



TESINA

**Presentada para acceder al título de grado de la carrera de
LICENCIATURA EN KINESIOLOGÍA Y FISIATRÍA**

Título:

**“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”**

Autor:

Steinberg, Federico. 2408

Director:

Lic. Mesa, Lucas

Fecha de presentación:

18/05/2018

Firma de Autor:

RESUMEN:

Introducción: La Lesión Medular se define como un proceso patológico de etiología variable que resulta de la alteración temporal o permanente de la función motora, sensitiva y/o autonómica. Por otro lado cabe resaltar que las complicaciones respiratorias son la causa más común de muerte tras la lesión medular tanto en el periodo agudo como crónico. La electroestimulación en la musculatura abdominal es una herramienta de uso común en los programas de rehabilitación en estos pacientes; consiste en aplicar pulsos eléctricos sobre el músculo o sistema nervioso periférico para desencadenar una contracción muscular controlada y de esta forma favorecer el proceso de rehabilitación.

Objetivo: Describir los efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en personas con lesión medular cervical.

Metodología: Revisión bibliográfica retrospectiva y cualitativa. La búsqueda de los artículos se llevó a cabo en las bases de datos Pubmed, SciELO, ScienceDirect y Proquest, sumado a la utilización del buscador Google académico para obtener artículos de ministerios de salud, universidades, hospitales, confederaciones y tesis doctorales. Se incluyeron en esta revisión 13 artículos que investigaron los efectos de la estimulación eléctrica en musculatura abdominal sobre la función espiratoria en personas con lesión medular.

Resultados: Todos los artículos aumentaron parámetros espiratorios, entre ellos pico flujo de tos, capacidad vital forzada, volumen espiratorio forzado en 1 segundo y pico flujo espiratorio.

Conclusiones: La aplicación de electroestimulación abdominal en pacientes con lesión medular es una modalidad terapéutica efectiva a la hora de mejorar la función espiratoria, con un potencial efecto positivo en la disminución de la incidencia de complicaciones respiratorias.

Palabras claves: Electroestimulación, Abdominal, Función espiratoria, Lesión medular cervical.

ÍNDICE:

RESUMEN:.....	1
I. INTRODUCCIÓN:	3
II. OBJETIVOS:.....	6
III. MARCO TEORICO:	7
III. a. LESIÓN MEDULAR:	7
III. b. ETIOLOGIA:	7
III. c. ANATOMÍA DE LA MEDULA ESPINAL:	7
III. d. FISIOPATOLOGIA DE LESIÓN MEDULAR:	9
III. e. NIVEL DE LESIÓN:.....	13
III. f. INTEGRIDAD DE LA MEDULA:	16
III. g. ANATOMÍA MUSCULAR:	17
III. h. FUNCIÓN RESPIRATORIA:.....	21
III. i. MEDICIONES DE LA FUNCIÓN RESPIRATORIA:	24
III. j. FUNCIÓN RESPIRATORIA EN LESIÓN MEDULAR CERVICAL:	26
III. k. NEUMONÍA ADQUIRIDA DE LA COMUNIDAD:	29
III. l. ATELECTASIA:	29
III. m. ELECTROESTIMULACIÓN:.....	30
III. m. 1. PARÁMETROS DE ESTIMULACIÓN:.....	30
III. m. 2. CLASIFICACIONES DE LAS PRINCIPALES CORRIENTES PARA CONTRACCIÓN MUSCULAR:	32
III. m. 3.FARADIZACIÓN NEUROMUSCULAR.....	33
III. m. 4.EFECTOS DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS: ESTIMULACIÓN DE LOS POTENCIALES DE ACCIÓN EN LOS NERVIOS:.....	35
III. m. 5.CONTRAINDICACIONES Y PRECAUCIONES PARA EL USO DE CORRIENTES ELÉCTRICAS:	39
IV. JUSTIFICACIÓN:	41
V.MÉTODOS:.....	42
VI. RESULTADOS:.....	43
VII. ANALISIS DE RESULTADOS:.....	53
VIII. DISCUSIÓN:	62
IX. CONCLUSIONES:.....	65

I. INTRODUCCIÓN:

La Lesión Medular se define como un proceso patológico de etiología variable que resulta de la alteración temporal o permanente de la función motora, sensitiva y/o autonómica¹.

La etiología de la lesión en Estados Unidos es de 42.1% debido a accidente de tránsito, el 26.7% a causas de caídas, el 15.1% provocado por la violencia y un 7.6% accidentes deportivos.² Por otro lado, tomando como referencia un país sudamericano como Venezuela las causas más frecuentes son los accidentes de tránsito (43 %), seguidos de las caídas (31,9 %), accidentes laborales (17,2 %), zambullidas o accidentes por inmersión(3 %), intentos de suicidio (3 %) y otras².

Es importante recordar que la lesión medular en etapa aguda es un proceso dinámico; por lo que una lesión incompleta puede evolucionar a completa, el nivel de la lesión puede subir o bajar uno o dos niveles durante las primeras horas tras el daño inicial³.

