



Universidad
Rey Juan Carlos

Escuela Superior de Ciencias Experimentales y
Tecnología

GRADO EN BIOLOGÍA
Curso Académico 2019/2020
Trabajo de Fin de Grado

**DIMORFISMO SEXUAL EN LA ESPECIE HUMANA PARA
LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN NERVIOSA Y
LATENCIA DE LOS REFLEJOS: ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO**

Autor: Sonia Carretero Domínguez
Tutor: Francisco Suárez Castro

**DIMORFISMO SEXUAL EN LA ESPECIE HUMANA PARA
LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN NERVIOSA Y
LATENCIA DE LOS REFLEJOS: ANÁLISIS
BIBLIOGRÁFICO**

TÍTULO	2
ÍNDICE	2
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
MÉTODOS	8
RESULTADOS	9
Región anatómica del miembro superior y cabeza	9
Nervio trigémino.....	9
Nervios mediano y cubital	10
Otros.....	10
Región anatómica del miembro inferior	11
Nervio femoral.....	11
Resto de nervios del miembro inferior	12
Sistema nervioso autónomo	12
DISCUSIÓN	17
Región anatómica del miembro superior y cabeza	17
Región anatómica del miembro inferior	19
CONCLUSIONES	21
LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	22
BIBLIOGRAFÍA	22

RESUMEN

El sistema nervioso tiene como principal función la comunicación entre células, para lo cual genera señales eléctricas conocidas como potenciales de acción. Estos potenciales de acción se transmiten a través de los axones de las neuronas y comunican los receptores periféricos con los centros integradores que generan las respuestas. Un tipo de respuesta puede ser el movimiento, dentro del cual encontramos los reflejos, que son movimientos involuntarios en los que el procesamiento estímulo-respuesta tiene lugar en la médula espinal, sin aferencias de los centros superiores.

Los reflejos se generan cuando un receptor periférico capta un estímulo, esto produce un potencial de acción que es transmitido por neuronas sensitivas hacia la médula espinal. En la médula se genera una respuesta que se conduce a través de neuronas motoras hacia las células musculares esqueléticas a las que inerva, conjunto denominado unidad motora.

Los parámetros de velocidad de conducción nerviosa (MNCV) y latencia de los reflejos son habitualmente utilizados en la práctica neurofisiológica para determinar daños en la unidad motora. Sin embargo, nunca se ha tenido en cuenta que podrían existir diferencias sexo-específicas para ambos que determinarían un sesgo diagnóstico. Por ello, se ha realizado una revisión de literatura científica para establecer si existe consenso entre los estudios publicados hasta el momento sobre dimorfismo sexual en la conducción nerviosa.

Se han encontrado latencias más cortas para las mujeres en los reflejos maseterino, de Hoffman, paraespinal y rotuliano, y valores de MNCV mayores en mujeres para los nervios mediano y cubital, cutáneo antebraquial posterior y femoral. Solo se encontraron valores de latencia más cortos en los hombres para el reflejo maseterino inhibitorio y flexor nociceptivo.

Es posible que las diferencias entre hombres y mujeres en la distancia entre nodos de Ranvier, la densidad de canales iónicos ubicados en ellos, el grosor de la vaina de mielina, el diámetro del axón y del soma de las neuronas y la concentración de diferentes hormonas sexuales sean las principales causas de las diferencias sexo-específicas en la latencia y MNCV de los reflejos.

Se puede concluir que existe dimorfismo sexual en la latencia del reflejo rotuliano con valores menores para las mujeres, y para la MNCV en todos los nervios del miembro superior y femoral con valores mayores para las mujeres. Sin embargo, no se puede confirmar dimorfismo sexual para la latencia o MNCV en el nervio trigémino ni en el resto de nervios del miembro inferior.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de información en los seres vivos son cruciales para la comunicación intercelular y el mantenimiento de la homeostasia. En la escala evolutiva se han seleccionado toda índole de dichos sistemas, entre los que destacan el sistema endocrino y el nervioso. Si bien, ambos mecanismos sirven para un fin común, la comunicación entre células, hay una diferencia fundamental entre ellos. El sistema endocrino utiliza el sistema vascular para transportar el mensaje encriptado en una hormona (o neurohormona), mientras que el sistema nervioso utiliza la generación de señales eléctricas, los potenciales de acción, para facilitar la secreción de neurotransmisores en las sinapsis químicas y por ende, transmitir el mensaje. Estas diferencias tienen como consecuencia una comunicación lenta en los mecanismos endocrinos y tremendamente rápida en los nerviosos (Willmer *et al.*, 2005).

En vertebrados el sistema nervioso se encuentra en su mayoría alojado dentro del cráneo y el canal vertebral, donde se sitúan el encéfalo y la médula espinal, denominándose en conjunto sistema nervioso central (SNC). No obstante, existen multitud de estructuras nerviosas fuera del neuroeje y distribuidas por todos los rincones de nuestro organismo, formando el sistema nervioso periférico (SNP) (Marcus & Jacobson, 2003; Mendoza & Foundas, 2008).

La unidad funcional del sistema nervioso es la neurona, y según su función se pueden clasificar en sensitivas o aferentes, si transportan la información hacia el SNC, interneuronas si establecen circuitos locales con otras neuronas cercanas, y neuronas eferentes o motoras si transportan la información del SNC a los efectores. Aunque la morfología neuronal es muy variada, las neuronas están compuestas por un cuerpo celular con prolongaciones. Estas prolongaciones pueden ser dendritas si captan las señales aferentes, o axones si transmiten las señales eferentes a la célula diana (Cardinali, 2007; Squire *et al.*, 2008). Los axones de las neuronas aferentes y eferentes se asocian a tejido conectivo en fibras y forman estructuras similares a cordones que se denominan nervios (Silverthorn, 2008).

Si bien las neuronas son las células que computarán todo lo que ocurre en nuestro organismo y el entorno, no son las únicas células del sistema nervioso. Las células de la glía son la mayoría del componente celular en el sistema nervioso y dan soporte físico y bioquímico a las neuronas, variando según su localización. Dentro del SNC encontramos varios tipos de glía como los oligodendrocitos, microglía, astrocitos y células ependimarias, mientras que en el SNP encontraremos células de Schwann y células satélite (Kandel *et al.*, 2008). Aunque las funciones de la glía son muy heterogéneas, hay una función vital que llevan a cabo las células de Schwann y los oligodendrocitos en el SNC y SNP: formar la vaina de mielina. Ésta, es una estructura formada por múltiples capas concéntricas de membrana celular de las células de la glía que sostiene y aísla a los axones. La vaina de mielina se diferencia entre SNC y SNP porque en el SNC los oligodendrocitos cubren varios axones y en el SNP las células de Schwann cubren solo un axón. Dado que el axón de una neurona puede ser tremendamente largo, cada axón puede estar protegido por hasta 500 células de Schwann, cada una alrededor de un segmento. El

espacio comprendido entre cada segmento se denomina nodo de Ranvier (Cardinali, 2007; Kandel *et al.*, 2008; Silverthorn, 2008).

