were applied with 1 ms duration, between 3 and 7 mA intensity, and frequency of 1 Hz. All 500 records were taken simultaneously from both flexor carpi radialis discarding the first 10 and using the remaining 490 for analysis. Recruitment curves were analyzed to infer background excitability level of motor nuclei. We also analyzed covariance in the amplitude of reflexes for each limb, and the cross covariance between both sides before and after randomizing the amplitudes obtained.

Results: We observed that even when background excitability of both sides were different, the amplitudes of RHS fluctuate similarly.

Conclusion: Regardless of differences in background excitability for each upper limb, there appears to be some neural circuitry coordinating bilateral variations in amplitude of reflexes. This is consistent with findings by other researchers in lower medular segments.

Keywords: H reflex, covariance, cross-covariance, flexor carpi radialis, excitability of the motor nucleus.

INTRODUCCIÓN

El reflejo de Hoffmann (reflejo H) es uno de los reflejos más estudiados en humanos y es el equivalente eléctrico del reflejo monosináptico de extensión. Se genera mediante estimulación eléctrica de baja intensidad de un nervio aferente en lugar del estímulo mecánico derivado de la extensión del huso muscular. Esto resulta en la excitación monosináptica de la a-motoneurona (Knikow,). En la década de los 40's se introdujo el reflejo monosináptico como una herramienta para investigar cambios en la excitabilidad del total de motoneuronas. Cuando este reflejo se utiliza en la experimentación, permite evaluar el efecto de trenes condicionantes en las aferentes periféricas de las vías descendentes (Pierrot-Desseiligny y Mazevet, 2000).

La técnica de obtención del reflejo H, descrito inicialmente por Paul Hoffmann fisiólogo alemán en 1918 consiste en estimular eléctricamente las fibras aferentes en un nervio periférico y registrar la respuesta refleja en el músculo homónimo. Puede obtenerse más fácilmente en aquellos músculos cuya inervación se halla accesible para la estimulación eléctrica cutánea. Los músculos más utilizados con este fin son el sóleo y el flexor carpi radialis (Serrato, Bonell, Tabernig).

El SNC está activo continuamente exhibiendo actividad aparentemente aleatoria desde niveles de membrana hasta niveles de comportamiento. Tanto en el laboratorio como en la clínica, la aleatoriedad asociada con la actividad del SNC ocasiona variaciones (fluctuaciones) en la magnitud de las respuestas provocadas subsecuentes, producto de estímulos de amplitud constante (Manjarrez, Paxtlan y cols).

Se han estudiado las fluctuaciones de la amplitud del reflejo. Estas fluctuaciones pueden ser el resultado de modulación presináptica inhibitoria de las terminales Ia, variaciones de intensidad de potenciales postsinápticos en las motoneuronas, y de depresión homosináptica de las sinapsis de las motoneuronas Ia. Las fluctuaciones aleatorias en la amplitud del reflejo H han sido estudiadas por varios investigadores para entender sus características y orígenes; y así obtener una mayor comprensión de los circuitos neuronales involucrados. Se ha estudiado la bilateralidad del reflejo con resultados contradictorios. En el 2002 Mezzarane y Kohn estudiaron el reflejo sóleo estimulando en forma simultánea ambas piernas buscando información acerca del grado de simetría de los circuitos espinales respectivos y de la variabilidad del reflejo. Encontraron que la covarianza cruzada entre las amplitudes bilaterales del reflejo H mostró un pico estadísticamente significativo en el intervalo cero, lo cual sugiere una correlación entre los estímulos sinápticos de los sistemas de la α -motoneurona Ia de los músculos sóleo de ambas extremidades. (Mezzarane y Kohn, 2002).

En este trabajo pretendemos extender el trabajo que Mezzarane y Kohn realizaron en sóleo, realizándolo esta vez en extremidades superiores estimulando bilateralmente el nervio mediano para registrar ambos músculos flexor carpi radialis en forma simultánea. Se busca comprender los circuitos involucrados en segmentos medulares de la extremidad superior. La idea es comparar con lo obtenido en extremidades distales

ANTECEDENTES

Aquí se presenta una descripción detallada y ordenada del estado del conocimiento sobre el tema de la tesis. La extensión es variable y no está limitada a un número determinado de cuartillas. Se ocupa el espacio necesario

Génesis del movimiento

El control del movimiento se inicia con representación interna o una imagen del resultado deseado. Al contrario de los sistemas sensoriales que nos permiten tener una imagen interna del mundo exterior transformando la energía física en señales neurales, el sistema motor traduce señales neurales en fuerzas contráctiles en los músculos produciendo movimientos (Kandel, 1996).

Tipos de movimiento

Los sistemas motores generan tres tipos de movimientos. Los reflejos, los patrones motores rítmicos y los movimientos voluntarios. Los reflejos son movimientos estereotipados, muy simples, con escaso o nulo control voluntario. Los patrones rítmicos como el andar o masticar, combinan características de los actos reflejos y de los movimientos voluntarios. Finalmente, los movimientos voluntarios como vestirse, son propositivos y aprendidos, pero una vez practicados, cada vez es menor el control que requieren. El sistema motor está organizado en tres niveles de control: la médula espinal, los sistemas descendentes del tronco encefálico y las áreas motoras de la corteza cerebral. En la médula se encuentran los cuerpos neuronales de las motoneuronas. La organización espacial de estas motoneuronas sigue dos reglas anatómico funcionales: de acuerdo a la regla proximal distal, las motoneuronas que inervan músculos proximales, se localizan medialmente, mientras que las que inervan músculos más distales se localizan progresivamente más laterales. Según la regla de flexor-extensor, las motoneuronas que inervan músculos

flexores se localizan ventrales a las que inervan a los extensores. (cap 26 neurociencia y conducta)

La unidad motora muscular consta de una sola motoneurona y de las fibras musculares que inerva. En mamíferos, cada fibra muscular se halla inervada por una única motoneurona, sin embargo, cada motoneurona puede inervar varias fibras musculares. Se puede graduar la fuerza de contracción mediante dos mecanismos: puede variar el número de unidades motoras activadas (reclutamiento), cuanto mayor sea el número reclutado, mayor será la fuerza de contracción muscular. Por otro lado, puede variar la tasa de potenciales de acción de cada motoneurona, cuanto más alta sea la tasa de descarga, mayor será la fuerza de contracción.

De acuerdo a la velocidad de respuesta y a su predisposición a la fatiga hay tres tipos de fibras musculares: las fibras fatigables rápidas pueden contraerse y relajarse rápidamente, pero se fatigan rápidamente durante la estimulación sostenida, estas fibras son las que generan la mayor fuerza durante una sacudida o contracción tetánica. En segundo lugar se encuentran las fibras resistentes a la fatiga lentas, realizan una contracción más sostenida y son muy resistentes a la fatiga, pero sólo pueden generar entre un 1 y 10 por ciento de la fuerza de las fibras fatigables rápidas. El tercer tipo, denominadas resistentes a la fatiga rápidas tiene un tiempo de contracción un poco más lento que las fatigables rápidas, pero son casi tan resistentes a la fatiga como las resistentes a la fatiga lentas y pueden producir aproximadamente el doble de fuerza que las últimas. Los tres tipos de fibras se encuentran en casi todos los músculos, pero en proporciones diferentes, pero cada unidad motora sólo tiene un tipo de ellas. Pueden distinguirse por el tamaño del cuerpo celular de la

motoneurona. Las unidades motoras resistentes a la fatiga lentas cuentan con cuerpos neuronales más pequeños, generan menos fuerza, pero son más resistentes a la fatiga y tienen un umbral más bajo de estimulación. Las motoneuronas de las unidades resistentes a la fatiga rápidas tienen cuerpos celulares mayores. Las neuronas de las unidades fatigables rápidas son las que tienen los somas más grandes. A medida que aumenta la fuerza de estimulación, las unidades motoras son reclutadas de acuerdo a su tamaño, siendo las de mayor tamaño las últimas en reclutarse. Esta característica se denomina el principio del tamaño y funciona tanto para movimientos voluntarios como reflejos. De esta manera, las unidades resistentes a la fatiga lentas se utilizan en todos los movimientos. Las unidades motoras rápidas son las que se utilizan con menor frecuencia puesto que sólo se reclutan cuando se requieren fuerzas mayores.

Los músculos tienen receptores especializados sensibles a cambios de longitud y otras características del estado del músculo. Básicamente son dos tipos de receptores: los que detectan los cambios de longitud y las fuerzas que estos cambios generan. Los husos musculares se encuentran en la parte carnosa del vientre muscular, paralelos a las fibras del músculo, se hallan inervados por dos tipos de fibras aferentes mielinizadas grupo Ia (de diámetro amplio) y II de diámetro pequeño. Los órganos tendinosos de Golgi, localizados en la unión entre la fibra muscular y el tendón, sólo están inervados por fibras aferentes Ib, también mielinizadas, pero de diámetro menor a las Ia. Ambos se encuentran en casi todos los músculos esqueléticos.

Los husos musculares son estructuras alargadas con un centro un poco más grueso y extremos finos lo que le da su forma. Su longitud varía entre 4 y 10

mm. Consta de tres componentes principales: un grupo de fibras musculares especializadas o intrafusales, terminales sensoriales en las fibras musculares intrafusales y terminales motoras que regulan la sensibilidad del huso. La parte central del huso está cubierta por una cápsula de tejido conectivo denso llena de líquido gelatinoso que facilita el deslizamiento de las fibras intrafusales en su interior. Las fibras intrafusales son menores que las extrafusales y presentan una fuerza de contracción insignificante. Sus terminales sensoriales registran sus cambios de longitud, pero sólo se contraen en los extremos ya que sus zonas centrales no se contraen. Las fibras intrafusales son de dos tipos, las de cadenas nucleares y las de bolsas nucleares. Las primeras son cortas y delgadas con sus núcleos en una única fila. Las de bolsas nucleares son de mayor diámetro y sus núcleos se hallan agrupados en la región central de la fibra, son de dos tipos: dinámico y estático. En mamíferos se encuentra una fibra de cada tipo y un número variable de fibras de cadena nuclear en cada huso muscular.

Los axones sensoriales mielinizados penetran en la cápsula del huso muscular por su parte central y terminan cerca o sobre las porciones centrales de las fibras intrafusales enroscándose alrededor de fibras individuales.

Fisiología de los husos musculares

Cuando las fibras se estiran, se alarga la región central de las fibras intrafusales alrededor de las cuales se hallan enroscadas las terminales sensoriales aferentes que aumentan su tasa de descarga. Ello sucede porque tal alargamiento activa canales iónicos sensibles al estiramiento, de esta forma, se altera el potencial celular despolarizando la membrana celular generando potenciales de acción. Cuando el estiramiento se libera, las fibras intrafusales se afloja y la tasa de descarga disminuye. Existen dos tipos de fibras

sensoriales aferentes de los husos musculares, las fibras primarias, de las cuales normalmente sólo hay uno compuesto de todas las ramas de un único axón aferente la que termina en los tres tipos de fibras intrafusales. Normalmente también sólo hay solo una terminal secundaria en cada huso, son del tipo II y terminan sobre fibras de cadena o fibras de bolsa estáticas. Las terminales primarias son mucho más sensibles a la tasa de cambio de longitud. Los órganos tendinosos de Golgi son estructuras encapsuladas de alrededor de 1 x 0.1 mm de tamaño, se encuentran en la unión del tendón con el músculo, en donde se adhieren las fibras de colágeno a fibras musculares extrafusales. Los haces de colágeno del órgano tendinoso se dividen en fascículos finos que forman una estructura trenzada. Cada órgano tendinoso está innervado por un axón del grupo Ib. que pierde su mielinización después de entrar en la cápsula y de ramificarse en numerosos terminales finos que se entremezclan con los fascículos trenzados. El estiramiento del tendón endereza los haces de colágeno. Esto comprime y alarga las terminales nerviosas y provoca su descarga. Debido al entrelazamiento de las terminales nerviosas con las fibras de colágeno trenzadas, estiramientos muy finos pueden deformar las terminales nerviosas, lo que hace a este órgano muy sensible.

Los husos y los órganos tendinosos proporcionan diferente información acerca del estado muscular, su longitud y el grado de tensión. Cuando el músculo se estira, las aferencias del huso aumentan la tasa de descarga mientras que los tendones muestran aumento pequeño e inconsistente. Cuando el músculo se

contrae por estimulación eléctrica del su nervio motor, la tasa de descargas del órgano tendinoso aumenta mientras que la del huso disminuye o cesa.