Por otro lado cabe resaltar que las complicaciones respiratorias son la causa más común de muerte tras la lesión medular tanto en el periodo agudo como crónico. Se postula que los pacientes con daño medular están más propensos a presentar este tipo de complicaciones, principalmente por debilidad de los músculos intercostales y abdominales, junto con disfunción parcial o total del diafragma. Por otra parte, los problemas respiratorios se pueden presentar en cualquiera de las fases evolutivas de la lesión medular. En la etapa de shock medular se produce insuficiencia respiratoria, atelectasias y neumonías; en la fase de automatismo hay disminución de la respuesta tusígena y del flujo espiratorio máximo, fatiga de la musculatura respiratoria y problemas con el manejo de las secreciones, por último, en el período de cronicidad puede estar presente cualquiera de las patologías antes mencionadas⁴.

Estos pacientes, a diferencia de la mayoría que tienen problemas respiratorios, nunca presentan ortopnea. La posición supina, al suprimir el efecto de la gravedad, ayuda a disminuir el esfuerzo que debe realizar el diafragma, de por sí insuficiente en ellos⁵.

El nivel de la lesión medular es un importante predictor de la función respiratoria del paciente y de las posibles complicaciones que puede presentar. Los pacientes que presentan daño a nivel de la sexta vértebra cervical o inferior a ésta, en general, no presentan mayores problemas respiratorios porque preservan una buena función muscular

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

y del diafragma. En cambio, aquellos con lesión a nivel de la quinta vértebra cervical presentan problemas en el manejo de las secreciones, y los que presentan lesión en la cuarta vértebra cervical sólo algunos logran mantener la ventilación espontánea, los pacientes con lesiones medulares más altas son siempre dependientes, tanto en su mecánica ventilatoria como en el manejo de sus secreciones⁶.

Se produce pérdida de la capacidad inspiratoria y espiratoria. La primera produce una hiperventilación pulmonar y favorece las atelectasias, la debilidad muscular puede llevar al fallo respiratorio. Esta debilidad junto con la incapacidad para toser -se producen parálisis o paresia en los músculos primarios y accesorios que intervienen en esta función⁷- favorece la acumulación de secreciones, que dan lugar a más atelectasias, incrementando el riesgo de neumonía e insuficiencia respiratoria. Esto explica que hasta un 70% de los pacientes con esta lesión presenta infección de las vías respiratorias como complicación a la alteración que se presenta en el aparato respiratorio⁸.

De las complicaciones respiratorias, la que ocupa el primer lugar en morbilidad es la Neumonía, lo cual presenta una infección del espacio aéreo distal⁹.

Las medidas comunes para evaluar la capacidad ventilatoria incluyen la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espiratorio forzado en un segundo (VEF1), el pico flujo espiratorio, pico flujo de tos y presión espiratoria máxima. El pico flujo de tos es la máxima velocidad de exhalación de aire durante el mecanismo de tos, el pico flujo espiratorio es la velocidad máxima de flujo que puede ser exhalado de los pulmones cuando se miden a partir de la capacidad pulmonar total, la capacidad vital forzada es el volumen total de aire exhalado después de la inhalación pulmonar máxima, la presión espiratoria máxima es la presión mayor que se pueda generar contra una vía o equipo ocluido (se puede utilizar para medir la fuerza de los músculos espiratorios). Estos han demostrado estar reducidos en individuos con lesión medular en comparación con los valores normales de personas sin esta condición^{10, 11}.

La electroestimulación es una herramienta de uso común en los programas de rehabilitación en cualquier patología, que consiste en aplicar trenes de impulsos eléctricos sobre el músculo o sistema nervioso periférico para desencadenar una contracción muscular controlada y de esta forma favorecer el proceso de rehabilitación del paciente¹².

La electroestimulación cuando se denomina FES (Functional Electrical Stimulation) consiste en la aplicación de corriente eléctrica combinado con actividades funcionales.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Para llevar a cabo FES es necesario que la segunda motoneurona se encuentre intacta, ya que de esta forma el sistema neuromuscular es capaz de estimularse con trenes de impulsos farádicos de forma similar a lo que ocurre en un músculo sano¹³.

Estudios experimentales previos han sugerido que las medidas de capacidad ventilatorias que fueron alteradas pueden mejorarse realizando un entrenamiento de electroestimulación abdominal¹⁴.

Dicha sugerencia sobre el uso de la electroestimulación, las complicaciones respiratorias anteriormente explicadas y la falta de uso de esta modalidad terapéutica en la ciudad de Santa Fe generó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en personas con lesión medular cervical?

II. OBJETIVOS:

- Objetivo general: Describir los efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en personas con lesión medular cervical.

- Objetivos específicos:
 1. Determinar efectos sobre pico flujo espiratorio y pico flujo de tos.
 2. Describir cambios sobre capacidad vital forzada y volumen espiratorio forzado en 1 segundo.
 3. Establecer cuál es el tipo de corriente utilizada para la estimulación abdominal.