Desde el punto de vista funcional, la única misión del sistema nervioso es procesar la información tanto del medio externo como del interno. Los cambios en presión, temperatura, luz, pero también el pH, la concentración sanguínea de gases, el estiramiento de un músculo, la presión arterial o la fuerza que se ejerce sobre un tendón son monitorizados día y noche por nuestro sistema nervioso (Willmer *et al.*, 2005). Cualquier cambio en alguna variable como las mencionadas es información captada por receptores periféricos y transportada a través de las neuronas aferentes hacia el SNC. Este es el principal centro integrador de la información y el que determina si se necesita elaborar una respuesta a ese cambio y de qué tipo. En caso afirmativo, el SNC envía una señal eferente a través de las neuronas motoras hacia muy distintos tipos de efectores para provocar la respuesta (Kandel *et al.*, 2008; Silverthorn, 2008). Los diferentes estímulos que recibimos se convierten en un patrón de potenciales de acción, que forman un código eléctrico que recibe el SNC, el cual interpreta (o descodifica) para generar una respuesta que puede ser voluntaria, rítmica o refleja. El potencial de acción se produce cuando se abren los canales iónicos regulados por voltaje y cambia la permeabilidad de la membrana al Na^+ y K^+ . Se inicia en una zona desencadenante llamada segmento inicial del axón, se conduce por este y no se modifica, es todo o nada, es decir, no importa que los estímulos varíen en intensidad o duración, la amplitud de cada potencial es igual (Cardinali, 2007). ¿Cómo entonces se puede diferenciar entre los distintos mensajes? Por una parte, gracias a la vía nerviosa que los capta y transmite, y por otro lado, porque variando la frecuencia de dichas señales eléctricas se genera un código de frecuencia que permite diferenciar entre un mensaje y otro. Este potencial de acción o información se transfiere a través de los nervios a una velocidad increíblemente elevada (120 m/s en los axones que inervan las células musculares esqueléticas) llamada velocidad de conducción nerviosa (MNCV) (Kandel *et al.*, 2008; Squire *et al.*, 2008).

No todos los mensajes se transmiten igual de rápido en el sistema nervioso ya que existen múltiples factores que afectan a la velocidad de conducción. Entre estos factores se encuentran el diámetro del axón y la vaina de mielina, principalmente. En los axones la corriente eléctrica generada por el movimiento iónico sigue los principios de la electrostática. De esta manera, cuanto mayor es el diámetro que tiene un axón, menos resistencia eléctrica existe al flujo iónico, y viceversa, cuanto más pequeño es un axón mayor resistencia eléctrica habrá, reduciendo así la MNCV. La vaina de mielina incrementa exponencialmente la resistencia eléctrica de la membrana plasmática impidiendo que el movimiento iónico generado por el potencial de acción salga del axoplasma. De esta manera, la apertura de los canales iónicos para mantener el potencial de acción solo se da en los nodos de Ranvier, donde no hay mielina (y donde la resistencia eléctrica es muy baja, comparativamente). Así, el potencial de acción

salta de un nodo a otro, lo que se conoce como conducción saltatoria (Cardinali, 2007; Kandel *et al.*, 2008; Silverthorn, 2008; Squire *et al.*, 2008).

Dentro del sistema nervioso se encuentra el sistema motor somático que, junto con la musculatura y estructuras asociadas al esqueleto, producen el movimiento; las neuronas que intervienen en la producción del movimiento se denominan motoneuronas. Las células musculares esqueléticas no se contraen por sí solas, sino que necesitan de la estimulación por un tipo especial de motoneuronas, denominadas neuronas motoras alfa, que forman parte de este sistema motor somático; cada motoneurona alfa inerva varias fibras musculares. El conjunto de neurona motora alfa y las fibras musculares a las que inerva se conoce como unidad motora (Cardinali, 2007; Kandel *et al.*, 2008).

Los movimientos se pueden clasificar en voluntarios e involuntarios según sea la participación o no de la corteza cerebral; los movimientos involuntarios serán los llamados reflejos (Cardinali, 2007). Un reflejo es una respuesta estereotipada e involuntaria a la información sensitiva, desencadenada por circuitos neuronales muy sencillos. Las respuestas reflejas pueden ser influenciadas o moduladas por otros centros (podemos inhibir voluntariamente un estornudo, por ejemplo) pero el procesamiento estímulo-respuesta tiene lugar en el nivel espinal (Willmer *et al.*, 2005; Kandel *et al.*, 2008; Mendoza & Foundas, 2008). En la historia evolutiva han sido seleccionados positivamente ya que cumplen funciones imprescindibles para la supervivencia, como es mantener el tono muscular para la actividad muscular voluntaria, mantener el equilibrio y postura, y servir de respuesta a amenazas de estímulos nocivos (Mendoza & Foundas, 2008).

Atendiendo a la cantidad de sinapsis que se producen en la vía, los reflejos se pueden clasificar como monosinápticos si solo hay una sinapsis, es decir, solo hay dos neuronas en la vía y no necesitan de las interneuronas, o como polisinápticos si tienen más de una sinapsis. En función del tipo de tejido que lleve a cabo la respuesta pueden ser autónomos, si se vinculan con glándulas o músculo liso, o somáticos si se relacionan con músculo esquelético (Silverthorn, 2008). Los reflejos somáticos a su vez se pueden clasificar como reflejos miotáticos, cuando se estimulan estructuras profundas en los músculos para producir la respuesta refleja, o como reflejos cutáneos, cuando se estimulan receptores superficiales. En ambos casos, los reflejos somáticos están mediados por circuitos nerviosos confinados en su totalidad en la médula espinal (Kandel *et al.*, 2008) y no requieren aferencias del cerebro (Silverthorn, 2008).

Los reflejos somáticos se producen cuando determinados órganos sensoriales detectan cambios en el músculo y generan una respuesta motora. Los principales órganos sensoriales implicados en la generación de reflejos somáticos detectan cambios de longitud en los músculos y se denominan husos musculares. Éstos están formados por fibras musculares especiales denominadas intrafusales y que no contribuyen a la fuerza que genera el músculo. Las fibras intrafusales están dispuestas paralelamente a otro tipo de fibras, las extrafusales, células musculares esqueléticas que son las generadoras de la fuerza

en el músculo. El tipo de motoneuronas que inervan las fibras intrafusales se denominan motoneuronas gamma (Marcus & Jacobson, 2003; Cardinali, 2007; Mendoza & Foundas, 2008).

El centro integrador de los reflejos somáticos es la médula espinal, que se divide en cuatro regiones, cervical (C), dorsal (T), lumbar (L) y sacra (S) correspondientes con las vertebrae del mismo nombre. A su vez las tres regiones se subdividen en segmentos, cada uno de los cuales da lugar a un par de nervios espinales (Marcus & Jacobson, 2003). En función de la región anatómica en la que se produzca el estímulo este se integrará en una región y segmento concreto de la médula espinal. Los nervios que involucran las extremidades superiores se ubican del segmento C5 al T1, y los que involucran las extremidades inferiores del L2 al S3 (Mendoza & Foundas, 2008).

La médula se compone de materia gris (con forma de H) en la parte interna, que incluye los cuerpos celulares, dendritas y terminaciones axónicas, y de sustancia blanca en la parte externa, que rodea a la materia gris e incluye los axones mielínicos principalmente (Cardinali, 2007; Silverthorn, 2008). La materia blanca se organiza a su vez en cordones ascendentes y descendentes que conducen la información hacia y desde el encéfalo (Silverthorn, 2008). Si se realiza un corte transversal de la médula, la sustancia gris presenta dos astas, una anterior o dorsal y otra posterior o ventral. En el asta posterior se localizan neuronas aferentes, que reciben los estímulos externos, y el asta anterior, donde se localizan las neuronas eferentes cuyos axones salen de la médula e inervan los músculos. En el interior de la sustancia gris se encuentran las interneuronas, encargadas de regular el intercambio de información entre neuronas aferentes y eferentes. Estas neuronas recogen la información sensitiva, la envían al encéfalo que devuelve unas ordenes, y las intercambian con las neuronas motoras (Kandel *et al.*, 2008; Squire *et al.*, 2008).