El sistema nervioso controla la sensibilidad de los husos musculares a través de motoneuronas gama. Estas se activan en forma paralela que las motoneuronas alfa ajustando la longitud de las fibras intrafusales para mantener una longitud estable del huso muscular y así pueda responder a diferentes cambios de longitud del músculo aunque estos se den en forma escalonada (Kandel, 1996).

LOS REFLEJOS MEDULARES

Al Proceso de coordinación de de las contracciones de músculos independientes para que actúen integradamente se denomina coordinación motora. La forma más elemental de esta coordinación motora es el reflejo. Esta es una respuesta relativamente estereotipada frente a un estímulo sensorial específico. Este estímulo debe de tener dos características fundamentales, el lugar de estimulación y la intensidad de la misma, el primero determina qué músculos se contraerán para producir la respuesta; y la segunda, determinará la magnitud de la respuesta.

El circuito responsable de los reflejos medulares está contenido en la propia médula y recibe la información directa de los músculos, articulaciones y piel. Estos reflejos juegan un importante papel en todos los movimientos voluntarios. Estos circuitos elementales están integrados en centros encefálicos superiores logrando conductas de mayor complejidad también se utilizan estos reflejos en el diagnóstico clínico para la valoración de la integridad y excitabilidad general de la médula espinal.

A principios de siglo, Sherrington descubrió que los reflejos de extensión se pueden abolir seccionando las raíces dorsal o ventral de la médula encontrando que estos reflejos requieren de aferencias sensoriales originadas en los músculos y dirigidas a la médula, así como una vía motora de esta hacia el músculo.

El reflejo de extensión depende exclusivamente de conexiones monosinápticas entre fibras primarias aferentes que desde los husos musculares y las motoneuronas inervan ese mismo músculo. Los reflejos musculares producidos por estimulación cutánea forman un circuito más complejo involucrando una o más interneuronas entre las fibras aferentes primarias y las motoneuronas.

En animales descerebrados, se elimina el control y la modulación encefálica resultando esta desregulación en incremento de los reflejos. Durante la flexión pasiva de la extremidad posterior de un gato descerebrado la contracción de los extensores se halla aumentada, a esto Sherrington le llamó reflejo de extensión o miotático, y se compone de dos componentes: una contracción fásica, de corta duración activada por el cambio de longitud del músculo, y una contracción tónica más débil, pero de mayor duración producida por el nuevo estiramiento estático de los músculos en un periodo más prolongado. Durante la extensión de un músculo dado, se producen dos efectos simultáneos, contracción de los músculos agonistas y relajación de los antagonistas, mediante excitación de las motoneuronas de unos y la inhibición de las motoneuronas de los otros. A esto que se le denomina inervación recíproca.

El grupo de fibras aferentes originadas en los husos musculares pertenecen al grupo Ia y penetran a la médula por las raíces dorsales. En el asta dorsal se dividen en numerosas ramas, algunas de las cuales establecen conexiones

directas con las motoneuronas que inervan el mismo músculo del que proviene el nervio aferente. Por esto se dice que el reflejo de extensión es monosináptico, es decir consta de un circuito de dos neuronas, la aferente Ia y la motoneurona, y una sinapsis.

Las ramificaciones de las aferentes Ia no solamente inervan la motoneurona del músculo homónimo, sino que sus ramificaciones hacen sinapsis excitatorias con motoneuronas de músculos sinérgicos (que tienen acción mecánica similar). También establecen conexión con interneuronas inhibitorias con motoneuronas de músculos antagonistas. Este grupo de conexiones es la esencia de la inervación recíproca.

El reflejo de extensión simple funciona de la siguiente manera: mediante la elongación pasiva brusca de los haces musculares, produce estiramiento de los husos musculares originando aumento de la velocidad de descarga de las fibras Ia procedentes de los músculos involucrados. La descarga excita las alfa motoneuronas del músculo homónimo y de los músculos sinérgicos, produciendo una contracción que se opone al estiramiento que inició todo el ciclo. También mediante las sinapsis con las interneuronas inhibitorias, denominadas Ib, se produce inhibición de las alfa motoneuronas de los músculos antagonistas relajándolos para apoyar la contracción muscular que se opone a la extensión brusca.

El tono muscular es la fuerza por la que el músculo se resiste a la extensión, esta deriva de la tensión intrínseca del músculo. También existe un componente neural derivado del reflejo de extensión que ayuda a que el músculo adapte su tono durante la contracción derivada de las diferentes acciones en las que se ve involucrado.

La mayoría de las vías nerviosas involucradas en los reflejos son polisinápticas en donde una o más interneuronas se interponen entre la fibra sensorial y la motora. Estas interneuronas reciben estímulos de más de un origen lo que permite recibir información y modulación de centros encefálicos superiores y de músculos sinergistas y antagonistas.

Los reflejos medulares están gobernados por tres centros de control: el control de músculos individuales, la coordinación de la acción muscular en torno a una articulación y la coordinación de los músculos en varias articulaciones.

Los músculos no funcionan independientes uno de otro porque sus aferentes la tienen interconexiones con músculos sinérgicos y antagonistas. Al grupo de músculos que funcionan mediante estas interconexiones alrededor de una articulación se le denomina unidad mototática.

La relajación del músculo antagonista durante el movimiento aumenta la velocidad y eficacia debido a que los músculos iniciadores del movimiento no actúan contra la oposición de músculos opuestos. También, los centros moduladores superiores envía axones conectando directamente con las motoneuronas efectoras y enviando ramificaciones a interneuronas inhibitorias la de los antagonistas por lo que utiliza la misma vía descendente para lograr ambos objetivos.

Las motoneuronas homónimas están influenciadas por un segundo tipo de interneurona inhibitoria, la interneurona inhibitoria Ib, que recibe estímulos de los órganos tendinosos de Golgi. Estos receptores proporcionan un mecanismo de retroalimentación negativo para la regulación de la tensión muscular paralela a la retroalimentación negativa de los husos musculares que regulan la extensión muscular. La actividad incrementada de los órganos tendinosos

excita la interneurona Ib que inhibe las motoneuronas homónimas disminuyendo la tensión muscular. Además de la información de los órganos tendinosos, estas interneuronas Ib reciben información de las aferentes Ia, aferentes cutáneas de bajo umbral, aferentes articulares, así como inputs excitatorios e inhibitorios de varias vías descendentes. Estas vías proporcionan un mecanismo medular para el control de los movimientos finos como el tacto activo.

La estimulación táctil de varias zonas de la piel estimula la contracción refleja de músculos específicos habitualmente los que están situados bajo la piel estimulada. El tipo de estimulación también determina el efecto reflejo. Un estímulo de la misma zona puede resultar en flexión, extensión e incluso la contracción de todos los músculos flexores de la extremidad como cuando se estimula de forma suave, se presiona o se aplica un estímulo doloroso (pinchazo con alfiler) a la planta del pie.

El Reflejo de extensión es el único reflejo monosináptico que se conoce en el sistema nervioso mamífero. Involucra neuronas aferentes y eferentes con axones de gran diámetro y que se encuentran entre las neuronas que conducen más rápido. Esta vía se adapta a la velocidad de funcionamiento. Permite que se regule el tono muscular rápida y eficazmente sin la intervención de centros neurales superiores. Sin embargo, mediante estímulos descendentes se controla la magnitud o sensibilidad del reflejo adaptándolo a necesidades motoras específicas. Sin embargo, el encéfalo influye indirectamente a través de los axones descendentes mediante las interneuronas. Estas interneuronas tienen la capacidad de agrupar a los músculos en unidades funcionales. Los reflejos neurales funcionan como

componentes elementales de conductas más complejas. Proporcionan a los centros superiores un conjunto de patrones básicos de la coordinación motora partiendo de combinaciones relativamente simples. Sin embargo, a pesar de ser patrones estereotipados, son muy adaptables a situaciones novedosas que se ajustan a los cambios posturales. Es por esto que los reflejos elementales no son del todo rígidos en su funcionamiento ya que se adaptan a la posición de partida de los segmentos corporales y al entorno externo que facilitan la actuación para oponerse al movimiento. Los centros superiores pueden activar estos circuitos reflejos para producir movimientos voluntarios sin necesidad de tener que controlar detalles de la composición del patrón del movimiento frente a las circunstancias que ocurran. En los movimientos complejos como la locomoción, los centros superiores mediante órdenes descendientes relativamente sencillas coordinan patrones complejos de movimiento ya que los detalles finos se realizan en forma refleja (Kandel, 1996).

El reflejo de Hoffmann (o Reflejo H) es el análogo eléctrico del reflejo monosináptico de extensión. Se produce mediante la estimulación eléctrica de baja intensidad del nervio aferente en vez de una estimulación mecánica mediante el estiramiento del huso muscular. El resultado es la excitación monosináptica de alfa motorneuronas por lo tanto, el Reflejo H se “salta” el huso muscular y su actividad fusimotora que puede influenciar la sensibilidad de las aferentes para involucrarse en un circuito reflejo simple. Los reflejos H pueden evocarse en casi todos los músculos en los que el acceso a un nervio periférico mixto es posible.

La estimulación eléctrica de un nervio periférico mixto produce dos respuestas en el músculo homónimo. Una onda M (respuesta motora de latencia corta

debida a estimulación directa de los axones motores) y el reflejo H. Durante la estimulación supramáxima el reflejo H desaparece debido a la colisión de potenciales de acción motores antidrómicos con los potenciales de acción ortodrómicos aferentes llegando a una onda M máxima.

El reflejo H y la onda M no reclutan las mismas motoneuronas a. Estas se reclutan de forma ordenada desde la más pequeña (más excitable con potenciales postsinápticos la grandes) hasta la mayor (menos excitable y potenciales postsinápticos más pequeños). Por lo tanto, las motoneuronas pequeñas que inervan unidades motoras lentas se reclutan primero durante el reflejo H, mientras que estímulos eléctricos que evocan la onda M activan axones de gran diámetro que inervan motoneuronas rápidas.

Las amplitudes de las ondas M y H varían significativamente dependiendo de la intensidad del estímulo. La ganancia en el reflejo se puede estimar como la pendiente entre la activación de motoneuronas, -medida como la actividad miográfica basal- y la amplitud del reflejo H. Es esencial determinar este parámetro en estudios que involucran cambios movimiento dado que cambios en la pendiente pueden relacionarse a cambios en el número de motoneuronas consideradas en estado subliminal de disparo. Los estímulos activan motoneuronas proporcionalmente al nivel de actividad motora y al tamaño del la actividad subliminal.

Cuando el reflejo H se evoca durante la porción descendiente de la curva de reclutamiento las motoneuronas lentas que se encuentran mayoritariamente involucradas en el reflejo, son insensibles para facilitación o inhibición, y es muy posible que sean influenciadas por vías Ib y recurrentes inhibitorias. Para evitar estos factores confusores, Maria Knikou sugiere que el reflejo H sea

evocado únicamente durante la porción ascendente de la curva de reclutamiento a 20-40 % de la Mmax. Concomitantemente, la amplitud de la onda M debe de permanecer estable y ser de aproximadamente un 4 – 8 % de la Mmax. Una onda m constante sugiere que un número constante de fibras motoras y, por lo tanto, de aferentes la están siendo excitadas por el estímulo de prueba. Puede ser posible que la onda h alcance una amplitud de 50 – 60 % de la Mmax sin que la onda M se presente. Sin embargo, Knikou sugiere que la onda m sea monitoreada durante toda la prueba para asegurar que los cambios en la onda H no sean resultado de cambios en la composición de de trenes aferentes sino de mecanismos que actúan para facilitar o inhibir el reflejo H (Knikou, 2008).

El reflejo monosináptico forma la base de la primera técnica disponible para investigar las vías espinales en animales y humanos. El principio se basa en la aparente simplicidad de la proyección monosináptica de aferentes 1^a hacia motoneuronas homónimas.

El reflejo monosináptico depende en las proyecciones de las aferentes Ia del huso muscular hacia motoneuronas homónimas y fue utilizado temprano en los 40`s como herramienta para investigar cambios en la excitabilidad de grupo de motoneuronas. Utilizado como un reflejo de prueba, el reflejo monosináptico nos permite evaluar el efecto de trenes condicionantes en aferentes periféricas o tractos descendentes sobre el pool de motoneuronas.