III. MARCO TEORICO:

III. a. LESIÓN MEDULAR:

El sistema nervioso central consiste en el cerebro y la médula espinal. Una lesión en este puede provocar parálisis. En los Estados Unidos, la segunda causa principal de parálisis, después del accidente cerebrovascular, es la lesión de la médula espinal¹⁵.

El daño medular se define como una lesión de la médula espinal, que determina cambios transitorios o permanentes de su función motora, sensitiva o autonómica¹⁶. Los efectos varían mucho. Sin embargo, muchas personas experimentan al menos alguna pérdida de la función motora y sensibilidad¹⁷.

III. b. ETIOLOGIA:

La etiología de una lesión medular se puede clasificar como traumática o no traumática. Las causas comunes de no traumática son la esclerosis múltiple espinal, la espondilosis cervical (estenosis espinal) y la esclerosis lateral amiotrófica (enfermedad de la neurona motora), compresión tumoral, abscesos infecciosos y malformaciones vasculares causas menos frecuentes¹⁸. Las traumáticas son el resultado de un trauma en la médula espinal. En el Reino Unido, las caídas son la principal causa, seguidas de los accidentes de tránsito y las lesiones deportivas¹⁹.

Las lesiones medulares de origen traumático varían su incidencia según sexo y edad. La incidencia de lesión medular en hombres respecto a las mujeres es mayor en todos los estudios recogidos por Global Incidence & Prevalence²⁰. Siendo el ratio hombre/mujer favorable para la mujer por su baja incidencia. Según el Centro de Estadísticas Nacionales de Lesiones de Médula Espinal, en el 80,7% de los casos la lesión ocurrió en hombres. En cuanto a la edad, el pico de incidencia se sitúa entre los 15 y 30 años, sin embargo, la media de edad ha pasado de ser 28,7 años a 42,6 años entre 1979 y 2010²¹.

III. c. ANATOMÍA DE LA MEDULA ESPINAL:

La médula espinal y las raíces espinales están situadas en el conducto vertebral, cubiertas por sus envolturas meningeas. Esta posee un límite superior difícil de establecer. Continúa al bulbo raquídeo, después de producida la "decusación piramidal". A nivel óseo, este límite corresponde al arco anterior del atlas y a la apófisis odontoides del axis. Su límite inferior es el vértice del cono medular, a nivel del disco intervertebral entre la 1ª a 2ª vértebra lumbar, en el adulto. Este vértice, a su vez prolongado por el filum terminal de la médula espinal, cuya extremidad distal se fija en la 1ª vértebra coccígea²².

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Los seres humanos tienen 33 vértebras en la columna vertebral, que consta de siete vértebras cervicales, doce torácicas, cinco lumbares, cinco sacras y cuatro coccígeas. Las vértebras cervicales, torácicas y lumbares están separadas por discos intervertebrales, que no están presentes entre las vértebras sacras o coccígeas. Esto conduce a la fusión de las vértebras sacras y coccígeas en la vida adulta para formar dos huesos, conocidos como sacro y coxis (o cóccix)²³.

Existen raíces anteriores y posteriores. Las anteriores son motoras y emergen de la médula espinal, las posteriores son sensitivas y llegan a la médula espinal. En las actividades de la vida diaria, la médula espinal es un intermediario entre la periferia y los centros nerviosos superiores. En ella se encuentran, cierto número de fascículos que transportan impulsos sensitivos (ascendentes) y motores (descendentes)²⁴.

Los humanos tienen 31 pares izquierda-derecha de nervios espinales, que transportan señales motoras, sensoriales y autonómicas entre la médula espinal y el cuerpo (fig. 1). Estos consisten en ocho pares de nervios cervicales (C1-8), 12 pares torácicos (T1-12), cinco pares lumbares (L1-5), dos pares sacro (S1-5) y un par coccígeo. Estos nervios espinales salen de la médula espinal entre las vértebras adyacentes, excepto el primer nervio cervical, denominado C1, que sale por encima de las primeras vértebras cervicales²⁵.

Por lo tanto, los nervios cervicales están numerados de acuerdo con las vértebras debajo del nervio, a excepción de C8 que existe entre C7 y T1, mientras que los nervios torácico, lumbar y sacro están numerados de acuerdo con las vértebras anteriores²⁶.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