Las astas anterior y posterior de la materia gris se encuentran unidas respectivamente a las raíces dorsal y ventral de los nervios espinales. Estas raíces son una división de los nervios espinales en la zona de unión con la médula, y son los lugares de entrada y salida de la información en la misma. Cada nervio espinal da lugar a una raíz dorsal, que transmite las señales aferentes, y a una raíz ventral, que transmite las señales eferentes. Las raíces ventrales están compuestas mayoritariamente por los axones de las neuronas motoras alfa que inervan las fibras musculares extrafusales y los de las neuronas motoras gamma que inervan las fibras musculares intrafusales. La raíz dorsal por su parte presenta una protuberancia denominada ganglio de la raíz dorsal, en el que aloja los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas (Marcus & Jacobson, 2003; Kandel *et al.*, 2008; Mendoza & Foundas, 2008).

Cuando se produce un reflejo de estiramiento el músculo se estira al igual que lo hacen las fibras intrafusales. De esta forma, se activan las fibras aferentes del huso muscular y envían la señal a la médula, allí se establece una conexión monosináptica o polisináptica con una neurona motora alfa que envía la señal a las fibras extrafusales del mismo músculo estimulado, facilitando su contracción y por tanto el movimiento reflejo (Mendoza & Foundas, 2008; Silverthorn, 2008).

El estudio de los reflejos espinales es muy importante en la clínica porque de la ausencia de estos, así como de su alteración, se pueden deducir posibles daños en la unidad motora (Kandel *et al.*, 2008; Reed *et al.*, 2004). En la actualidad, la neurofisiología clínica utiliza las variables de MNCV y latencia del reflejo (tiempo transcurrido desde que se aplica el estímulo hasta que se produce la respuesta) para determinar si existen neuropatías o enfermedades desmielinizantes. Así, una forma sencilla de diagnosticarlas es registrando valores anormales en alguna de las dos variables. Habitualmente ambas variables se miden utilizando la técnica de la electromiografía de superficie (sEMG), una técnica electrofisiológica no invasiva que registra los potenciales de acción que tienen lugar en las unidades motoras tras la estimulación o actividad motora propiamente dicha (Squire *et al.*, 2008).

Para la latencia de algunos reflejos del sistema motor somático en la especie humana se han descrito previamente diferencias sexo-específicas (Miller *et al.*, 2010), así como para el avance de enfermedades desmielinizantes como la esclerosis múltiple (Tindell & Smith, 2017). Esto lleva a pensar que los valores considerados como normales en la MNCV y latencia en la práctica clínica en los hombres necesariamente diferirán de los de las mujeres.

La hipótesis que nos planteamos es que existe un dimorfismo sexual para la MNCV y latencia de los reflejos en los seres humanos. Sin embargo, es un tema muy poco documentado en la actualidad y no se ha determinado si los resultados informados hasta el momento son concluyentes con la existencia de dimorfismo sexual. Por ello, el objetivo de esta revisión es establecer si existe consenso en los estudios realizados hasta el presente para concluir diferencias sexo-específicas con respecto a ambas variables. Esto sería de gran valor al permitir posteriormente sugerir cuales son los factores fisiológicos que conducen a este dimorfismo sexual y eliminar el sesgo diagnóstico en la práctica clínica.

MÉTODOS

Se ha realizado una revisión sistemática de literatura científica relacionada con la existencia de un posible dimorfismo sexual en la conducción de información a través de las vías nerviosas. La revisión se ha realizado en el periodo comprendido entre Octubre de 2019 y Mayo de 2020.

Se llevó a cabo una búsqueda principal en la base de datos de literatura biomédica PubMed, que se completó utilizando las bases de datos Europe PMC y Google Scholar. Se buscaron documentos tanto nacionales como internacionales aplicando las palabras clave “*gender*”, “*reflex*” y “*difference*” en combinación con “MNCV” y “*latency*”. La búsqueda se realizó únicamente en inglés y no se aplicó límite de antigüedad, pero se trató de seleccionar estudios lo más recientes posible. Además, se revisaron los apartados de bibliografía correspondientes a los estudios encontrados seleccionando aquellos que pudieran servir como apoyo, que posteriormente se buscaron en la base de datos PubMed.

El principal criterio de inclusión de los estudios en esta revisión fue que informaran de características neurofisiológicas por sexo que pudieran influir en la latencia o MNCV. El criterio de exclusión

seleccionado fue que no se realizaran comparaciones de sexo específicas con respecto a la latencia o MNCV.

Se encontraron entre estudios científicos y revisiones sistemáticas 180 resultados cuyos títulos sugerían relación con el objeto de esta revisión. La selección de estos se realizó revisando los *abstracts* para determinar si cumplía el criterio de inclusión.

La revisión se llevó a cabo sobre 22 estudios científicos, de los cuales 4 fueron descartados dado que encontraban diferencias de sexo únicamente orientadas a fisiología muscular, luego no se ajustaban al objeto de esta revisión. Finalmente la revisión constó de 18 estudios científicos.

El análisis de los estudios seleccionados se estructuró subdividiendo en la región anatómica de miembro superior y cabeza conjuntamente, y la región anatómica del miembro inferior. Se encontraron dos estudios relacionados con el sistema nervioso autónomo (SNA) que informaban de diferencias específicas de sexo y que se incluyeron separadamente de los anteriores. Para todos ellos se hicieron subgrupos en función del nervio estudiado en cada reflejo.

A partir de esta división se realizó una tabla resumen incluyendo los apartados: tipo de reflejo, nervio que interviene, sexo y edades de los sujetos, técnica de medida, valores de latencia categorizados por sexo, valores de MNCV categorizados por sexo, dimorfismo en los valores obtenidos y significación estadística de los resultados.

Para todos los artículos incluidos en la tabla se vinculó el nombre del autor o autores con el *abstract* publicado en la base de datos PubMed a excepción de uno, cuyo resumen se vinculó con el publicado en Europe PMC.

RESULTADOS

Región anatómica del miembro superior y cabeza

Se seleccionaron once estudios científicos que median latencia y MNCV en reflejos y nervios del miembro anatómico superior y la cabeza. Para todos ellos la técnica de medida utilizada fue sEMG. Todos los estudios se hicieron sobre una muestra de ambos sexos a excepción del estudio de Singh *et al.* (2016), en el que solo se analizaron mujeres.

Tres estudios midieron la MNCV de los nervios mediano y cubital. Sobre el nervio trigémino dos estudios midieron la latencia del reflejo maseterino, tres la del reflejo de parpadeo, uno la latencia del reflejo maseterino inhibitorio y otro la del trigémino-cervical. Sobre el resto de nervios de la región anatómica superior dos estudios midieron la latencia del reflejo de Hoffman y la MNCV del nervio cutáneo antebraquial posterior, respectivamente. Además, se incluyó un estudio que midió la latencia el reflejo paraespinal sobre múltiples nervios cutáneos (Tabla 1).

- **Nervio trigémino**

Dos estudios midieron las latencias del reflejo maseterino sobre el nervio trigémino en una muestra con edades comprendidas entre 21 y 27 años (Kossioni & Karkazis, 1994; Peddireddy *et al.*, 2006). Para ambos se observaron diferencias de sexo con tendencia hacia una latencia más corta en mujeres, pero solo alcanzaron el umbral de significación estadística (p -valor < 0,05) los resultados de Kossioni & Karkazis (1994).

Kiziltan *et al.* (2010) estudiaron las latencias de las respuestas que componen el reflejo maseterino, SP1, SP2 y SP total, en los lados derecho e izquierdo sobre el reflejo maseterino inhibitorio en una muestra con edades comprendidas entre 19 y 65 años. Los resultados obtenidos mostraron valores de latencia más larga para las mujeres, pero no fueron significativamente diferentes de los hombres.