La estimulación eléctrica percutánea del nervio tibial posterior produce una respuesta sincronizada en el músculo sóleo. Esto llegó a llamarse Reflejo de Hoffmann o Reflejo H. Magladery y colaboradores (1951) demostraron que las

primeras motoneuronas en descargar el reflejo H, lo hacen con una latencia consistente con una vía monosináptica. El reflejo H, que es el equivalente al reflejo monosináptico en estudios animales, se convirtió en la herramienta principal de muchos estudios de control motor y diagnósticos realizados en humanos.

El acto reflejo monosináptico

Las fibras 1ª de las terminales primarias de los husos musculares tienen proyecciones excitatorias monosinápticas hacia motoneuronas del músculo del cual las aferentes emanan (proyecciones homónimas). Esta vía es la responsable del reflejo del golpe en el tendón. El reflejo H se produce por estimulación eléctrica de las aferentes Ia, que tienen un umbral eléctrico más bajo que los axones a-motores, particularmente para estímulos de duración relativamente larga.

El reflejo H, El golpe del tendón y el reflejo espinal de estiramiento de latencia corta.

Todos dependen de la excitación monosináptica de aferentes Ia homónimas. Sin embargo, los trenes aferentes para estos reflejos difieren en muchos aspectos. El tren aferente eléctricamente inducido del reflejo H pasa por alto los husos musculares y produce un tren único, sincrónico en aferentes de grupos Ia y 1b. El golpe en el tendón produce un estiramiento altamente dinámico, que activa principalmente terminales primarias del huso muscular y provoca una descarga prolongada de aferentes Ia. El reflejo espinal de estiramiento de latencia corta se halla encubierto por una respuesta de latencia media debida a un tren del grupo II de las terminaciones secundarias del huso muscular.

El reclutamiento ordenado de motoneuronas en el reflejo monosináptico

El tamaño de los potenciales excitatorios posinápticos evocados en motoneuronas individuales por un tren aferente dado es más grande en motoneuronas pequeñas que proveen a unidades motoras lentas que en motoneuronas grandes que proveen a motoneuronas rápidas. Como resultado, las motoneuronas se reclutan en una secuencia ordenada por el estímulo Ia, de la menor a la mayor, de acuerdo al principio del tamaño de Henneman. Las motoneuronas que contribuyen al reflejo H humano, se reclutan en una secuencia ordenada similar desde las unidades motoras lentas a las unidades motoras rápidas. Este orden se mantiene cuando se recibe una variedad de estímulos excitatorios e inhibitorios. De tal manera, que la facilitación primero afectará a aquellas motoneuronas que estuvieron apenas a punto de disparar, y la inhibición afectará primero a aquellas motoneuronas reclutadas al último.

Principios del reflejo monosináptico

En la situación control, el tren de prueba Ia evocado por estimulación de una intensidad constante ocasiona que algunas motoneuronas disparen produciendo el reflejo control de prueba.

Este método permite distinguir entre estímulos condicionantes que no afectan la excitabilidad de las motoneuronas, aquellos que ocasionan únicamente una excitación subliminal de las motoneuronas cuando se aplica solo, y aquellos que inhiben a las motoneuronas.

Cuando se utiliza una contracción voluntaria débil para potenciar el reflejo elevando la excitabilidad de las motoneuronas cerca del umbral de disparo, los reflejos H pueden registrarse de casi todos los músculos de las extremidades si el nervio original se encuentra accesible a la estimulación eléctrica.

El sujeto debe estar confortablemente sentado en una silla con descansabrazos evitando el más mínimo estiramiento del músculo estudiado. Generalmente se estudia la extremidad inferior con la cadera semiflexionada 120° , las rodillas a 160° y los tobillos a 110° . La extremidad superior se estudia con el hombro en abducción leve 60° , el codo semiflexionado 110° y el antebrazo pronado y apoyado en el brazo de la silla.

El estado de alerta puede modificar la amplitud del reflejo, de una forma impredecible. Se incrementa durante la alerta, cuando el nivel de atención es alto. Las demandas de tarea pueden inducir variaciones en el reflejo H, relacionado a las características particulares del esfuerzo mental requerido. En la práctica, el reflejo H debe ser registrado en una habitación silenciosa. LA amplitud del reflejo disminuye durante las etapas tempranas del sueño y desaparece durante el sueño REM.

Los cambios en la geometría muscular durante la contracción voluntaria pueden afectar la amplitud del reflejo. Si los reflejos se expresan como un porcentaje de la onda M máxima medida bajo las mismas circunstancias.

La latencia se mide hasta la primera deflexión de la basal de la onda H, no la primer pico positivo. En la práctica, es poco relevante si se toma la amplitud, la superficie, o si la amplitud se mide en la deflexión positiva únicamente o de la positiva a la negativa. Cualquier método elegido debe ser el mismo que se utilice para medir la onda M y la Mmax. La amplitud del reflejo H debe ser expresada como porcentaje de la Mmax.

Se debe evitar el registro de potenciales de músculos adyacentes (cross-talk) ya sea evocado eléctrica o mecánicamente.

Estimulación para provocar el reflejo H

El diámetro de las aferentes Ia es ligeramente mayor que el de los axones motores y su umbral reobásico es menor. Por ello es generalmente posible, particularmente en el sóleo, producir un reflejo H estimulando por debajo del umbral motor. El estímulo óptimo para provocar el reflejo H es largo (1 ms). La intensidad del estímulo se alcanza la reobase aproximadamente al 50 % de la reobase para axones motores.

Para áreas con muchos nervios, se prefiere la estimulación bipolar. Debido que al incrementar la frecuencia de estimulación por encima de 0.1 Hz se presenta atenuación del reflejo, se tiene que hacer un compromiso entre la depresión del reflejo y la necesidad de recolectar un gran número de respuestas debido a la variabilidad del reflejo. Durante una contracción de fondo del músculo investigado, la atenuación con el aumento en la repetición del estímulo se reduce y hasta desaparece.

Curvas H y M de reclutamiento

Conforme se incrementa el estímulo hay inicialmente un incremento progresivo en amplitud del reflejo debido a trenes aferentes Ia más fuertes. Cuando se alcanza el umbral motor, aparece una respuesta directa de latencia corta (onda M) en el EMG debido a estimulación de los axones motores. Incrementos mayores en la intensidad del estímulo de prueba ocasiona un incremento mayor en la onda M y una disminución de la onda H. Finalmente cuando la respuesta directa motora es máxima, la respuesta refleja está completamente abolida. Esto se debe a que el tren motor antidrómico, originado en los axones motores colisiona con y elimina al reflejo H. Cuando aparece inicialmente en el

EMG la respuesta M involucra axones de las mayores motoneuronas, que tienen un umbral alto para reclutamiento del reflejo H. Debido a que no son activadas en el reflejo, la estimulación de estas motoneuronas no interfiere con la respuesta refleja. Las variaciones de las respuestas H y M con la intensidad del estímulo de prueba puede ser graficada como curva de reclutamiento. Debido al reclutamiento ordenado de las motoneuronas, la sensibilidad del reflejo para la facilitación e inhibición depende de las últimas motoneuronas reclutadas por el tren de prueba. Siempre y cuando el reflejo no se encuentre en la rama descendente de la curva de reclutamiento.

La Mmax se produce mediante la estimulación de todos los axones motores y provee un estimado de la respuesta total del pool de motoneuronas. Este estimado es realmente una sobreestimación porque la fuerte estimulación necesaria producirá actividad EMG en músculos sinergistas además del músculo de prueba. De acuerdo con ello, la Mmax que sigue a la estimulación en el codo proviene del FCR, flexores de los dedos y del pronador teres. Ignorando esto, la Mmax siempre deberá medirse en el mismo experimento con la misma ubicación de electrodos porque: (i) al compararlo con la respuesta del reflejo nos da un estimado de la proporción de motoneuronas del pool que disparan en el reflejo; (ii) el expresar el reflejo como un porcentaje de la Mmax nos permite controlar los cambios en la geometría muscular debido a cambios en la longitud o contracción muscular; (iii) el expresar el reflejo de prueba como un porcentaje de la Mmax permite al investigador asegurarse de que el reflejo permanece dentro de rango "lineal" de la relación input/output para el pool de motoneuronas. (Pierrot-Deseilligny, 2005).

Reflejos entre miembros

Los movimientos rítmicos de las extremidades superiores que se llevan a cabo durante las actividades de caminar, nadar y correr, no son movimientos pasivos. Se ha demostrado que son producto de una actividad muscular coordinada con las extremidades inferiores. Aún cuando dichas extremidades se hayan sujetado, la musculatura involucrada mantiene las contracciones necesarias para dicho movimiento. Se piensa que la coordinación de reflejos entre miembros se deriva de conexiones nerviosas entre las redes cervicales y lumbosacras. Incluso, investigaciones recientes han sugerido que el control de movimientos rítmicos de las extremidades superiores es muy similar al de las extremidades inferiores. Para producir un movimiento coordinado, se presume que existe alguna forma de conexión entre el control del movimiento de extremidades distales con el de las extremidades proximales. Sin embargo, se sabe poco acerca de hasta qué punto las interacciones entre brazos y piernas pueden influenciar la excitabilidad de los reflejos. Se han identificado patrones neurales que conectan extremidades superiores con las inferiores en otras especies, y recientemente se han descrito para la locomoción bípeda del humano. A la fecha, estas conexiones se han identificado en el humano neurológicamente intacto durante actividades motoras estáticas estimulando nervios en antebrazo y registrando músculos en la pierna o viceversa. También ya se han reportado respuestas similares en las extremidades superiores de pacientes con lesión medular cervical después de la estimulación de nervios mixtos en extremidades inferiores.

Se sabe poco acerca de la interacción entre movimientos de la extremidad torácica y la excitabilidad de los reflejos en las extremidades pélvicas del

humano. Pocos estudios han examinado el efecto de la posición de los brazos en la amplitud del reflejo H del sóleo. Los reflejos H sóleos derechos se facilitaron cuando el hombro derecho estaba flexionado (45 -90^a al frente de la línea axilar anterior, e inhibidos cuando el hombro izquierdo se colocó de la misma manera. El movimiento pasivo de la articulación del codo facilitó, mientras que el balanceo de la extremidad superior inhibió los reflejos H sóleos. Sin embargo, estos estudios no controlaron varios factores importantes como la constancia de los estímulos, el tamaño de la onda M y el nivel de activación sóleo, por lo cual deben tomarse con cautela.

El primer objetivo de este trabajo es demostrar la hipótesis de que el movimiento rítmico de las extremidades superiores altera la transmisión de la vía del reflejo H sóleo. Se sabe que la inhibición presináptica es uno de los mecanismos más importantes asociado con el movimiento rítmico y se sabe, además, que modula fuertemente esta vía refleja.

El segundo objetivo era probar la hipótesis de que los cambios en la inhibición presináptica son responsables de la modulación del reflejo H sóleo. La estimulación del nervio sural facilita el reflejo H sóleo disminuyendo la inhibición presináptica, mientras que la estimulación del nervio peroneo común reduce el reflejo H sóleo incrementando la inhibición presináptica. Por lo tanto se utilizaron estímulos condicionantes que se sabe disminuyen o aumentan la inhibición presináptica de la vía refleja del sóleo para evaluarlo.

Su experimento fue diseñado para investigar el efecto del movimiento rotatorio de las extremidades superiores sobre la amplitud de los reflejos H del sóleo. Se utilizaron como controles las amplitudes promedio de reflejos H no condicionados en cada posición durante experimentos estáticos, expresando

los porcentajes relativos a los valores control correspondientes registrados en las posiciones de flexión y extensión del hombro.

Se encontraron dos resultados principales, primero: el movimiento rítmico cíclico de las extremidades superiores significativamente reduce la amplitud del reflejo del músculo sóleo comparado con controles estacionarios. Segundo, esta modulación se origina antes de la membrana motoneurona, probablemente por inhibición presináptica de terminales aferentes Ia.

Existe alguna evidencia de que los movimientos de flexión/extensión pasivos del codo, balanceo rítmico de los antebrazos y posicionamiento estático de las extremidades superiores influyen la amplitud de los reflejos de estiramiento y H sóleos del humano

Proponen que varias vías pueden ser responsables de modular el reflejo H sóleo durante el movimiento circular de las extremidades superiores. Inputs supraespinales y propioespinales y actividad Generadora de Patrones Centrales (CPG) pueden estar involucrados en modular la Inhibición Presináptica de la vía aferente al pool de motoneuronas del sóleo.