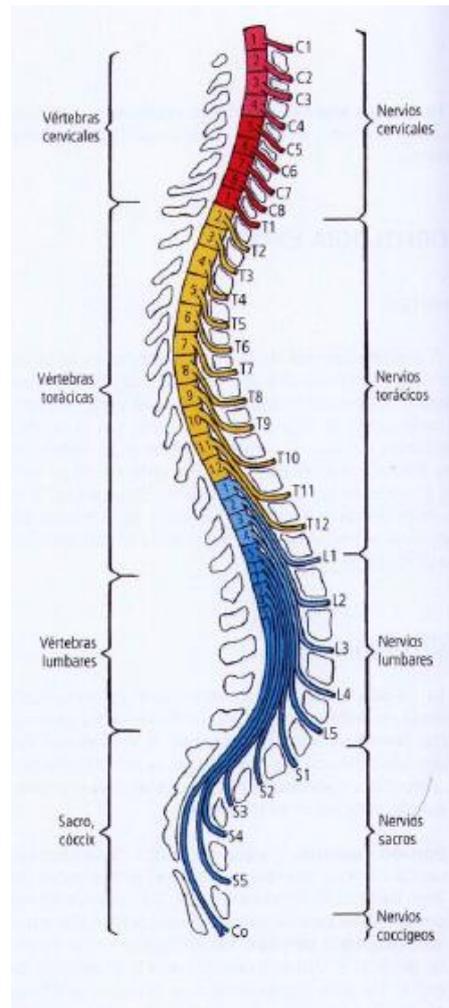


Fig. 1. nervios espinales²⁷

III. d. FISIOPATOLOGIA DE LESIÓN MEDULAR:

Lesión primaria:

Existen cuatro mecanismos de lesión primaria:

- impacto más compresión persistente.
- impacto con compresión transitoria.
- distracción
- laceración-transección.

Estos mecanismos no se presentan por separado, generalmente se encuentran mezclados en el paciente con lesión medular²⁸.

El trauma mecánico inicial tiende a dañar primordialmente la sustancia gris central, con relativa preservación de la sustancia blanca, especialmente la periferia. Se cree que esta mayor tendencia al daño de la sustancia gris se debe a una consistencia más blanda y una

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

mayor vascularización. Hay un desarrollo temprano de hemorragias dentro de la médula espinal y su flujo sanguíneo se altera posterior a la lesión mecánica inicial. La alteración del flujo sanguíneo produce infartos locales por hipoxia e isquemia. Esto es particularmente lesivo en la sustancia gris debido a sus altos requerimientos metabólicos. Las neuronas que se encuentran en el nivel de la lesión están físicamente destruidas y muestran una disminución en el espesor de la mielina. La transmisión nerviosa puede dañarse adicionalmente por micro hemorragias o edema cerca al sitio de la lesión. La sustancia gris se daña en forma irreversible dentro de la primera hora posterior al trauma, mientras que la sustancia blanca lo hace dentro de las primeras 72 horas.

Lesión secundaria: La lesión mecánica primaria funciona como un terreno abonado a partir del cual se extienden los mecanismos adicionales de lesión secundaria²⁹. Estos mecanismos se describen en las figura 2.

Choque neurogénico:

Dependiendo del nivel afectado, la lesión medular puede producir choque neurogénico. Se puede definir como la perfusión tisular inadecuada causada por la parálisis severa de la aferencia vasomotora con la consecuente alteración en el balance de las influencias vasodilatadoras y vasoconstrictoras a las arteriolas y vénulas. Se caracteriza por bradicardia e hipotensión con disminución de la resistencia periférica y compromiso del gasto cardíaco³⁰.

Lesiones vasculares:

La microcirculación, especialmente capilares y vénulas, se daña en el sitio de la lesión y en alguna extensión tanto rostral como caudalmente debido al trauma mecánico inicial. Este daño produce pequeñas áreas de hemorragias que progresan a necrosis hemorrágica con el tiempo.

Este estado de hipoperfusión puede anteceder a un periodo de hiperemia o “perfusión de lujo”, el cual parece originarse de una reducción del pH peri vascular por acumulación de metabolitos como el lactato. Tal re perfusión puede exacerbar la lesión y muerte celulares a través de la generación de radicales libres y otros productos tóxicos. Los radicales libres derivados del oxígeno (superóxido, radicales en hidroxilo y el óxido nítrico) y otros oxidantes de alta energía (peroxinitrito) se producen durante la isquemia con un marcado aumento durante el período de re perfusión temprana. Estos compuestos de nitrógeno y

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

de oxígeno altamente reactivos contribuyen al estrés oxidativo que empeora la lesión secundaria en la lesión medular³¹.

Excitotoxicidad:

La liberación y acumulación de neurotransmisores excitatorios parece producir un daño directo del parénquima de la médula espinal, adicional al daño indirecto producido por los radicales libres de oxígeno y nitrógeno, por los cambios en la microcirculación y por la isquemia secundaria.

Posterior a la lesión hay una liberación excesiva de glutamato, el principal neurotransmisor excitatorio del sistema nervioso central, y su acumulación genera daño. Además, el calcio intracelular aumenta, en parte por la activación del intercambiador sodio-calcio, produciendo graves alteraciones y daño en la fisiología. De hecho, la acumulación intracelular de calcio se ha considerado como “la vía final común de la muerte celular tóxica”³².

Lesión secundaria mediada por calcio y alteraciones hidroelectrolíticas:

Las altas concentraciones de calcio intracelular contribuyen a la lesión secundaria a través de varios mecanismos. Uno de estos establece interferencia con el funcionamiento de la mitocondria. Esta interferencia inhibe la respiración celular, la cual ya está alterada por la hipoxia y la isquemia secundaria a la lesión inicial. El incremento del calcio intracelular también estimula un complejo de proteasas y lipasas tales como calpainas, fosfolipasa A2, lipoxigenasa y cicloxigenasa. Las calpainas pueden degradar constituyentes estructurales importantes en el sistema nervioso central como proteínas de la unidad axón-mielina. Además, otras proteasas y quinasas dependientes de calcio destruyen las membranas de las células y llevan a la disolución de ciertos componentes de la ultra estructura celular como los neurofilamentos.