Kiziltan & Gündüz (2020) midieron las latencias del reflejo trigémino-cervical en una muestra con edades comprendidas entre 18 y 75 años. No se informaron los valores de latencia obtenidos, pero sí que no se alcanzó el nivel de significación estadística para diferencias entre sexos.

Tres estudios midieron la latencia de las respuestas del reflejo de parpadeo R1 y R2 en una muestra con edades comprendidas entre 19 y 65 años. En ninguno de ellos se obtuvieron resultados significativamente diferentes entre sexos para ninguna de las respuestas (Peddireddy *et al.*, 2006; Kiziltan *et al.*, 2010; Kofler *et al.*, 2013). Sin embargo, tomando como referencia los valores de latencia obtenidos para la respuesta R2, dos estudios mostraron una tendencia hacia valores mayores en el caso de las mujeres (Peddireddy *et al.*, 2006; Kiziltan *et al.*, 2010). Además, en los estudios de Peddireddy *et al.* (2006) y Kofler *et al.* (2013) se informaron diferencias significativas en la latencia con respecto a la edad de los sujetos.

- **Nervios mediano y cubital**

Tres estudios midieron las MNCV de los nervios mediano y cubital en una muestra con edades comprendidas entre 11 y 96 años. Dos estudios mostraron valores mayores de MNCV en las mujeres en comparación con los hombres para el nervio cubital, y en ambos los resultados fueron significativamente diferentes entre sexos (Kommalage & Gunawardena, 2013; Alemdar *et al.*, 2014). Además, en el estudio de Alemdar *et al.* (2014) también midieron la MNCV del nervio mediano para ambos sexos, pero los resultados no alcanzaron el umbral de significación estadística.

Singh *et al.* (2016) informaron resultados de MNCV en los nervios mediano y cubital significativamente diferentes entre mujeres postmenopáusicas con y sin neuropatía periférica. Se encontró que la MNCV se correlacionaba positivamente con la concentración de estrógeno sérico, la cual es mayor en mujeres sin neuropatía.

- **Otros**

En el estudio de Tan (1991) se midió la latencia del reflejo de Hoffman en el tracto piramidal en una muestra con edades comprendidas entre 18 y 21 años. Los resultados mostraron valores de latencia más cortos para las mujeres. Aunque no se informaron los valores de significación estadística, sí se informó de la existencia de una correlación negativa entre la MNCV y la concentración de testosterona en las mujeres.

Se estudió la MNCV del nervio cutáneo antebraquial posterior en una muestra con edades comprendidas entre 22 y 75 años, pero no se obtuvieron resultados significativamente diferentes entre hombres y mujeres ni entre distintas estaturas o índices de masa corporal (BMI). Sin embargo, sí se encontró una correlación negativa entre la edad y la MNCV (Sajadi *et al.*, 2014). La latencia medida para el reflejo paraespinal sobre los múltiples nervios cutáneos implicados en una muestra con edades comprendidas entre 19 y 35 años mostró valores significativamente menores para las mujeres en comparación con los hombres (Miller *et al.*, 2010).

Región anatómica del miembro inferior

Se seleccionaron seis estudios que medían latencias y MNCV en reflejos y nervios del miembro anatómico inferior. En todos ellos ambos parámetros se midieron por sEMG y los resultados se categorizaron por sexo. Para cinco estudios los datos se tomaron de una muestra de ambos sexos y solo para el de Singh *et al.* (2016) la muestra estuvo compuesta por mujeres. Tres estudios se centraron en la latencia del reflejo rotuliano sobre el nervio femoral, uno en la latencia del reflejo flexor nociceptivo del nervio sural, y dos midieron la MNCV, uno la del nervio peroneo y otro la del tibial, mediano plantar, lateral, calcáneo y sural (Tabla 1).

- **Nervio femoral**

Tres estudios midieron las latencias del reflejo rotuliano sobre el nervio femoral en sujetos con edades comprendidas entre 18 y 64 años. Para todos ellos se encontraron valores de latencia más cortos en las mujeres en comparación con los hombres, entre 1 y 4 ms menos, y todos los resultados fueron significativamente diferentes entre hombres y mujeres (Alisauskiene *et al.*, 2007; Vickery & Smith, 2012; Tindell & Smith, 2017). Además, en el estudio de Tindell & Smith (2017) también midieron la MNCV y obtuvieron resultados de $52,5 \pm 1,5$ m/s para mujeres y $47,6 \pm 1,3$ m/s para hombres, valores significativamente mayores para ellas.

En todos los casos se hicieron análisis de regresión lineal y correlación para determinar si la diferencia de latencia estaba causada por la diferencia de estatura o longitud del muslo entre sexos, pero solo dos de ellos mostraron resultados afirmativos (Alisauskiene *et al.*, 2007; Tindell & Smith, 2017). En el estudio de Vickery & Smith (2012) se informó que para un grupo de ambos sexos se encontró correlación con la altura, no así para grupos del mismo sexo. No obstante, en el estudio de Tindell & Smith (2017) también se informó que para cualquier valor

de longitud del muslo los hombres siempre presentan una latencia más larga, lo cual pone de manifiesto una contradicción con los resultados de correlación entre latencia y estatura del mismo estudio.

- **Resto de nervios del miembro inferior**

Myllius *et al.* (2005) midieron la latencia del reflejo flexor nociceptivo sobre el nervio sural para una muestra con rango de edad entre 20 y 40 años. Los resultados mostraron en los hombres una latencia más corta que en las mujeres, con valores de $96,8 \pm 17,6$ ms para ellas y $95,2 \pm 16,5$ ms para ellos, pero no se informaron los valores de significación.

En el estudio de Cinar *et al.* (2013) se midió la latencia y MNCV de los nervios tibial, mediano plantar, lateral, calcáneo y sural en una muestra con rango de edad de 20 a 50 años. Aunque no se mostraron los valores obtenidos para ninguno de los dos parámetros, sí se informó que en ningún caso los resultados alcanzaron el umbral de significación estadística. También se midió la MNCV del nervio peroneo en dos grupos de mujeres postmenopáusicas, uno con neuropatía periférica y otro sin ella. Se obtuvieron resultados significativamente diferentes entre ambos grupos que, en un análisis de regresión lineal, se relacionaron positivamente con el nivel de estrógeno sérico, más abundante en aquellas sin neuropatía (Singh *et al.*, 2016).

Sistema nervioso autónomo

Se seleccionaron dos estudios relacionados con nervios del SNA, ambos en muestras compuestas de ambos sexos (Tabla 1).

Fan *et al.* (2009) estudiaron las latencias del reflejo pupilar sobre el nervio motor ocular del par III realizando un pupilograma en sujetos con edades comprendidas entre 18 y 22 años. No se informaron los valores obtenidos, pero sí se observó que las mujeres contraían la pupila a mayor velocidad que los hombres, aunque los resultados no fueron significativamente diferentes entre sexos.

Se analizó la diferencia de relación entre el diámetro del axón y el diámetro de la fibra mielinizada (g-ratio) entre sexos en el nervio laríngeo. El estudio se realizó sobre cortes histológicos para sujetos post-mortem con edades de la muestra comprendidas entre 70 y 76 años. Los resultados mostraron valores de diámetro del axón de $3,7 \pm 0,07$ μm para hombres y $3,0 \pm 0,07$ μm para mujeres, y de $5,7 \pm 0,20$ μm para hombres y $5,3 \pm 0,07$ μm para mujeres en la fibra mielinizada, por lo que los hombres presentan un g-ratio mayor, valor significativamente diferente entre sexos (De Campos *et al.*, 2014).