Los reflejos sóleos se facilitan estimulando el nervio cubital y el nervio mediano en el codo. Se ha atribuido esta facilitación a la reducción de la inhibición presináptica a través de una vía larga que alcanza niveles pontinos. Junto con la influencia supraespinales, los tractos propioespinales también pueden estar involucrados. Es muy probable que tractos propioespinales que unen los ensanchamientos medulares cervical y lumbosacro contribuyan a la coordinación entre extremidades.

Inputs de los músculos antagonistas y de las aferentes cutáneas de la pierna pueden alterar el nivel de PSI de las terminaciones Ia de las motoneuronas del

sóleo. En 1996 se demostró que la activación de las aferentes cutáneas del nervio sural reduce la PSI de la aferentes Ia del sóleo inducida por la estimulación del nervio peroneo común sugiriendo convergencia de una vía presináptica común.

Tal vez un CPG activado durante el movimiento circular del brazo sea el responsable de modificar el PSI en la terminal aferente Ia. Recientemente se ha demostrado que la modulación del reflejo en extremidades superiores e inferiores es similar, lo que sugiere un control semejante. El hallazgo de que la modulación se presente durante los movimientos activos, pero no pasivos sugiere pudieran estar involucradas redes CPG. Es posible que se hallen acoplados CPGs cervicales y lumbosacros durante la locomoción y pueden producir outputs sincrónicos para la coordinación y modulación de los reflejos entre miembros. El desborde de uno o más CPGs pudiera controlar la actividad de los reflejos en brazos y piernas durante el movimiento coordinado de ambos pares de extremidades. (Frigon, et al., 2004).

Coordinación medular

Cambios en las amplitudes del reflejo H pueden estar dadas por diferencias en la inhibición presináptica de terminales Ia, variaciones en las descargas de potenciales posinápticos y a depresión homosináptica de las sinapsis de motoneuronas. Se ha demostrado que la inhibición presináptica de las terminales Ia varían en diferentes actividades. Las motoneuronas incrementan o disminuyen su excitabilidad, modulando los potenciales posinápticos, y por lo tanto alteran la excitabilidad del reflejo. Estímulos mediante trenes de baja

frecuencia a las aferentes la ocasionan depresión de las amplitudes del reflejo H.

Durante cualquier actividad, una combinación de estos factores contribuyen a modular el control reflejo y motor.

Resultados contradictorios en la literatura acerca de la existencia de una asimetría en la curva de recuperación del reflejo H obtenida de ambos lados y si esta supuesta diferencia se encuentra o no relacionada con el lado dominante del sujeto. Estos estudios se enfocan fundamentalmente en sóleo.

En los estados de espasticidad, la depresión del reflejo H es significativamente menor en pacientes espásticos, y por lo tanto, se pudiera desarrollar un índice con potenciales diagnósticos

Varios investigadores han realizado experimentos en gatos y han concluido que tanto la inhibición presináptica de las terminales Ia como los efectos posinápticos en la motoneurona son factores relevantes para la variabilidad de reflejos, pero la influencia posinápticas se correlacionan con mayor importancia.

El análisis de la aleatoriedad de las amplitudes de reflejos H en el humano pudiera dar información acerca de las varias entradas sinápticas que afectan directa o indirectamente a las motoneuronas y a los botones terminales 1^a, y por lo tanto, información potencial acerca de diferentes estados normales y anormales asociados con los circuitos espinales.

Ellos analizan las secuencias de autocovarianza y de covarianza cruzada de las amplitudes del reflejo H registrada en ambas extremidades inferiores. Con el análisis de la autocovarianza, se pretende verificar si existe correlación entre amplitudes de reflejos H subsecuentes en un tren dado, las que pudieran

sugerirlos tipos de fluctuaciones que actúan en el sistema de la motoneurona 1ª. El análisis de la covarianza cruzada indicará si existen entradas comunes o correlacionados modulando los núcleos motores de motoneuronas del sóleo y /o terminales 1ª asociadas de los músculos sóleos de ambas piernas. (Mzzarane y Kohn)

El SNC está activo continuamente exhibiendo actividad aparentemente aleatoria desde niveles de membrana hasta niveles de comportamiento. La extensión de estas variaciones depende en un gran número de variables que incluyen el estado de alerta o anestesia del sujeto de estudio. Tanto en el laboratorio como en la clínica, la aleatoriedad asociada con la actividad del SNC ocasiona variaciones (fluctuaciones) en la magnitud de las respuestas provocadas subsecuentes, producto de estímulos de amplitud constante. En este contexto, una pregunta importante en la fisiología de la médula espinal es: ¿cuál es el origen de las fluctuaciones de las respuestas espinales cuando la intensidad del estímulo, posición y sitio de registro es constante?

La observación de que el reflejo de extensión es sumamente variable fue reportado por primera vez por Sherrington (1906). Posteriormente fue demostrado que los reflejos monosinápticos espinales ipsilaterales producto de estímulos constantes exhiben variaciones considerables en tamaño. Rall y Hunt en 1956 diferenciaron componentes: uno correlacionado linealmente y otro sin correlación demostrando que la posibilidad de descarga de motoneuronas individuales durante el reflejo monosináptico se correlaciona sólo parcialmente con la amplitud de la respuesta poblacional. Estos autores sugirieron que la

“background drive (excitabilidad basal)” posináptica era el origen principal tanto de las fluctuaciones correlacionadas como de las no correlacionadas que observaron. En otras publicaciones se ha atribuido el origen de esta variabilidad a las fluctuaciones de excitabilidad dentro del núcleo motor, las cuales pueden ser pre o posinápticas. Recientemente, Manjarrez y cols. demostraron que en el gato existe gran correlación entre las fluctuaciones de amplitud de RMS ipsilaterales y las variaciones de amplitud de potenciales espontáneos negativos ipsilaterales del dorso de la médula sugiriendo que la causa fundamental de las fluctuaciones ipsilaterales de RMS era la actividad variable de neuronas del asta dorsal ipsilateral. Todos los estudios que han utilizado condicionamiento mediante potenciales espontáneos o por trenes de estimulación aferente hacia la médula espinal han estado restringidos para acciones ipsilaterales. Existe una ausencia de información acerca posibles interconexiones entre las neuronas de las astas dorsales de ambos lados que tienen actividad espontánea y de su influencia en común en la amplitud de los RMS bilaterales evocados mediante la aplicación simultánea de trenes de estimulación aplicados en aferentes musculares 1ª ipsi y contralateralmente. Algunos estudios (Butt y Kiehn, 2003) acerca de la identificación funcional de algunas neuronas responsables de la coordinación derecha-izquierda de las extremidades pélvicas o de reflejos cruzados de aferentes del grupo II apoyan esta posibilidad.

La idea de que mecanismos espinales bilaterales puedan regular los movimientos fue introducida por primera vez por Sherrington, y la existencia de coordinación bilateral en el humano fue bien documentada (Swinnen y Doysens, 2004). Por ejemplo durante la posición de pie, el desplazamiento

unilateral de una extremidad inferior produce una respuesta bilateral con latencias similares en ambos lados (Dietz y cols 1989). En otros estudios, el movimiento alterno de las piernas amplifica la actividad muscular semejante a locomoción en personas con lesión medular (Kawashima et al., 2005).

El trabajo de Manjarrez y colaboradores es una contraparte de experimentos realizados en humanos despiertos por Mezzarane y Kohn en el 2002. Ellos estudiaron la correlación entre las amplitudes de los reflejos H registrados bilateralmente mediante estímulos simultáneos de los nervios tibiales derecho e izquierdo. El experimento demostró que para el 50 % de los sujetos había correlación estadísticamente significativa entre las amplitudes registradas bilateralmente. Este hallazgo indica que en 50 % de los casos las variaciones de la amplitud del reflejo H tienden a fluctuar en forma sincrónica en ambas piernas, ellos también reportaron el caso de un sujeto que cambió de fluctuación sincrónica a una asincrónica, covarianza cruzada entre los reflejos H bilaterales. Sin embargo, debido a las limitaciones de los experimentos hechos en humanos, no se proveyó evidencia acerca del origen modulador de las fluctuaciones sincrónicas de dichos reflejos H bilaterales.

El propósito de ese fue trabajo extender el estudio de Mezzarane y Kohn 2002, para examinar la correlación entre la amplitud de los potenciales espontáneos negativos del dorso de la médula bilateralmente sincrónicos y la amplitud de los RMS bilaterales en gatos. Analizar esta correlación antes y después de secciones espinales pudiera ser importante para identificar los orígenes de esta sincronía. Los mecanismos que correlacionan las fluctuaciones de la actividad de neuronas espinales pueden ser importantes para entender la organización de circuitos espinales y del control motor. (Manjarrez et al., 2005).

JUSTIFICACIÓN

El estudio de acoplamiento de neuronas en la médula espinal de humanos en extremidades superiores ayudará a inferir como es la fisiología de las interneuronas incluidas en las vías reflejas.

Toda la información que se obtenga de este estudio será factible de aplicar en las terapias de pacientes con transtornos motores, apoyando de esta manera a las prácticas clínicas ya existentes en la rehabilitación de estos pacientes.

Planteamiento del Problema

Mezzarane y Kohn en el 2002, encontraron que los reflejos-H bilaterales de las extremidades inferiores (músculo sóleo) en el humano co-fluctúan en amplitud cuando estos son producidos por estímulos eléctricos simultáneos (Mezzarane y Kohn en el 2002). En el 2005, Manjarrez y colaboradores realizaron el mismo tipo de experimento en el gato y encontraron que dichas co-fluctuaciones en los reflejos bilaterales de las extremidades posteriores son producidas por la actividad eléctrica sincrónica de interneuronas con actividad espontánea localizadas en el asta dorsal y el núcleo intermedio de los segmentos lumbares. El propósito del presente proyecto de tesis es extender el estudio realizado por Mezzarane y Kohn (Mezzarane y Kohn, 2002) pero ahora estudiando las co-fluctuaciones de los reflejos H bilaterales de las extremidades superiores (músculo flexor carpi radialis) en el humano. Este proyecto de tesis es importante, porque constituye un primer paso para dilucidar si a nivel de los segmentos espinales cervicales también hay una organización de grupos de neuronas con actividad sincrónica que actúen sobre los circuitos de las vías reflejas de las extremidades superiores en el humano. En este contexto, nuestro estudio también contribuirá al conocimiento de los reflejos entre miembros superiores e inferiores y a entender la organización de los circuitos de neuronas propioespinales en el humano.

HIPÓTESIS

Los reflejos H bilaterales de las extremidades superiores (*flexor carpi radialis*) exhiben co-fluctuaciones en su amplitud, de manera similar a como fue descrito para las extremidades inferiores (sóleo).

OBJETIVO GENERAL

Analizar las co-fluctuaciones en amplitud de las respuestas reflejas de Hoffmann registradas en los músculos *flexor carpi radialis* de ambas extremidades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Registrar simultáneamente reflejos H de los músculos flexor carpi radialis de antebrazos izquierdo y derecho, producidos por estímulos bilaterales simultáneos.
- 2.- Analizar la auto-covarianza en las fluctuaciones de los reflejos H de cada extremidad.
- 3.- Analizar la covarianza cruzada entre las fluctuaciones de los reflejos H de cada extremidad.

MATERIAL Y MÉTODOS

SUJETOS EXPERIMENTALES

Los experimentos se realizaron en 9 sujetos humanos (3 mujeres y 6 hombres) diestros, clínicamente sanos, de 24 a 49 años de edad los cuales firmaron el consentimiento informado (véase anexo 1). Durante cada experimento los sujetos estuvieron cómodamente sentados; se realizó limpieza cutánea con gasa y alcohol de las regiones para estimulación y registro en ambas extremidades. Se colocaron electrodos bipolares cóncavos (*Chalgren Enterprises Inc.*) para registro en el vientre del musculo *flexor carpi radialis* y electrodos convexos (*Chalgren Enterprises Inc.*) de estimulación en el pliegue cubital sobre el nervio mediano. Se utilizó pasta conductora para mejorar el contacto eléctrico entre la piel y los electrodos.