El aumento del potasio extracelular produce una excesiva despolarización de las neuronas, lo que afecta adversamente la conducción nerviosa y es, de hecho, el factor crítico que subyace al choque medular. La depleción del magnesio puede contribuir además a la acumulación de calcio intracelular y a las alteraciones patológicas que se desarrollan en consecuencia³³.

Lesión secundaria de tipo inmunológico:

Existe una respuesta bifásica de los leucocitos después de una lesión medular. Inicialmente, predomina una infiltración de neutrófilos. La liberación subsecuente de

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

enzimas líticas por estos leucocitos puede empeorar la lesión de las neuronas, la glía y los vasos sanguíneos. La segunda fase comprende el reclutamiento y la migración de macrófagos, los cuales fagocitan el tejido dañado.

También se ha postulado que las mencionadas fases de la infiltración leucocitaria (y los procesos fisiopatológicos que la acompañan) contribuyen a la desmielinización de los axones sobrevivientes dentro de las primeras 24 horas después de la lesión primaria, y que este daño tiene un pico que puede durar varios días³⁴.

Apoptosis:

La apoptosis puede ser iniciada por citoquinas, lesiones inflamatorias, daños por radicales libres, excitotoxicidad, y su existencia después de la lesión medular no tiene duda.

En la lesión medular, la cascada apoptótica se inicia en neuronas, oligodendrocitos, microglía y quizás en astrocitos³⁵.

Papel de la mitocondria en la lesión secundaria:

En condiciones normales, las mitocondrias son críticas en el metabolismo cerebral y en el mantenimiento de la homeostasis celular del calcio. El trauma del sistema nervioso central altera la habilidad de la mitocondria para llevar a cabo la respiración celular y la fosforilación oxidativa; también dificulta la captación de calcio dependiente de la respiración por medio de la inhibición de su transporte mitocondrial y altera la homeostasis intracelular del calcio³⁶.