Tabla 1. Resumen de la información analizada en cada uno de los estudios revisados, agrupada en orden descendente de miembro anatómico y nervio implicado y ordenada cronológicamente.

Autor/es	Reflejo	Nervio	Sexo/s Rango de edad (años)	Técnica	Latencias (ms)	MNCV (m/s)	Dimorfismo	Significación estadística
Kossioni & Karkazis (1994)	Maseterino	Trigémico	♂♀ 21 - 26	sEMG	♀ 5,75±1,09 ♂ 6,14±1,28	-	Sí ♀<♂	Sí
Peddireddy et al. (2006)	Maseterino	Trigémico	♂♀ 24 - 28	sEMG	♀ 8,3±0,7 ♂ 8,4±0,7	-	No	No
Kiziltan et al. (2010)	Maseterino inhibitorio	Trigémico	♂♀ 19 - 65	sEMG	♀ 52,8±9,4 ♂ 52,1±6,6 (1)	-	Sí ♀>♂	No
Kiziltan & Gündüz (2020)	Trigémico - cervical	Trigémico	♂♀ 18 - 75	sEMG	*	-	No	No
Peddireddy et al. (2006)	Parpadeo	Trigémico	♂♀ 24 - 28	sEMG	♀ 39,4±3,5 ♂ 36,4±3,5 (2)	-	Sí ♀>♂	No
Kiziltan et al. (2010)	Parpadeo	Trigémico	♂♀ 19 - 65	sEMG	♀ 31,5±2,5 ♂ 31,2±2,5 (3)	-	No	-

Tabla 1. Continuación.

Autor/es	Reflejo	Nervio	Sexo/s Rango de edad (años)	Técnica	Latencias (ms)	MNCV (m/s)	Dimorfismo	Significación estadística
Kofler <i>et al.</i> (2013)	Parpadeo	Trigémico	♂♀ 27 - 54	sEMG	♀ 32,3±3,8 ♂ 33,0±3,8 (4)	-	Sí ♀<♂	No
Kommalage & Gunawardena (2013)		Cubital	♂♀ 11 - 96	sEMG	-	♀ 56,1±4,93 ♂ 54,04±5,00	Sí ♀>♂	Sí
Alemdar (2014)		Mediano-Cubital	♂♀ 16 - 68	sEMG	-	♀ 58,3±5,8 ♂ 57,7±5,4 (5)	Sí ♀>♂	No
Singh <i>et al.</i> (2016)		Mediano-Cubital	♀ Postmenopáusicas	sEMG	-	*	Sí	Sí
Tan Ü (1991)	Hoffman	Tracto piramidal	♂♀ 18 - 21	sEMG	♀ 29,9±1,3 ♂ 31,5±1,5	-	Sí ♀<♂	-
Miller <i>et al.</i> (2010)	Paraespinal	Cutáneo. Implicación múltiple	♂♀ 19 - 35	sEMG	♀ 48,8±3,0 ♂ 60,0±3,2	-	Sí ♀<♂	Sí
Sajadi <i>et al.</i> (2014)		Cutáneo antebraquial posterior	♂♀ 22 - 75	sEMG	-	♀ 58,64±9,31 ♂ 56,90±5,46	Sí ♀>♂	No

Tabla 1. Continuación.

Autor/es	Reflejo	Nervio	Sexo/s Rango de edad (años)	Técnica	Latencias (ms)	MNCV (m/s)	Dimorfismo	Significación estadística
Alisauskiene et al. (2007)	Rotuliano	Femoral	♂♀ 18 - 64	sEMG	♀ 20,9±1,58 ♂ 22,7±1,92	-	Sí ♀<♂	Sí
Vickery & Smith (2012)	Rotuliano	Femoral	♂♀ 20 - 22	sEMG	♀ 17±0,23 ♂ 21±0,3	-	Sí ♀<♂	Sí
Tindell & Smith (2017)	Rotuliano	Femoral	♂♀ 19 - 21	sEMG	♀ 22,0±0,2 ♂ 24,1±0,22	♀ 52,4±1,5 ♂ 47,6±1,3	Latencia Sí ♀<♂ NCV Si ♀>♂	Sí
Myllius et al. (2005)	Flexor nociceptivo	Sural	♂♀ 20 - 40	sEMG	♀ 96,8±17,6 ♂ 95,2±16,5	-	Sí ♀>♂	-
Cinar et al. (2013)		Tibial Mediano plantar Lateral Calcáneo Sural	♂♀ 20 - 50	sEMG	*	*	No	No
Singh et al. (2016)		Peroneo	♀ Postmenopáusicas	sEMG	-	*	Sí	Sí

Tabla 1. Continuación.

Autor/es	Reflejo	Nervio	Sexo/s Rango de edad (años)	Técnica	Latencias (ms)	MNCV (m/s)	Dimorfismo	Significación estadística
Fan et al. (2009)	Pupilar	Motor ocular (Par III). SNA	♂♀ 18 - 22	Pupilograma	*	-	No	No
De Campos et al. (2014)		Laríngeo. SNA	♂♀ 70 - 76	Cortes histológicos	-	-	Sí, g-ratio ♀ < ♂	Sí

Datos de latencias y MNCV representados como media ± desviación estándar.

“-“ indica un parámetro no medido; “*” indica aquellos resultados no informados de un parámetro medido; SNA, sistema nervioso autónomo; sEMG, electromiografía de superficie; (1), latencias de la respuesta SP2 izquierda con estímulo eléctrico; (2), latencias de inicio de la respuesta R2; (3), Latencias de la respuesta R2 en el lado izquierdo; (4), latencias de la respuesta R2 incondicionada; (5), MNCV del nervio mediano.

DISCUSIÓN

Región anatómica del miembro superior y cabeza

Según los resultados informados sobre el reflejo maseterino, existe una tendencia hacia latencias más cortas para las mujeres en comparación con los hombres. Es lógico pensar que este dimorfismo sexual está causado por características que se relacionan con un aumento o disminución de la MNCV.

El primer factor que podríamos considerar como explicación de este dimorfismo es el tipo de estímulo, puesto que es coherente que distintos estímulos produzcan respuestas también diferentes. Esta hipótesis se ve apoyada por el estudio de Kiziltan & Gündüz (2020), en el que encontraron que el estímulo auditivo desencadena respuestas más rápidas que estímulos somatosensoriales en el reflejo maseterino. Así, se puede pensar que las diferencias entre sexos se deben únicamente a diferencias intrínsecas del estímulo. No obstante, Vickery *et al.* (2012) informaron que la intensidad del estímulo no se encontró estadísticamente significativa para la latencia del reflejo rotuliano, luego es posible que el estímulo por sí mismo no explique las diferencias de sexo.

También podría deberse a diferencias en el tamaño de las motoneuronas implicadas en la vía, lo que se conoce como “Principio del reclutamiento por tamaño” (Kiziltan & Gündüz, 2020). Existe una diferencia de excitación entre las motoneuronas alfa pequeñas y las de mayor tamaño. Esto ocurre porque las neuronas con un cuerpo celular menor tienen mayor resistencia eléctrica y necesitan una menor corriente de entrada para llegar al umbral y producir el potencial de acción que las de mayor tamaño (Kandel *et al.*, 2008; Silverthorn, 2008; Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017; Kiziltan & Gündüz, 2020). Sin embargo, no hay ningún estudio que informe de diferencias de tamaño en el soma de las motoneuronas alfa entre sexos para ninguna de las ramas del nervio trigémino.