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Se incluye un estimulador MASTER-8 en el diseño de adquisición de datos (véase figura M1). Éste genera un pulso maestro que inicia la estimulación y el registro de los reflejos. Los estímulos se aplicaron con dos estimuladores Digitimer (DS5 y DS7) que eran disparados en forma simultánea por el MASTER-8. Una vez aplicados los estímulos sobre los nervios medianos se registraron los reflejos en ambos músculos *flexor carpi radialis*. Las señales así obtenidas se amplificaron 500 veces y se filtraron a 5Hz (frecuencias bajas) y 1KHz (frecuencias altas) con un amplificador GRASS LP511 para cada extremidad tal y como lo registraron Mezzarane y Kohn (2002). Las señales amplificadas se alimentaron a una interfase analógica/digital (Digidata 1440A) conectada a una computadora ensamblada con procesador de doble núcleo con una velocidad de 2.4GHz, 4 GB de RAM y un TB de disco duro. Los datos fueron capturados mediante el programa Axoscope que viene incluido con la

tarjeta Digidata. La adquisición de los reflejos se realizó con una velocidad de 5 KHz; es decir el programa digitalizó las señales para obtener una muestra cada 200 μ seg. Paralelamente, las señales amplificadas fueron capturadas de manera continua durante todo el experimento a través de una interfase *National Instruments* de 16 canales por otra computadora ensamblada (Pentium 4) con velocidad de procesamiento de 3 GHz. Además en cada reflejo adquirimos 10 ms previos al registro del reflejo con la intención de observar la actividad eléctrica basal del músculo. Conjuntamente, las señales obtenidas fueron monitoreadas en línea con un osciloscopio digital *Tektronix TDS 2014*.

Características de los estímulos aplicados: los estimuladores Digitimer (DS5 y DS7) están diseñados para su uso en humanos y el pulso de corriente que generan es un pulso rectangular de corriente constante; es decir, una vez que el pulso se aplica la corriente permanece estable en el valor máximo. Este es un punto importante para la adecuada estimulación de las fibras aferentes ya que la inestabilidad de los pulsos aplicados puede generar estimulación ineficiente de las fibras aferentes. Durante la realización del experimento los pulsos se aplicaron con una frecuencia de 1Hz de manera simultánea para ambos antebrazos. La duración de los pulsos fue de 1 ms, con intensidad entre 3-17 mA. En cada experimento se aplicaron más de 500 pulsos simultáneamente en cada extremidad.

ACTIVACIÓN DE LAS FIBRAS AFERENTES

El nervio mediano es un nervio mixto, es decir, está constituido de fibras aferentes y fibras eferentes. Las fibras aferentes tienen un diámetro transversal mayor que las eferentes. Esta característica morfológica hace que

selectivamente se puedan estimular las fibras aferentes porque tienen un umbral eléctrico más bajo que las eferentes.

Para estudiar la covarianza en este protocolo se utilizó una intensidad de estimulación suficiente para generar reflejos con una amplitud del 20% de la onda M tal y como lo describe Crone (Crone et al., 1990).

Medición de los reflejos pico a pico: la amplitud de los reflejos se midió de manera automática con el programa Axoscope, utilizando cursores para acotar la parte del trazo analizada.

Curva de reclutamiento (CR): las CR se construyen aplicando pulsos de corriente con incrementos constantes sobre el nervio periférico y de manera simultánea registrando el electromiograma sobre el músculo que inerva ese nervio en particular. Regularmente los pulsos de intensidades bajas producen ondas H (reflejos de Hoffmann) y cuando se incrementa la intensidad de estimulación se agregan también ondas M. Después de medir las amplitudes pico a pico de las ondas H y M, se grafican estos valores contra la intensidad de estimulación y se observan entonces graficas como las mostradas en la figura R1 estas son las CR. Las CR ponen en evidencia el incremento de unidades motoras activadas con cada estímulo, el número de unidades motora activadas llega a un máximo en el cual las ondas M ya no crecen más porque con esa intensidad de estimulación ya se reclutaron todas la unidades motoras susceptibles de ser activadas por activación de ese nervio. Las CR ayudan a saber el nivel de excitabilidad del músculo con el cual se está trabajando.

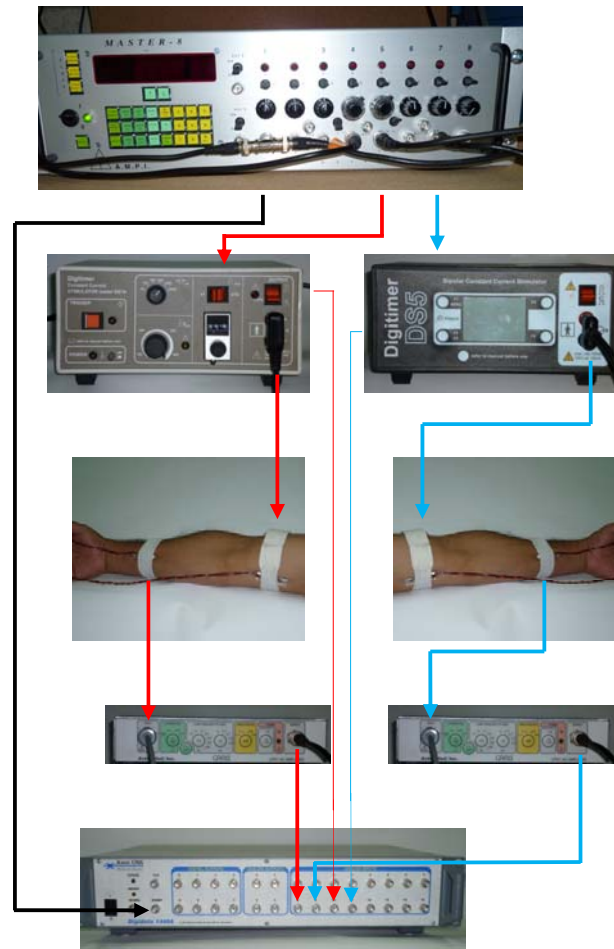
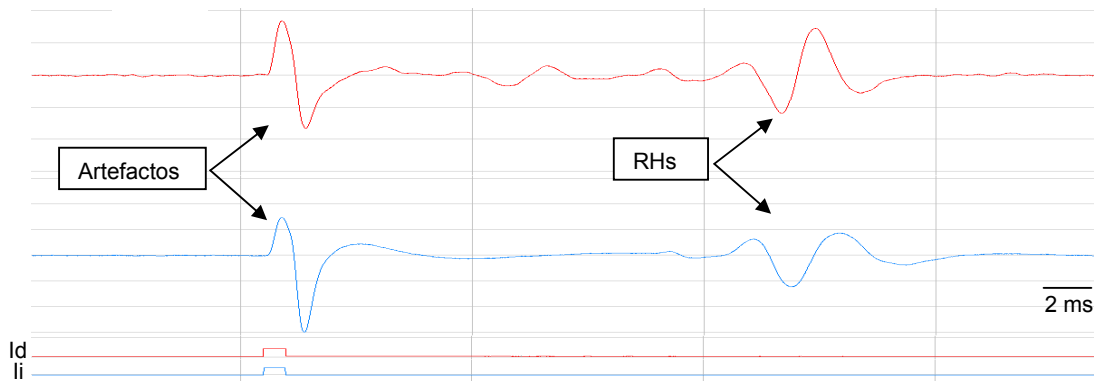
A**B**

Figura M1. Distribución de los dispositivos para el registro de los Reflejos H (RH). En el panel **A**, el MASTER-8 genera un pulso de sincronía para iniciar el registro de los reflejos. Las líneas rojas muestran la trayectoria para el registro de los reflejos obtenidos en el antebrazo derecho y las líneas azules la trayectoria de los reflejos obtenidos en el antebrazo izquierdo. En el panel **B**, se ilustran registros de los electromiogramas derecho e izquierdo (rojo y azul respectivamente). Las dos líneas en la parte baja del panel muestran los tiempos a los cuales se aplicaron los pulsos de prueba en el antebrazo derecho e izquierdo respectivamente. Ii = corriente aplicada para obtener el RH en antebrazo izquierdo. Id = corriente aplicada para obtener el RH en el antebrazo derecho.

ANÁLISIS DE AUTO-COVARIANZA Y COVARIANZA CRUZADA

Para caracterizar el grado de fluctuación correlacionada se analizaron las amplitudes de los reflejos con respecto al tiempo; para ello empleamos los valores de amplitudes previamente obtenidos con el programa Axoscope. Se emplearon las funciones de autocovarianza y covarianza cruzada.

Para el análisis de la fluctuación en la amplitud de los reflejos bilaterales con respecto al tiempo se utilizó la función de autocovarianza. Esta herramienta permite conocer una secuencia temporal: la relación entre la amplitud de un reflejo (obtenida en un tiempo t) y la amplitud del siguiente reflejo (en un tiempo $t + \tau$), (véase figura M2). Por otra parte, el análisis utilizando la función de covarianza cruzada permite dilucidar si la actividad eléctrica de las motoneuronas de ambas extremidades puede asociarse con una entrada común.

Considerando que dos señales varían en el tiempo de manera aleatoria, $X(t)$ y $Y(t)$.

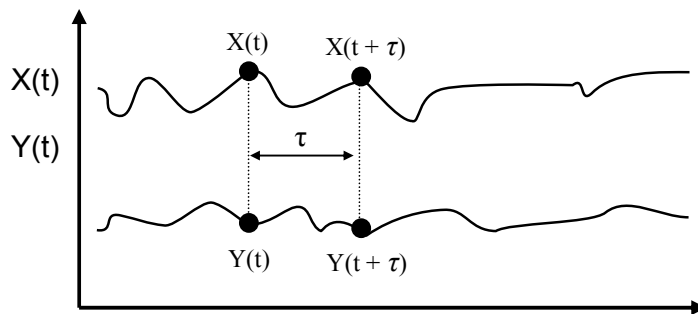


Figura M2. Dos señales aleatorias $X(t)$ y $Y(t)$. Sean $X(t)$ y $Y(t)$ dos señales que varían de forma aleatoria en el tiempo. El cálculo de covarianza cruzada consiste en comparar una de las señales en un tiempo t con otra señal en un tiempo $t + \tau$. Si el resultado obtenido es cero, entonces las señales se están generando de manera independiente; si el resultado es uno, quiere decir que las señales tienen un origen común (Proakis y Manolakis, 1996).

Se puede definir la correlación cruzada de variables aleatorias, de la siguiente forma:

$$R_{xy}(\tau) = E[X(t) \cdot Y(t + \tau)] = \overline{X(t) \cdot Y(t + \tau)}$$

O de otra forma:

$$R_{yx}(\tau) = E[Y(t) \cdot X(t + \tau)] = \overline{Y(t) \cdot X(t + \tau)}$$

El procedimiento utilizado para el cálculo de la covarianza cruzada es el mismo empleado por Mezzarane y kohn (2002). La covarianza cruzada (CC) mide la correlación entre una muestra de la primera señal y una muestra de otra señal que ocurren en el tiempo K después de la primera. Si las dos señales se generan de manera independiente, entonces la CC será igual a cero para todos los valores K del tiempo. Si las dos señales tienen una fuente común de variabilidad, entonces en el tiempo K=0 habrá un pico que lo indique. Si una señal esta retrasada con respecto a la otra, entonces la CC tendrá un pico en un tiempo K igual al retardo. Para empezar con el tratamiento los datos, se tomaron las amplitudes de 500 reflejos de Hoffmann respecto al tiempo, a las cuales se les aplicó la función llamada *detrend** para sustraer las oscilaciones producto del registro.

Se realizó un proceso de filtrado a cada serie de registros antes de calcular la covarianza cruzada para las amplitudes de los RHs respecto al tiempo, con el fin de que no aparecieran picos falsos en el análisis (Brocwell y Davis, 1991). Después que las 2 señales fueron filtradas, se utilizó un intervalo de confianza para evaluar el pico de la CC Brocwell y Davis, 1991). Se empleó un intervalo de confianza del 95% dado por $1.96\%/N^2$, donde N es el número de reflejos, para el rango de tiempo K empleamos -100 a 100 segundos (figura M2).