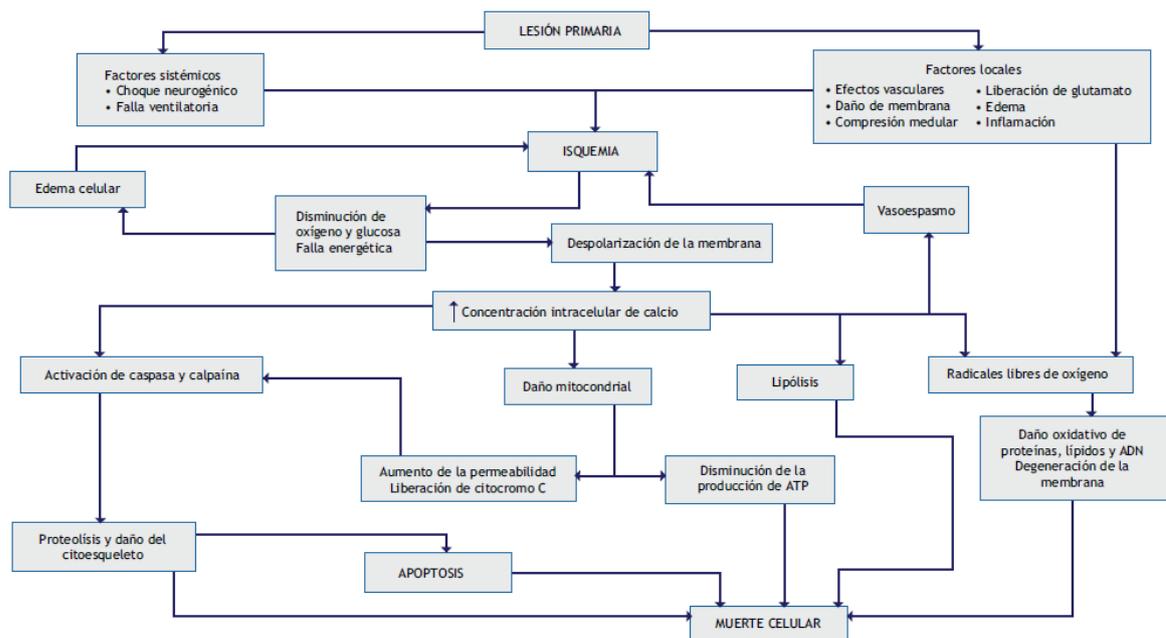


Fig. 2. Fisiopatología de la muerte celular³⁷

III. e. NIVEL DE LESIÓN:

Los estándares internacionales para la clasificación neurológica y funcional de la lesión medular consisten en un sistema de clasificación ampliamente aceptado que describe tanto el nivel como el grado de la lesión basándose en una exploración neurológica de la función motora y sensitiva sistemática. Esta clasificación se conoce como la Escala de Medición de la Discapacidad de la Asociación Americana de Lesión Medular (ASIA), o Escala de ASIA. Fue aprobada inicialmente por la Sociedad Médica Internacional de Paraplejía (IMSOP) en el año 1992. Posteriormente fue revisada en el año 1996, en el año 2000 y, la última, en el año 2006. La exploración para la clasificación neurológica y funcional tiene dos componentes (sensitivo y motor), cada uno de los cuales se evalúa por separado siempre en decúbito supino. Cuando el paciente no puede ser valorado por completo por cualquier razón (por ejemplo, por una fractura) el punto sensitivo o músculo clave que no puede ser valorado debe registrarse como NT (No Testable). Es importante mencionar que esta escala permite el registro de elementos necesarios y opcionales. Para completar el formato de registro de la Escala de ASIA es necesario evaluar la función motora en 10 miotomas desde C5 hasta T1 y a partir de L2 hasta S1 y de la función sensitiva en los 28 dermatomas desde C2 hasta S5. Esta exploración se realiza de forma sistemática siempre a ambos lados del cuerpo. Con respecto a los registros necesarios de la función sensitiva, se exploran dos aspectos de la sensibilidad: la sensibilidad al pinchazo y la sensibilidad ligera. La apreciación del pinchazo, o tacto ligero, en cada uno de los puntos clave se califica separadamente en una escala de tres puntos³⁸.

Medición de la sensibilidad de acuerdo con la escala de ASIA: 0 Ausente, 1 Dañada (apreciación parcial o alterada, incluyendo hiperestesia) ,2 Normal, NT No Testeable.

Para la evaluación de la función motora, el registro necesario requiere la exploración de la fuerza del músculo clave derecho e izquierdo que corresponda a cada uno de los diez miotomas mencionados. Cada músculo clave debe evaluarse en una secuencia craneocaudal. La fuerza muscular se gradúa según una escala de seis puntos:

0-Parálisis total.

1-Constricción visible o palpable

2-Movimiento activo, completando el arco de movilidad, eliminando la fuerza de gravedad.

3-Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra la fuerza de gravedad.

4-Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra una resistencia moderada.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

5-Movimiento activo, completando el arco de movilidad contra resistencia total.

NT-No Testeable.

Además de la valoración de la función motora y sensitiva es imprescindible la realización de un tacto rectal para comprobar la función motora o la sensación en la unión mucocutánea de la región anal. La presencia de cualquiera de éstas puede significar una preservación de la “función” sacra; con lo cual, la lesión sería incompleta³⁹.

Músculos claves para la evaluación:

- C5- Flexores de codo.
- C6- extensores de muñeca.
- C7-extensores de codo.
- C8- flexores de los dedos.
- T1-abductores de los dedos.
- L2-flexores de cadera.
- L3-extensores de rodilla.
- L4-dorsiflexión.
- L5-extensores del hallux del pie.
- S1-flexión plantar⁴⁰.

Hay tres tipos de niveles que nos van a orientar a clasificar la lesión medular:

Nivel neurológico: Segmento más caudal con sensibilidad intacta y con fuerza muscular ≥ 3 .

Nivel sensitivo: Nivel más caudal con un dermatoma intacto tanto en la prueba de pinchazo como de tacto. Se hace según el mapa sensitivo.

Nivel motor: Función muscular clave más caudal con un grado ≥ 3 , teniendo en cuenta que el miotoma que está por encima tiene que ser grado 5. En las regiones donde no hay miotoma para evaluar, se afirma como nivel motor al mismo que tiene el nivel sensitivo, si la función motora evaluada por encima de ese nivel también es normal.

Desde el punto de vista funcional, cuanto más alto sea el nivel de lesión mayor será el compromiso de la funcionalidad⁴¹.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

ESCALA DE ASIA

A=COMPLETA: No hay función motora ni sensitiva en los segmentos sacros S4-S5.

B=INCOMPLETA: La sensibilidad es preservada debajo del nivel neurológico, incluyendo los segmentos sacros S4-S5, pero no hay función motora preservada más de tres niveles por debajo del nivel motor en cualquier lado del cuerpo.

C=INCOMPLETA: La función motora se conserva en los segmentos sacros más caudales para la contracción anal voluntaria, O el paciente cumple los criterios de lesión tipo “B” y tiene algo de función motora más de tres niveles por debajo del nivel motor ipsilateral a cada lado del cuerpo.

(Esto incluye funciones musculares clave o no clave para determinar que sea tipo C.) Para tipo C: menos de la mitad de las funciones musculares clave por debajo del nivel neurológico tienen un grado muscular ≥ 3 .

D-INCOMPLETA: Al menos la mitad de las funciones musculares claves por debajo del nivel neurológico son grado ≥ 3 .

E-NORMAL: función motora y sensitiva conservada en todos los segmentos⁴².