Se ha informado además de la posibilidad de una activación diferencial de las estructuras cerebrales en la transmisión nociceptiva entre sexos (Kossioni & Karkazis, 1994). Esto explicaría por qué los únicos resultados contrarios a una latencia más corta para las mujeres son los informados por Kiziltan *et al.* (2010) y Miller *et al.* (2010) en el reflejo maseterino inhibitorio y flexor nociceptivo respectivamente, relacionados ambos con las vías nociceptivas.

Previamente se ha descrito que el estrés y la ansiedad reducen la latencia de las respuestas musculares (Kossioni & Karkazis, 1994). Esto se apoya en los resultados comunicados por Miller *et al.* (2010), en los que informaban que una mayor rigidez del tronco conlleva a una menor latencia de los reflejos paraespinales. Así pues, una explicación para esta diferencia entre sexos podría ser que las mujeres presentaban mayores niveles de estrés cuando se realizó el protocolo de medida.

El reflejo de parpadeo consta de tres respuestas: R1, R2 y R3, siendo la R2 y R3 las que se desarrollan a nivel medular en el tronco encefálico (Peddireddy *et al.*, 2006; Kiziltan *et al.*, 2010; Kofler *et al.*, 2013).

Se ha sugerido que un retraso en la latencia de este reflejo puede deberse a la pérdida de neuronas dopaminérgicas de la sustancia gris de los ganglios basales por efecto de la edad (Peddireddy *et al.*, 2006; Kofler *et al.*, 2013). Este tipo de neuronas contienen dopamina, molécula que aumentan significativamente la excitabilidad de las vías reflejas y por tanto también la MNCV y la latencia (Kofler *et al.*, 2013). Dado que las mujeres tienen tendencia hacia latencias del reflejo de parpadeo más largas que los hombres, sería lógico pensar que las mujeres tuvieran menor cantidad de neuronas dopaminérgicas que ellos.

También se ha demostrado que la frecuencia de parpadeo aumenta significativamente en mujeres que toman píldoras anticonceptivas (Peddireddy *et al.*, 2006), las cuales contienen niveles altos de estrógenos y progesterona que inhiben las oscilaciones de las mismas hormonas durante el ciclo menstrual (Salomoni *et al.*, 2008). Es coherente pensar que al cambiar la frecuencia de parpadeo coincidiendo con oscilaciones en las concentraciones de estrógenos y progesterona, estas hormonas tienen algún tipo de interacción con la excitabilidad de las motoneuronas (Kossioni & Karkazis, 1994), aunque su papel no está del todo claro.

Las mujeres presentan una mayor MNCV que los hombres para los nervios mediano y cubital, hecho que se asocia a una mayor mielinización de las fibras nerviosas para ellas (Alemdar *et al.*, 2014). La vaina de mielina crea resistencia a la salida de Na^+ y K^+ desde el citoplasma hacia el exterior, de manera que cuanto más gruesa sea, mayor será la resistencia a la salida de iones y más rápida será la conducción (Cardinali, 2007). Por esto, una posible explicación a la mayor MNCV de las mujeres sería que presentan un g-ratio mayor que los hombres (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017). Sin embargo, esta afirmación no es coherente con los hallazgos del estudio de De Campos *et al.* (2014) sobre el grado de mielinización del nervio laríngeo, en el que encontraron que los hombres presentan un g-ratio mayor que las mujeres.

Se ha descrito previamente que la edad tiene una correlación negativa con el MNCV tanto en miembros superiores como inferiores (Kossioni & Karkazis, 1994; Peddireddy *et al.*, 2006; Fan *et al.*, 2009; Werner *et al.*, 2011; Vickery *et al.*, 2012; Cinar *et al.*, 2013; Kommalage *et al.*, 2013; Alemdar *et al.*, 2014; Sajadi *et al.*, 2014). Estos cambios se deben principalmente a la desmielinización causada por la edad. La mielina madura en la infancia y hace que aumente la velocidad de conducción hasta los 3 años, cuando se alcanza la velocidad máxima que se mantiene hasta aproximadamente los 30 años. Es entonces cuando comienza a disminuir en una tasa de aproximadamente el 10% en cada una de las décadas posteriores (Werner *et al.*, 2011), lo que produce a su vez una disminución de la MNCV. También se ha demostrado que la cantidad de motoneuronas alfa que inervan los músculos de las extremidades disminuye gradualmente con la edad (Peddireddy *et al.*, 2006; Kofler *et al.*, 2013). Por todo ello, sería lógico pensar que la diferencia de MNCV entre mujeres y hombres se debe a un efecto asimétrico del envejecimiento para cada sexo. No obstante, las mujeres presentan una latencia más corta que los hombres a edades iguales (Alemdar *et al.*, 2014). Además, se ha comunicado que el efecto de la

edad es independiente de la altura, sexo o índice de masa muscular (IMC) para los nervios trigémino y cutáneo antebraquial posterior (Kofler *et al.*, 2013; Sajadi *et al.*, 2014).

Otra posibilidad para explicar el dimorfismo sexual en la MNCV de ambos nervios podría ser la diferencia en la circunferencia del dedo y grosor de la piel. No obstante, aunque se han encontrado latencias más cortas en los dedos anulares de las mujeres, que coinciden con una menor circunferencia y grosor de piel (Alemdar *et al.*, 2014; Sajadi *et al.*, 2014), este factor sería más razonable para justificar diferencias de amplitud que de latencia (Peddireddy *et al.*, 2006).

También se podría pensar en una dependencia del MNCV con la longitud de la vía relevante (Kiziltan & Gündüz, 2020). Esto sería coherente puesto que las estructuras anatómicas son de mayor tamaño en los hombres, pero la longitud del brazo no se relacionó con la MNCV (Kommalage *et al.*, 2013); si bien, los datos sobre la correlación entre MNCV y estatura son contradictorios entre distintos estudios para múltiples nervios (Cinar *et al.*, 2013; Sajadi *et al.*, 2014).

La concentración de estrógeno sérico se correlaciona positivamente con la MNCV de los nervios mediano, cubital y peroneo (Singh *et al.*, 2016). Por ello, se podría pensar que al tener las mujeres mayor concentración de estrógenos que los hombres también tendrán una mayor MNCV (Tindell & Smith, 2017). Así se podría explicar el dimorfismo sexual para la MNCV tanto en el miembro anatómico superior como en el inferior. Esta hipótesis se ve apoyada por el estudio de Tan (1991), que encontró una correlación negativa entre la latencia del reflejo de Hoffman y la concentración de testosterona en mujeres. Al presentar las mujeres latencias de reflejo más cortas y una correlación negativa con la testosterona, sería lógico pensar que un aumento en los niveles séricos de esta hormona afecta a la velocidad de conducción haciendo que se reduzca. También se piensa que las fases del ciclo menstrual, concretamente la fase lútea, tienen una estrecha relación con el MNCV en los reflejos nociceptivos reduciendo la latencia de los hombres respecto a las mujeres (Mylius *et al.*, 2005).

Curiosamente, pese a que los nervios mediano y cubital se suelen estudiar en conjunto, el nervio cubital presenta un mayor grado de mielinización (Alemdar *et al.*, 2014) y su MNCV disminuye más lentamente que el del nervio mediano por el envejecimiento (Werner *et al.*, 2011), lo cual debe tenerse en cuenta para estudios comparativos de MNCV entre ambos.

Región anatómica del miembro inferior

Los resultados obtenidos indican que claramente hay una diferencia entre sexos para la latencia del reflejo rotuliano sobre el nervio femoral, sin embargo, no es un resultado extrapolable al resto de nervios del miembro anatómico inferior.