**Dado un vector de datos, la función detrend de Matlab, elimina cualquier tendencia lineal existente entre ellos. El algoritmo de funcionamiento es el siguiente: utiliza el método de mínimos cuadrados para obtener la función lineal y la resta de los datos.*

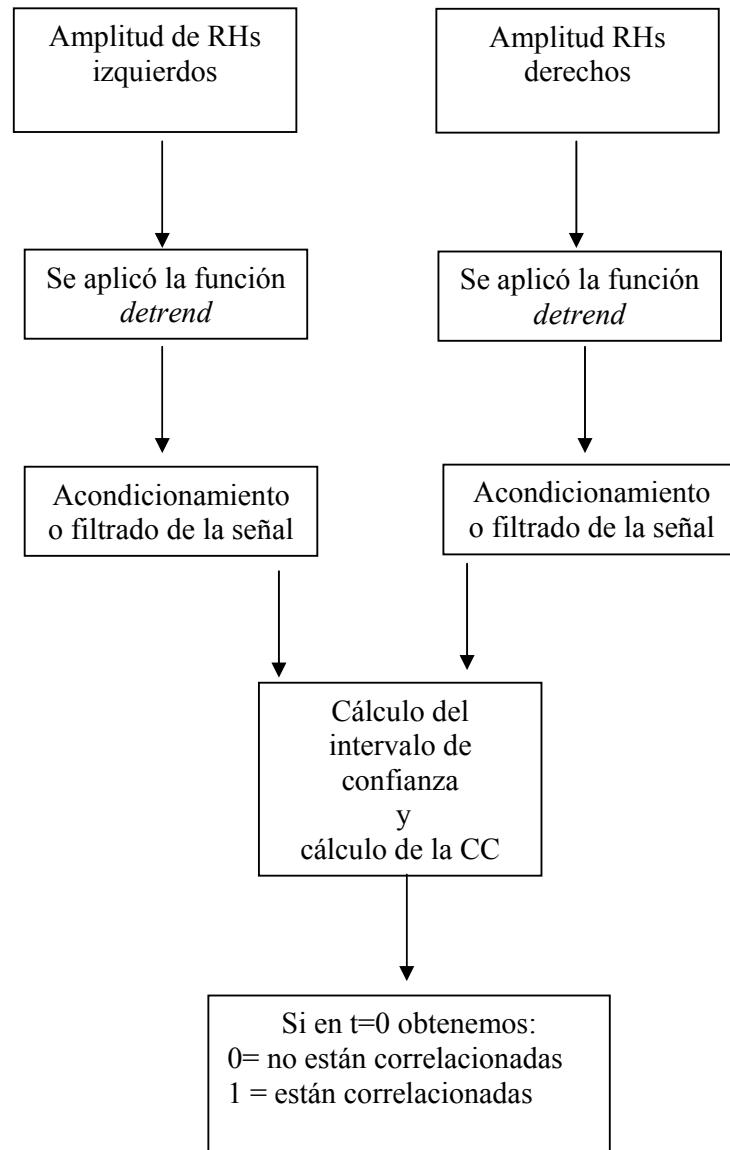


Figura M2. Cálculo de la covarianza cruzada (CC). Las señales registradas en ambos antebrazos se sometieron a etapas de acondicionamiento antes de realizar el cálculo de la CC. En la primera etapa se aplicó a cada una de las señales la función *detrend* para así eliminar las oscilaciones producto del registro. Posteriormente, se filtraron las señales para evitar que aparecieran picos falsos en el cálculo de la CC. El programa elaborado en Matlab calcula el intervalo de confianza y la CC para ambas señales.

RESULTADOS

CURVAS DE RECLUTAMIENTO.

El análisis de las curvas de reclutamiento nos permiten saber el grado de excitabilidad basal de las alfa motoneuronas que inervan los músculos en el cual se registran los RHs. En la figura R1 se muestran las curvas de reclutamiento de los músculos *flexor carpi radialis* de ambos lados en los 9 sujetos experimentales. En cada caso se calculó la relación $H_{m\acute{a}x}/M_{m\acute{a}x}$ el cual es el índice de excitabilidad, esta relación nos permite inferir el grado de excitabilidad de fondo que tiene cada músculo, también se calculó la pendiente del acenso en las curvas de la onda H y la onda M la cual muestra la velocidad con la cual son reclutadas las alfa-motoneuronas en la médula espinal. Encontramos que las índices $H_{m\acute{a}x}/M_{m\acute{a}x}$ fueron de y las pendientes fueron de.

En esencia en los resultados se puede constatar que la excitabilidad en cada par de series de registros la excitabilidad es diferente para cada núcleo motor a pesar que se trata de alfa motoneuronas que provienen del mismo segmento espinal pero diferentes hemimédula.

Los resultados nos muestran que a pesar de que las alfa motoneuronas exhiben diferentes grados de excitabilidad en ambos pares de músculos la amplitud de los reflejos fluctúan de manera similar en cada serie. Esto denota sin lugar a dudas que a pesar de que las alfa motoneuronas tienen una entrada excitatoria basal diferente cuando se requiere del reclutamiento de las unidades motoras quizá una población de interneuronas que orquesta la sincronización de las entradas excitatorias produce esta fluctuación sincrónica en el disparo de las alfa motoneuronas.

La activación de un grupo de interneuronas que desarrolle esta situación reviste particular importancia cuando el sistema requiere echar mano de una gran cantidad de unidades motoras con una sola señal excitatoria.

AMPLITUD DE LOS REFLEJOS H.

El primer paso en el análisis de los resultados es la observación a simple vista de las amplitudes de todo el grupo de reflejos obtenidos en cada experimento. En las Figuras R2A, 2B y 2C se ilustran todos los registros de los 9 sujetos experimentales un ejemplo de lo anterior, la amplitud de los reflejos fluctúa aparentemente de manera similar en ambos trazos.

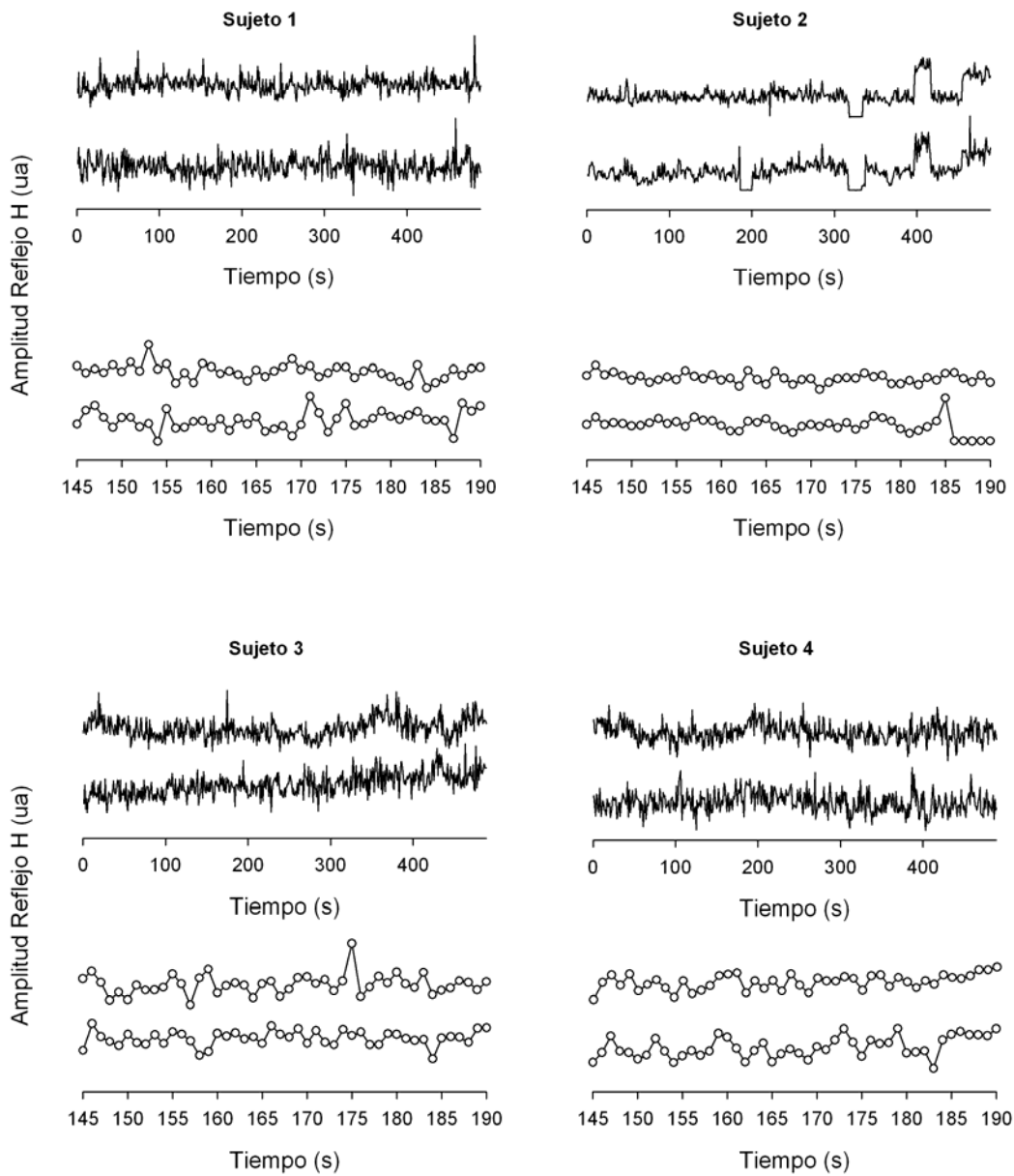


Figura R2A. Fluctuación en amplitud de los RHs. En las figuras se observan los diferentes RHs de 4 sujetos, los trazos continuos muestran la secuencia del total de 500 reflejos registrados en el músculo *flexor carpi radialis*. En la parte baja de cada panel de figuras se observa una ampliación de 50 reflejos de ambos antebrazos.

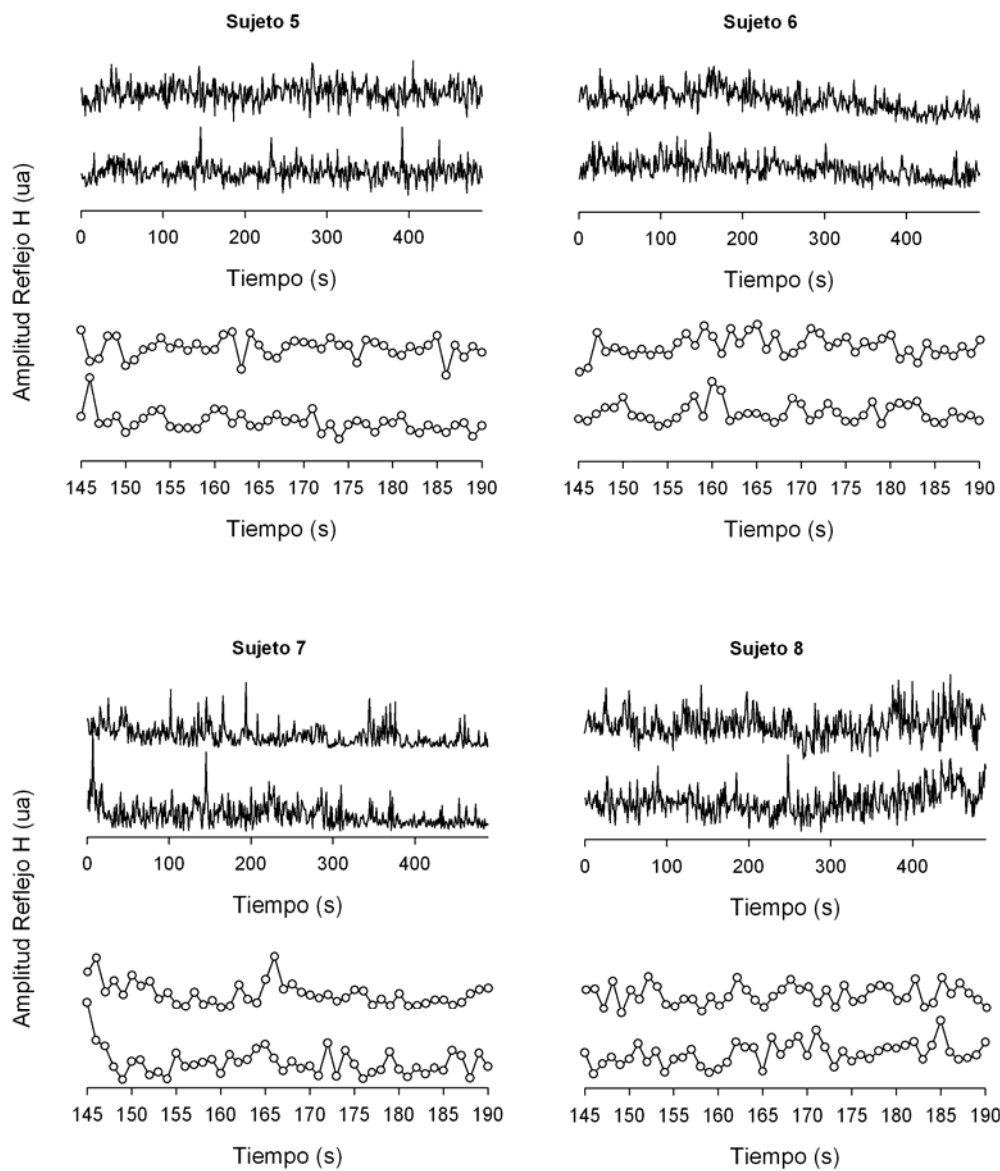


Figura R2B. Fluctuación en amplitud de los RHs. En las figuras se observan los diferentes RHs de 4 sujetos, los trazos continuos muestran la secuencia del total de 500 reflejos registrados en el músculo *flexor carpi radialis*. En la parte baja de cada panel de figuras se observa una amplificación de 50 reflejos de ambos antebrazos.