The figure shows the ASIA Impairment Scale (AIS) form. It includes a central human figure with key sensory points marked. The form is divided into sections for the right and left sides, each with columns for Motor Key Muscles, Sensory Key Sensory Points (Light Touch and Pin Prick), and Motor Key Muscles. Below the figure are tables for recording data, including Motor Subcores, Sensory Subcores, and Neurological Levels. The form also includes a section for the Zone of Partial Preservation (ZPP) and the ASIA Impairment Scale (AIS).

Fig. 3. Escala de ASIA⁴³.

III. f. INTEGRIDAD DE LA MEDULA:

También influye de manera muy determinante en el cuadro clínico la extensión transversal de la lesión, en el sentido que es muy diferente una lesión completa (de toda la sección de la médula) o incompleta (algunas o muchas de las vías nerviosas están preservadas). En las secciones medulares completas están afectadas la sensibilidad, las funciones motoras, reflejas y de los esfínteres en su totalidad. Por su parte, las lesiones medulares incompletas admiten una gran variedad de formas clínicas⁴⁴.

Dentro de las lesiones incompletas se encuentran:

Síndrome medular central: Es el más frecuente. Presenta destrucción de la materia gris central preservando los haces espino-talámicos y cortico espinales sacros. Genera cuadriplejia (miembros superiores más afectados que los inferiores), disfunción de vejiga (con retención urinaria) y distintos grados de pérdida de sensibilidad bajo el nivel de lesión. La recuperación funcional es favorable, siempre que estén presentes en el paciente factores como: buena funcionalidad de la mano, recuperación temprana motora, edad joven, ausencia de espasticidad, mayor puntuación en “Barthel Modificado” en la admisión, ausencia de disfunción en las extremidades inferiores tanto motora y ganancia de fuerza tanto de las extremidades superiores como inferiores durante la rehabilitación.

Síndrome medular anterior: Los 2/3 anteriores de la columna se encuentran afectados, mientras que los cordones posteriores no están afectados. Presenta un déficit motor completo, conservando solo la sensibilidad profunda en las extremidades inferiores. Completa parálisis, con hiperestesia e hipoalgesia por debajo del nivel de lesión. El pronóstico es pobre; tan solo de entre un 10% al 20% tienen posibilidad de recuperar, presentando poca fuerza muscular y coordinación.

Síndrome medular posterior: Raro, representando menos de un 1% del total de lesiones medulares traumáticas. Únicamente tiene afectados los cordones posteriores. Déficit de sensibilidad profunda. No compromete la funcionalidad, por lo que es posible la marcha independiente.

Síndrome de Brown-Sequard: Es también de muy baja frecuencia. Se debe a una hemisección medular. Cursa con un déficit propioceptivo y motor ipsilateral y sensitivo al dolor y temperatura contralateral debajo del nivel de lesión. También puede presentar relativa hemiplejia ipsilateral y relativa hemianalgesia contralateral, que es conocido como

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Brown Sequard síndrome plus. Entre un 75% y 90% de pacientes son capaces de deambular independientemente tras ser dados de alta.

Síndrome radicular: Es frecuente. Se debe a una lesión aislada o de la cola de caballo. Presenta déficit motor y sensitivo según distribución de dermatomas. A esto se le suma: anestesia en silla de montar, vejiga e intestino arrefléxico, variable grado de debilidad de las extremidades inferiores⁴⁵.

III. g. ANATOMÍA MUSCULAR:

Cada músculo del cuerpo es inervado por un nervio que contiene células nerviosas motoras, sensoriales y simpáticas, que se utilizan para proporcionar movimiento, sensibilidad y control del sistema nervioso autónomo, respectivamente. Las células nerviosas que controlan el movimiento se denominan neuronas motoras y se pueden dividir en neuronas motoras superiores y neuronas motoras inferiores. Las superiores transportan información motora del cerebro a la médula espinal, mientras que las inferiores se ramifican desde la médula espinal para transportar la información motora a los diferentes músculos⁴⁶.

Los principales músculos de la respiración son los abdominales, intercostales y diafragma.

Músculos intercostales: Ocupan el espacio intercostocondral, limitado atrás por la articulación costotransversa, adelante por el esternón (para los seis primeros espacios) y el cartilago costal común (para los cuatro espacios siguientes). Formaciones membranosas limitan por delante los dos últimos espacios comprendidos debajo de la 10ª costilla relacionados con las costillas flotantes. Para cada espacio se describe un músculo intercostal externo, un músculo intercostal interno y un músculo intercostal íntimo⁴⁷.

Musculo intercostal externo: Ocupa el plano externo. Se inserta en los bordes inferior y superior de las costillas suprayacentes y subyacentes. Sus fibras son oblicuas de arriba hacia abajo y de atrás hacia adelante. Delgado y aplanado, se extiende desde la articulación costotransversa, parte posterior del espacio, hasta la proximidad de la articulación condrocostal, adelante⁴⁸.

Musculo intercostal interno: Ocupa plano medio. Se inserta en los bordes superior e inferior de las costillas y de los cartílagos suprayacentes y subyacentes por dentro del musculo externo. Sus fibras son oblicuas de arriba hacia abajo y de adelante hacia atrás. Ocupa solamente la parte anterior del espacio desde la línea axilar media al esternón⁴⁹.