Dado que en la latencia intervienen tanto la MNCV como la longitud de la vía, sería coherente pensar que en los hombres esta será mayor por tener una estatura y longitud de muslo también mayor. Esto se debe a que la conducción del potencial de acción en el reflejo rotuliano se conduce a lo largo del tronco del nervio femoral, cuya longitud es la misma que la del muslo (Vickery *et al.*, 2012). Los resultados de Alisauskiene *et al.* (2007) y Tindell & Smith (2017) apoyan esta hipótesis. Sin embargo, Vickery *et al.*

(2012) mostraron que dentro de grupos del mismo sexo no existía correlación entre latencia y estatura, y asociaron resultados afirmativos a la combinación de ambos sexos; al combinar los datos de mujeres y hombres se enmascaran los posibles efectos del sexo sobre la latencia asociándolos a la estatura. No obstante, en el estudio de Tindell & Smith (2017) se informa que para cualquier valor de longitud del muslo los hombres siempre presentan una latencia más larga que las mujeres. Esto apoya la altura como factor de confusión, y sin embargo es incongruente con los resultados mostrados previamente en el mismo estudio.

Otra explicación pueden ser diferencias en el IMC, el cual se correlaciona inversamente con el MNCV de los nervios tibial posterior y las ramas distales (Cinar *et al.*, 2013) y de algunos nervios sensoriales (Sajadi *et al.*, 2014).

Entre las características neuroanatómicas que conocemos que determinan la MNCV se encuentra el diámetro del axón, cuya mayor área transversal se asocia con un mayor tamaño del soma o cuerpo celular (Tindell & Smith, 2017). Se conoce que el área del soma de las motoneuronas alfa que se integran en el asta ventral de la región lumbar L3, a la que se asocia el nervio femoral, es mayor en los hombres que en las mujeres (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017). Esto lleva a pensar que al tener un área de soma más grande los hombres presentarán una MNCV mayor que las mujeres y por tanto una menor latencia del reflejo rotuliano. Sin embargo, esta hipótesis no es coherente con los resultados encontrados en los que la MNCV de las mujeres es significativamente más rápida que la de los hombres (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017).

Esto se puede explicar de nuevo por el “Principio del reclutamiento por tamaño”, según el cual las neuronas de menor tamaño se reclutarán antes al presentar mayor resistencia eléctrica y llegar antes al umbral (Kandel *et al.*, 2008; Silverthorn, 2008; Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017). De esta forma, al tener los hombres motoneuronas alfa con un área transversal mayor que las mujeres, se produce un retraso sináptico entre las neuronas aferentes y eferentes que se traduce en un retraso en la latencia de estos (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017). Esto es congruente con los resultados de Nishikawa *et al.* (2017), que concluyeron que existía un dimorfismo sexual para el reclutamiento de las unidades motoras.

Además del tamaño de las motoneuronas alfa, también se puede considerar como causa del dimorfismo sexual en el miembro inferior la mielinización de los axones. Se podría pensar que las mujeres presentan un g-ratio mayor que los hombres, pero de nuevo, esta hipótesis no coincide con resultados previos sobre g-ratio entre sexos, en los que se demuestra que en los hombres es mayor que en mujeres (De Campos *et al.*, 2014).

Otro factor que implica un aumento de la MNCV es la mayor distancia entre nodos de Ranvier (Wu *et al.*, 2012), por lo que sería posible que las mujeres presenten una mayor distancia internodal en comparación con los hombres (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017).

De igual manera podemos considerar la densidad de canales de Na⁺ / K⁺ regulados por voltaje presentes en los nodos de Ranvier (Vickery *et al.*, 2012; Tindell & Smith, 2017). A través de estos canales los

iones de Na⁺ atraviesan la membrana del axón y salen del citoplasma al exterior creando el potencial de acción y transmitiendo el impulso nervioso (Kandel *et al.*, 2008). Así, una menor cantidad de canales o diferentes propiedades de activación (como la necesidad de mayor concentración de iones de Na⁺ para activarlos) podrían causar diferencias en la transmisión del impulso y por tanto en la latencia del reflejo entre sexos.

Además de las características neuroanatómicas, también se ha comunicado correlación positiva entre la concentración de estrógenos y la MNCV del nervio peroneo (Singh *et al.*, 2016). Dada la diferencia en la concentración de hormonas entre ambos sexos sería coherente pensar que es un factor que interviene en el dimorfismo sexual para la latencia y MNCV también en el miembro inferior (Tindell & Smith, 2017).

CONCLUSIONES

Los resultados de esta revisión confirman que el sexo tiene influencia en el desarrollo de los reflejos y la conducción del estímulo nervioso sobre determinados nervios.

No se puede concluir dimorfismo sexual para el funcionamiento de las vías reflejas sobre el nervio trigémino. Los resultados indican que existen ligeras diferencias entre sexos, en el caso del reflejo maseterino con tendencia a una latencia más corta para las mujeres, pero no fueron suficientemente consistentes para considerarlas efecto del género.

Encontramos evidencia clara de la existencia de dimorfismo sexual tanto en latencia como en MNCV del nervio femoral en el reflejo rotuliano, al igual que para la MNCV de todos los nervios del miembro anatómico superior. Las mujeres siempre presentan latencias más cortas y velocidades de conducción mayores que los hombres.

No existen datos suficientes para concluir un dimorfismo sexual en el resto de los nervios del miembro inferior, ni siquiera se puede informar de una tendencia por ausencia de valores.

Tampoco se pueden concluir dimorfismo sexual sobre el sistema nervioso autónomo por falta de estudios.

Las causas de estas diferencias no están claras, aunque probablemente estén muy relacionadas con las hormonas sexuales, puesto que la mayoría de los estudios revisados incluían este factor como limitación y los que lo analizaron concluyeron que efectivamente existía correlación.

No obstante, las conclusiones a las que se han llegado en esta revisión pueden no ser suficientemente sólidas debido a la escasez de estudios sobre el tema, el cual requiere una mayor investigación.

LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Según la información encontrada, parece que las hormonas sexuales son el factor con mayor probabilidad de influencia en las diferencias de sexo en la conducción nerviosa.

Los estrógenos son la hormona sobre la que más se ha investigado hasta el momento en términos de conducción nerviosa, y se ha determinado un efecto evidente en todos los estudios científicos en los que ha sido considerada como variable. Sin embargo, existen otras hormonas que podrían tener gran influencia, como los andrógenos. Los andrógenos son un tipo de esteroide sexual que desencadena una reacción en cascada y que se inicia en el receptor androgénico (Picón & Azrie, 2000). Conociendo que una de las principales funciones de los andrógenos es la producción de caracteres sexuales masculinos, se puede pensar que una cantidad más abundante de lo normal de andrógenos en mujeres supondrá una masculinización de los parámetros de conducción nerviosa, es decir, un retraso en la MNCV y aumento de la latencia; se desarrollaría un fenotipo masculino para la MNCV. De igual manera esto puede ocurrir en los casos de síndrome de insensibilidad a los andrógenos, donde los hombres tendrían fenotipo femenino de MNCV (Morris *et al.*, 2004). En el caso de las mujeres, la sobreproducción de andrógenos de forma natural puede venir derivada de la hiperplasia suprarrenal congénita que se desarrolla estando en el útero, o del síndrome de ovario poliquístico (SOP) que se desarrolla tras el parto. La hiperplasia suprarrenal congénita es un trastorno genético en las glándulas suprarrenales que se relaciona directamente con la sobreproducción de andrógenos, al igual que el SOP que se produce cuando los ovarios producen más hormonas masculinas de lo normal (Collaer *et al.*, 2009; Tindell & Smith, 2017). Además de encontrarse sobreproducción de andrógenos en mujeres con hiperplasia suprarrenal congénita y SOP, también se podrían considerar los casos de mujeres sometidas a tratamientos con estas hormonas para cambio de sexo. No obstante, esto debería tener consideraciones a parte puesto que el aumento de andrógenos no se estaría produciendo por el propio organismo, luego es posible que no afecte de la misma manera en los parámetros de conducción nerviosa.