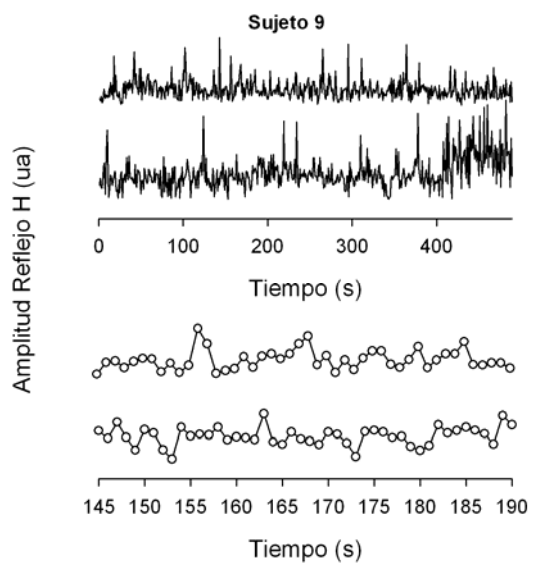


Figura R2C. Fluctuación en amplitud de los RHs. En las figuras se observan los diferentes RHs de 4 sujetos, los trazos continuos muestran la secuencia del total de 500 reflejos registrados en el músculo *flexor carpi radialis*. En la parte baja de cada panel de figuras se observa una amplificación de 50 reflejos de ambos antebrazos.

AUTOCOVARIANZA DE LOS REFLEJOS H.

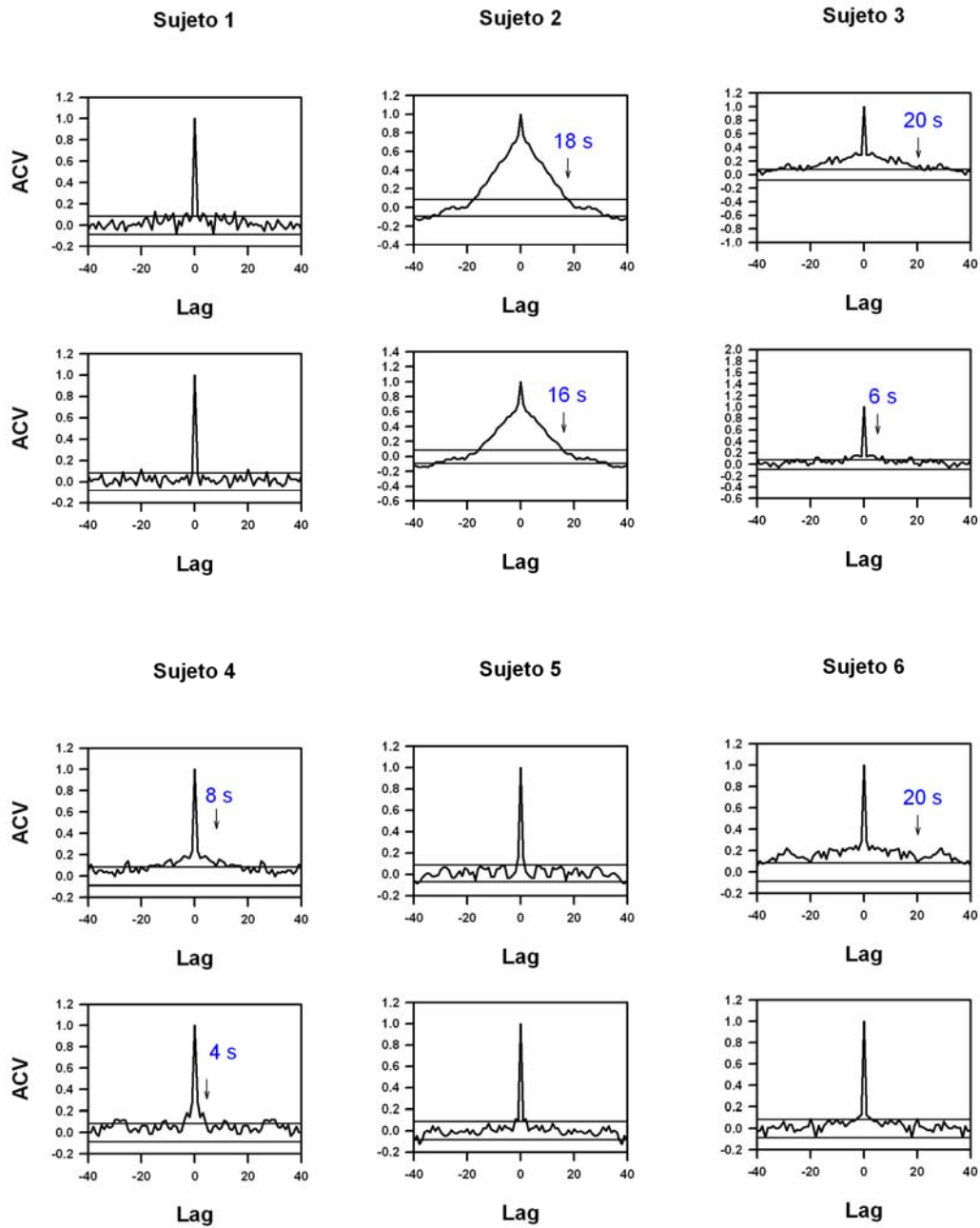
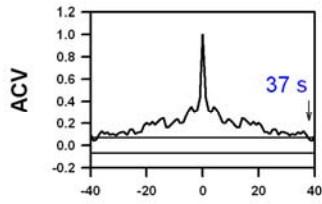
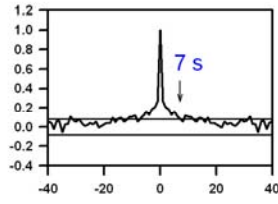


Figura R3A. Autocovarianza de la fluctuación de los reflejos H. Cada panel muestra la autocovarianza del total de 490 reflejos obtenidos en cada antebrazo: derecho (graficas superiores), izquierdo (graficas inferiores). Las líneas horizontales son los límites superior e inferior de la significancia en los lags (intervalos) utilizados en el cálculo. Las flechas denotan los periodos significativos para cada experimento. Sujetos 1 al 6. En la siguiente página se ilustran los registros correspondientes a los sujetos 7 al 9.

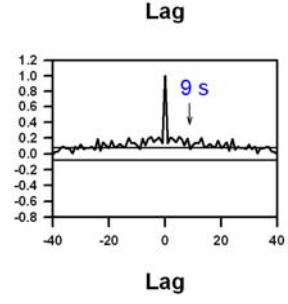
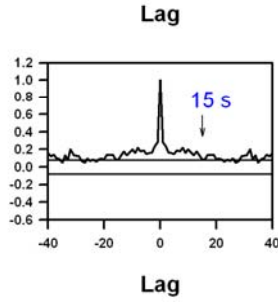
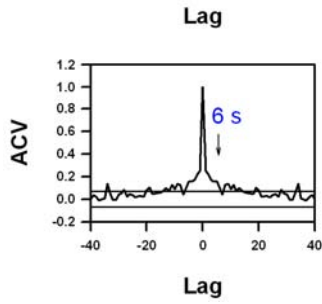
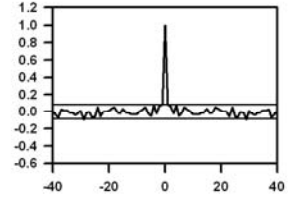
Sujeto 7



Sujeto 8



Sujeto 9



COVARIANZA CRUZADA.

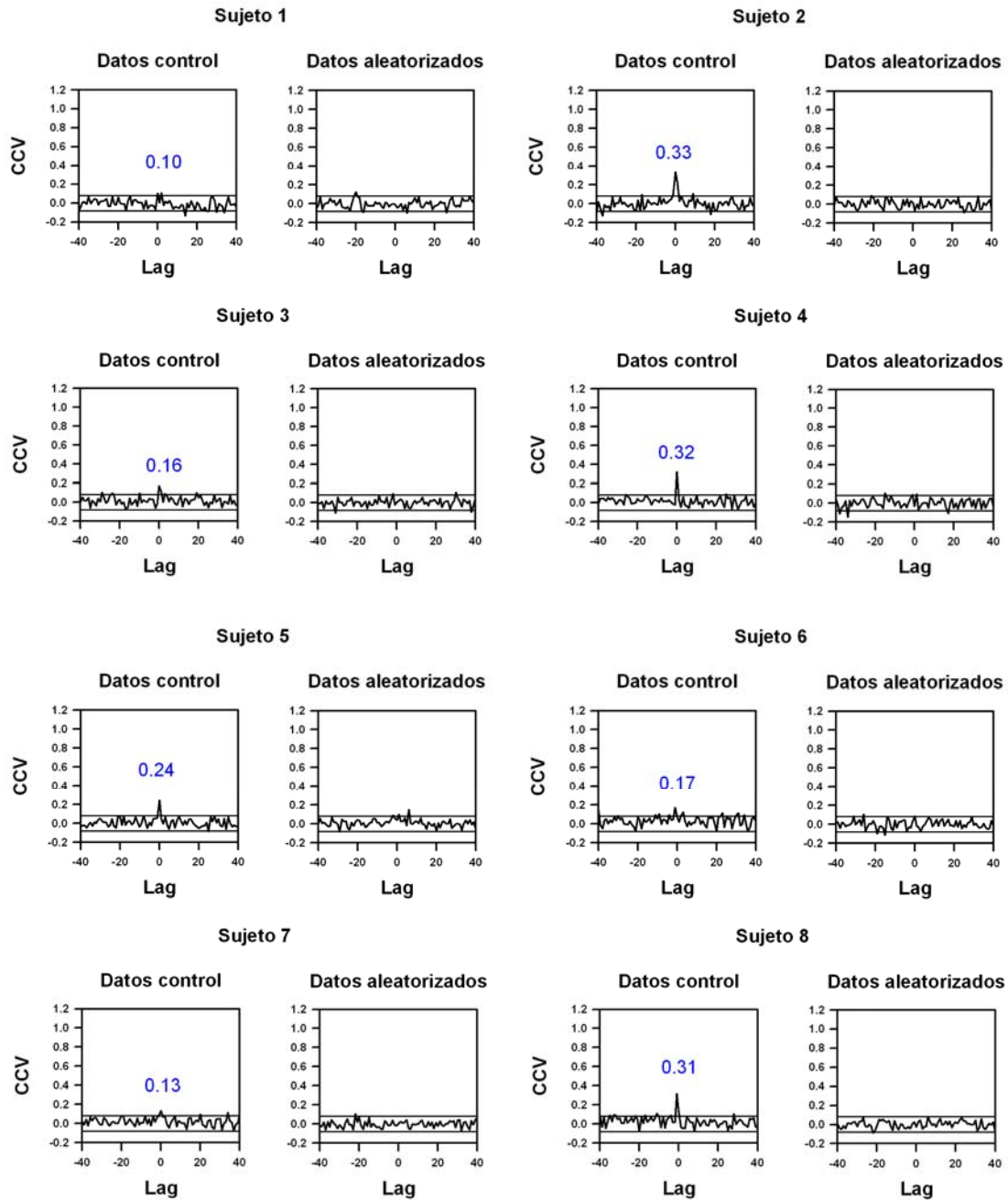
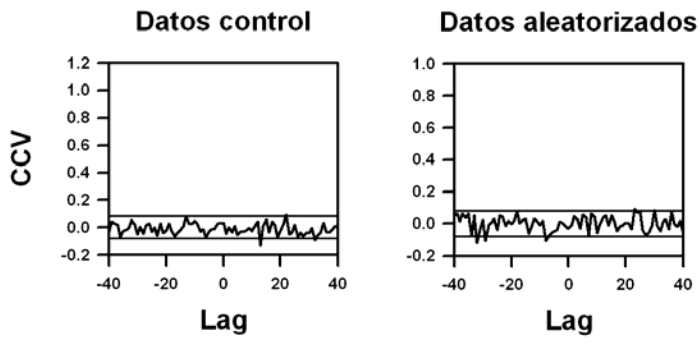


Figura R4A. Covarianza cruzada de los reflejos H. Los 8 paneles ilustran la correlación cruzada de los 490 reflejos de antebrazos izquierdo y derecho. A la derecha de cada panel se muestra el resultado del análisis de la correlación cruzada después de que los valores fueron aleatorizados (barajeados). Sujetos 1 al 8. En la siguiente página se ilustran los registros correspondientes al sujeto 9.

Sujeto 9



DISCUSIÓN

1.- CONVENIENCIA DEL REGISTRO SIMULTÁNEO DE LAS RESPUESTAS REFLEJAS.

1.1. Eliminación de fuentes temporales de variabilidad.

Uno de los aportes importantes de esta tesis es que por primera vez se registran reflejos simultáneos de ambas extremidades superiores en sujetos humanos sanos. El registros simultáneo de los reflejos asegura que si se presentan variaciones del estado de excitabilidad de los núcleos motores del *flexor carpi radialis* estas afectan de manera similar a las series de registros obtenidos en ambos lados; si el registro fuera obtenido de manera secuencial es decir primero una serie y después la otra, se agregaría una variable muy difícil de controlar. De hecho concomitante a cualquier cambio en el estado de excitabilidad se presentan cambios en la amplitud de los reflejos (Schieppati, 1987), estos cambios pueden introducir diferencias en la media y la amplitud de las variaciones en las dos piernas.

1.2.- Consideración técnica en el análisis de los datos.

Normalmente en la serie de reflejos a partir del segundo reflejo todo el resto de reflejos disminuyen de amplitud (se inhiben), cuando sucede que el segundo reflejo no se deprime se puede alterar el análisis (Mezzarane y Kohn, 2002). En esos casos es preferible eliminar datos, en nuestro caso ningún experimento tuvo ese comportamiento.

2.- Auto-covarianza. De los nueve sujetos, dos de ellos (1 y 5) tuvieron secuencias blancas, y otros dos tuvieron secuencias blancas en sólo una extremidad (S9 en lado derecho y S6 en lado izquierdo). Ello significa que 4 de 18 secuencias tuvieron un comportamiento blanco. Visto de esta manera difiere de lo que encontraron Mezzarane y Kohn en extremidades inferiores. Ellos encontraron por un lado, que una de cada tres secuencias fue blanca; y por otro lado, que ambas extremidades coincidieron en secuencias blancas o no blancas en cada sujeto. Nuestros hallazgos pudieran explicarse en base a que la inervación en extremidades superiores es neurológicamente más exquisita que en extremidades inferiores. Las memorias que encontramos fueron: (18, 16), (20, 6), (8, 4), (20, -), (37,6), (7, 15) y (-, 9). Hubo una variación de 7 a 37s en lado derecho y de 4 a 16s en el izquierdo; sólo en dos de ellos, la memoria fue mayor en el lado izquierdo que en el derecho. La mayor amplitud en la variación de la ciclicidad del lado derecho con respecto al lado izquierdo también pudiera explicarse por la dominancia derecha de nuestros sujetos. Siendo todos ellos adultos dedicados a diferentes actividades, seguramente realizan cotidianamente movimientos distintos que requieren de mayor o menor destreza y/o entrenamiento.

3.- Covarianza cruzada. En el análisis de la covarianza cruzada, se encontró un pico estadísticamente significativo en el intervalo 0 en ocho de los nueve sujetos estudiados. Lo cual indica que sí existe una cofluctuación entre

ambos lados en estos sujetos. Este pico desapareció en todos los casos cuando las amplitudes de los reflejos fueron barajeados demostrando que la covariabilidad en la amplitud del reflejo no es azarosa y que se encuentra seguramente coordinada, tal vez, a nivel espinal independientemente del estado inicial de excitabilidad del núcleo motor. Además, de nueva cuenta se evidenció una diferencia en la sincronía de la excitabilidad derecho-izquierdo entre los segmentos medulares superiores y los inferiores; con una mayor coordinación en las extremidades que realizan movimientos demandantes de un control motor más fino.

4.- IMPLICACIÓN FISIOLÓGICA.

4.1.- ¿Los resultados obtenidos son evidencia de la existencia de grupos neuronales que sincronizan el estado de excitabilidad de la alfa motoneuronas del músculo flexor carpi radialis en ambos brazos?

A pesar que la excitabilidad de los núcleos motores del *flexor carpi radialis* ubicados en ambas hemimédulas es diferente se observa una fluctuación de simétrica de los reflejos en los pares de series de registros (derecho e izquierdo) lo cual sugiere a existencia de vías neuronales en las cuales pueden agregarse interneuronas quizá en las astas posteriores como se ilustra en la figura D1. Esto es congruente con lo encontrado por otros investigadores en segmentos inferiores medulares.

5.- POSIBLE IMPLICACIÓN CLÍNICA.

Los resultados muestran que los ciclos normales de fluctuación en el estado de excitabilidad varia en sus cursos temporales. Este dato es útil como una referencia diagnostica en los casos en los cuales los trastornos motores se presentan en algunos pacientes. Tal vez llegue el momento en que, dependiendo de la actividad para la cual requiera rehabilitarse un paciente, se escogerá entre varias modalidades de estimulación para lograr replicar con la mayor exactitud posible las variaciones de la excitabilidad de la unidad motora propias de dicha actividad.

CONCLUSIONES

1.- El análisis de las curvas de reclutamiento nos indican que la excitabilidad de las alfa-motoneuronas fue diferente en ambos antebrazos. Inferimos variación de la excitabilidad de las alfa-motoneuronas en base a la fluctuación de la amplitud de los RHs registrados en cada músculo.

2.- La amplitud de los RHs fluctúan simétricamente en los músculos *flexor carpi radialis* de ambos brazos.

3.- El análisis de autocovarianza indica que hay ciclos de memoria semejantes a los que encontraron Mezzarane y Kohn en el músculo *Sóleus*. Esto sugiere la hay grupos de interneuronas que modulan la excitabilidad de las alfamotoneuronas en los miembros superiores e inferiores.

4.- El análisis de covarianza cruzada indica que en el estado de reposo se correlacionan las fluctuaciones en la amplitud de los reflejos de los miembros superiores y esta correlación cruzada se pierde cuando los datos son aleatorizados. Lo cual sugiere que hay un grupo de interneuronas que coordinan la excitabilidad de las alfamotoneuronas de ambas extremidades.

PERSPECTIVAS

Los presentes resultados representan un avance en el conocimiento de los circuitos neuronales que subyacen en la médula espinal humana y que intentan explicar los cambios de excitabilidad de las alfa-motoneuronas y de la posibilidad de reclutamiento de las unidades motoras para la realización de actividades motoras.

Los datos obtenidos son preámbulo para abundar en el conocimiento de este campo.

ANEXO 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Lugar y Fecha

Por medio de la presente acepto participar en el protocolo de investigación titulado:
Registrado en el Comité de Ética en Investigación con el número: _____
Aprobado en el Acta N° _____ Con Fecha _____

El objetivo del estudio es: Se me ha explicado que mi participación consistirá en:

Declaro que se me ha informado ampliamente sobre los posibles riesgos, inconvenientes, molestias y beneficios derivados de mi participación en el estudio, que son los siguientes:

El Investigador Responsable se ha comprometido a darme información oportuna, así como responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que le plantee acerca de los procedimientos que se llevarán a cabo, los riesgos, beneficios o cualquier otro asunto relacionado con la investigación o con el protocolo.

Entiendo que conservo el derecho de retirarme del estudio en cualquier momento en que lo considere conveniente.

El Investigador Responsable me ha dado seguridades de que no se me identificará en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y de que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma confidencial. También se ha comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque esta pudiera cambiar de parecer respecto a mi permanencia en el mismo.

Nombre, identificación y firma del voluntario

Nombre, firma y cédula de Investigador Responsable.

Números telefónicos del investigador responsable a los cuales puede comunicarse en cualquier momento en caso de emergencia, dudas o preguntas relacionadas con el estudio:

Nombre y firma de testigo, Identificación Teléfono

Dirección Parentesco con el paciente

Nombre y firma de testigo 2 Identificación Teléfono

Dirección Parentesco con el paciente

ANEXO 2

BIBLIOGRAFÍA

1. Pierrot-Deseilligny E., David B. The Circuitry of the human spinal cord, Its role in motor control and movement disorders, Ch 1-2. Cambridge University Press, 2005.
2. Stephan P. Swinnen y Jacques Duysens. Neuro behavioral determinants of interlimb coordination, A multidisciplinary approach, editerd by Kluwer Academic Publishers, 2004.
3. Mezzarane RA, Kohn AF. Bilateral Soleus H-Reflexes in Humans Eliciteds by Simultaneous Trains of Stimuli: Symmetry, Variability, and Covariance. J Neurophysiol 87: 2074-2083, 2002.
4. Manjarrez E, Hernández-Paxtián Z, and Kohn AF. Spinal Source for the Synchronous Fluctuations of Bilateral Monosynaptic Reflexes in Cats. J Neurophysiol 94: 3199-3210, 2005.
5. Alibiglou L, López-Ortiz C, Walter CB, and Brown DA. Bilateral Limb Phase RELationship and Its Potential to Alter Muscle Activity Phasing During Locomotion. J Neurophysiol 102: 2856-2865, 2009.
6. Baldissera F, Borroni P, Cavallari P, and Cerri G. Excitability Changes in Human Corticospinal Projections to Forearm Muscles During Voluntary Movement of Ipsilateral Foot. J Physiol 539.3: 903-911, 2002.
7. Baldissera F, Cavallari P, and Leocani L. Cyclic Modulation of the H-Reflex in a Wrist Flexor Durin Rhythmic Flexion-Extension Movements of the Ipsilateral Foot. Exp Brain Res 118: 427-430, 1998.
8. Barsi Y, and Zehr EP. Rhythmic Arm Cycling Suppresses Hyperactive Soleous H-Refñex Amplitud After Stroke. Clin Neurophysiol 119: 1443-1452; 2008.
9. Calancie B, Molano MR, and Broton JG. Interlimb Reflexes and Synaptic Plasticity Become Eviden Months After Human Spial Cord Injury. Brain 125: 1150,1161, 2002.
10. Capaday C. The Special Nature of Human Walking and Its Neural Control. Trends in Neurosc 25:7 370-376.

11. Cauraugh JH, and Summers JJ. Neural Plasticity and Bilateral Movements: A Rehabilitation Approach for Chronic Stroke. *Progress in Neurophysiol* 75: 309- 320, 2005.
12. Cowan JM,, Day BL Marsden C, And Rothwell. The Effect of Percutaneous Motor Cortex Stimulation on H-Reflexes in Muscles of the Arm and Leg in Intact Man. *J Physiol* 377: 333-347, 1986.
13. Volker Dietz. Do Human Bipedes Use Quadrupedal Coordination? *Trends Neurosci* 25: 9: 462-467. 2002.
14. Motl RW, Dishman RK. Acute Leg-Cycling Exercise Attenuates The H-Reflex Recorded in Soleous But Not Flexor carpi radialis. *Muscl Nerv*27: 609-613, 2003.
15. Delwaide PJ, Figiel C, and Richelle C. Effects of Postural Changes of the Upper Limb on Reflex Transmission in Lower Limb. *J Neurol, Neurosurg and Psychiatry*. 40: 616-621, 1977.
16. Frigon A, Collins DF, Zehr EP. Effect of Rhythmic Arm Movement on Reflexes in the Legs: Modulation of Soleous H-Reflexes and Somatosensory Conditioning. *J Neurophysiol* 91: 1516-1523, 2004.
17. Crone C, Hultborn H, Mazières L, Morin C, Nielsen J, Pierrot-Deseilligny E. (1990). Sensitivity of monosynaptic test reflexes to facilitation and inhibition as a function of the test reflex size: a study in man and the cat. *Exp Brain Res*. **81**(1):35-45.
18. Proakis J, Manolakis, D,. *Digital signal processing principles, algorithms and applications*. Prentice Hall,1996.
19. Brocwell PJ, Davis, R.A.. *Time series: Theory and Models*. New York: Springer Verlag, 1991.