Así pues, a través de la investigación en estas hormonas se podría acotar el rango de posibles orígenes de las diferencias sexo-específicas de la conducción nerviosa.

BIBLIOGRAFÍA

Alemdar, M. (2014). Effects of gender and age on median and ulnar nerve sensory responses over ring finger. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 24: 52-57.

Alisauskiene, M.; Magistris, M.R.; Vaiciene, N.; Truffert, A. (2007). Electrophysiological evaluation of motor pathways to proximal lower limb muscles: A combined method and reference values. *Clinical neurophysiology* 118: 513-524.

- Cardinali, D.P. (2007). *Neurociencia aplicada: Sus fundamentos*. Panamericana, Argentina.
- Cinar, N.; Sahin, S.; Sahin, M.; Okluoglu, T.; Karsidag, S. (2013). Effects of anthropometric factor son nerve conduction: An electrophysiologic study of feet. *Journal of the American Podiatric Medical Association* 103(1): 43-49.
- Collaer, M.L.; Brook, C.; Conway, G.S.; Hindmarsh, P.C.; Hines, M. (2009). Motor development in individuals with congenital adrenal hyperplasia: Strenght, targeting and fine motor skill. *Psychoneuroendocrinology* 34(2): 249-258.
- De Campos, D.; Heck, L.; Jotz, G.P.; Xavier, L.L. (2014). Degree of myelination (g-ratio) of the human recurrent laryngeal nerve. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 271: 1277-1281.
- Fan, X.; Hearne, L.; Lei, B.; Miles, J.H.; Takahashi, N.; Yao, G. (2009). Weak gender effects on transient pupillary light reflex. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 147: 9-13.
- Kandel, E. R.; Schwartz, J. H.; Jessell, T. M. (2000). *Principios de Neurociencia* (4º ed.). Mc Graw-Hill Interamericana de España, Madrid.
- Kiziltan, M.E.; Benbir, G.; Uzun, N.A.; Gökdemir, S. (2010). Auditory-evoked masseter inhibitory reflex. *Neuroscience Letters* 475: 12-15.
- Kiziltan, M.E.; Gündüz, A. (2020). Late component of trigemino-cervical reflex: changes according to age and gender. *Neurological Sciences* doi:10.1007/s10072-020-04242-7.
- Kofler, M.; Kumru, H.; Schaller, J.; Saltuari, L. (2013). Blink reflex prepulse inhibition and excitability recovery: Influence of age and gender. *Clinical Neurophysiology* 124: 126-135.
- Kossioni, A.E.; Karkazis, H.C. (1994). The influence of gender on the masseter electromyographic jaw-jerk reflex in young subjects. *Journal of Oral Rehabilitation* 21: 419-430.
- Kommalage, M.; Gunawardena, S. (2013). Influence of age, gender, and sidedness on ulnar nerve conduction. *Journal of Clinical Neurophysiology* 30: 98-101.
- Marcus, E.M.; Jacobson, S. (2003). *Integrated neuroscience: A clinical problem solvin approach* (1º ed.). Springer, New York.

- Mendoza, J.; Foundas, A. (2008). *Neuroanatomy: A Neurobehavioral Approach*. Springer, Nueva York.
- Miller, E.M.; Slota, G.P.; Agnew, M.J.; Madigan, M.L. (2010). Females exhibit shorter paraspinal reflex latencies than males in response to sudden trunk flexion perturbations. *Clinical Biomechanics* 25: 541-545.
- Morris, J.A.; Jordan, C.L.; Breedlove, S.M. (2004). Sexual differentiation of the vertebrate nervous system. *Nature Neuroscience* 7(10): 1034-1039.
- Mylius, V.; Kunz, M.; Schepelmann, K.; Lautenbacher, S. (2005). Sex differences in nociceptive withdrawal reflex and pain perception. *Somatosensory and Motor Research* 22(3): 207-211.
- Nishikawa, Y.; Watanabe, K.; Takahasi, T.; Hosomi, N.; Orita, N.; Mikami, Y.; Maruyama, H.; Kimura, H.; Matsumoto, M. (2017). Sex differences in variances of multi-channel surface electromyography distribution of the vastus lateralis muscle during isometric knee extension in young adults. *European Journal of Applied Physiology* 117(3): 583-589.
- Peddireddy, A.; Wang, K.; Svensson, P.; Arendt-Nielsen, L. (2006). Influence of age and gender on the jaw-stretch and blink reflex. *Experimental Brain Research* 171: 530-540.
- Picón, M.J.C.; Azrie, A.M. (2000). Andrógenos y hueso en la mujer. *Revista española de Enfermedades Metabólicas Óseas*. 9(5): 169–206.
- Reed, T.E.; Vernon, P.A.; Johnson, A.M. (2004). Sex difference in brain nerve conduction velocity in normal humans. *Neuropsychologia* 42: 1709-1714.
- Sajadi, S.; Mansoori, K.; Raissi, G.R.; Razavi, S.Z.E., Ghajarzadeh, M. (2014). Normal values of posterior antebrachial cutaneous nerve conduction study related to age, gender, height and body mass index. *Journal of Clinical Neurophysiology* 31: 523-528.
- Salomoni, S.; Soares, F.A.; Nascimento, F.A.O.; Da Rocha, A.F. (2008). Gender differences in muscle fatigue of the biceps brachii and influences of female menstrual cycle in electromyography variables. *30th Annual International IEEE EMBS Conference*.
- Silverthorn, D. (2008). *Fisiología Humana: un enfoque integrado* (4^o ed.). Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires.

- Singh, A.; Asif, N.; Singh, P.N.; Hossain, M.M. (2016). Motor nerve conduction velocity in postmenopausal women with peripheral neuropathy. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* 10 (12): CC13-CC16.
- Squire, L.R.; Bloom, F.E.; Spitzer, N.C.; Du Lac, S.; Ghosh, A.; Berg, D. (2008). *Fundamental neuroscience* (3^o ed.). Elsevier, Canada.
- Tan, Ü. (1991). The Relationship of Latency Characteristics of the Hoffmann Reflex From the Right and Left Thenar Muscles To Serum Testosterone Levels in Right- Handed Male and Female Subjects. *International Journal of Neuroscience* 57: 51-59.
- Tindell, G.; Smith, P.A. (2017). Females recruit faster alpha motor neurons than males during the patellar stretch reflex: evidence for neurophysiological sexual dimorphism. bioRxiv DOI: 10.1101/202713.
- Vickery, H.S.F.; Smith, P.A. (2012). Surface electromyography reveals males have slower patellar reflex than females. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 22: 990-996.
- Werner, R.A.; Franzblau, A.; D'Arcy, H.J.S.; Evanoff, B.A.; Tong, H.C. (2011). Differential aging of median and ulnar sensory nerve parameters. *Muscle Nerve* 45: 60-64.
- Willmer, P.; Stone, G.; Johnston, I. (2005). *Environmental physiology of animals* (2^o ed.). Blackwell publishing, United Kingdom.
- Wu, L.M.N.; Williams, A.; Delaney, A.; Sherman, D.L.; Brophy, P.J. (2012). Increasing internodal distance in myelinated nerves accelerates nerve conduction to a flat maximum. *Current Biology* 22: 1957-1961.