Musculo intercostal íntimo: ocupa el plano profundo. Se inserta en el borde medial del surco costal por arriba y en el borde superior de la costilla subyacente. Está situado por dentro

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

del musculo intercostal externo atrás, y del intercostal interno adelante. Sus fibras son oblicuas abajo y atrás. Se extiende desde la vecinidad de la articulación condroesternal por delante, al ángulo costal posterior por detrás⁵⁰.

Diafragma: Es un músculo plano, ancho y delgado, que forma un tabique entre el tórax y el abdomen. Tiene la forma de una cúpula con convexidad superior torácica. Se inserta en la circunferencia inferior del tórax y está escotado atrás por la saliente de la columna vertebral toracolumbar. Presenta en su centro una formación tendinosa, el centro tendinoso, este es el punto más elevado, de donde parten fibras musculares radialmente hacia el contorno del orificio inferior del tórax y se van a insertar en la cara interna de los cartílagos costales, los vértices de las últimas costillas, cara posterior del apéndice xifoideo y en la columna lumbar. Esta inervado por el nervio frénico del plexo cervical⁵¹.

MUSCULOS ABDOMINALES: Son estructuras que cierran la cavidad abdominal por delante y a los lados. Se distinguen de cada lado: los músculos recto del abdomen y piramidal, que son longitudinales; los músculos oblicuos externos, oblicuos internos y transversos del abdomen, que son músculos anchos⁵².

Recto del abdomen (figura 4): Es un músculo acintado, situado anteriormente, lateral a la línea mediana, extendido desde la parte anteroinferior del tórax hasta el pubis.

La inserción superior del recto del abdomen se divide en tres lengüetas que se fijan de esta manera: la lengüeta lateral es la más alta y la más ancha de las tres y se fija en el borde inferior del 5° cartílago costal; la lengüeta media, en el borde inferior del 6° cartílago; la lengüeta medial, en el borde inferior del 7° cartílago costal. y llega hasta la apófisis xifoides.

De estas inserciones, las fibras musculares orientadas de arriba hacia abajo forman un músculo que se estrecha a medida que desciende hacia el pubis. Las fibras musculares, de trecho en trecho, se encuentran interrumpidas por intersecciones tendinosas. En número de tres o cuatro, una a la altura del ombligo, dos más arriba y una por debajo del ombligo.

Su inserción inferior se halla sobre el cuerpo del pubis, entre la espina y la sínfisis, en la vertiente anterior de la parte superior y en la cara anterior del pubis. El músculo dispone aquí de un tendón plano y cuadrilátero, bastante corto⁵³.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

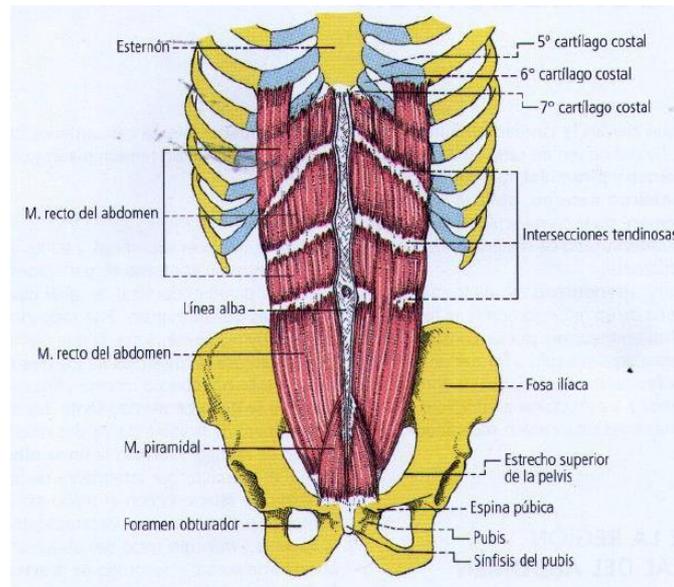


Fig. 4. Vista anterior de recto del abdomen⁵⁴.

Oblicuo externo del abdomen (fig. 5)

Arriba: se origina en la cara lateral externa, en el borde inferior de las siete u ocho últimas costillas, por digitaciones cuyo conjunto dibuja una línea dentada, orientada de arriba hacia abajo, de adelante hacia atrás y lateralmente, que se entrecruzan con las digitaciones de los músculos serrato anterior y dorsal ancho. Abajo: el músculo oblicuo externo se expande en abanico y se dirige a la vez hacia abajo. Adelante y medialmente: Los fascículos superiores son horizontales, los fascículos inferiores y posteriores son verticales y los fascículos medios son oblicuos. Las inserciones terminales se realizan mediante una hoja tendinosa de inserción, la aponeurosis del músculo oblicuo externo, que se fija: Adelante: en el borde lateral de la vaina de los músculos rectos del abdomen, adhiere firmemente a la hoja anterior de división de la aponeurosis del músculo oblicuo interno, excepto en la parte inferior vecina al pubis. Donde simplemente se aplica a ella hasta la línea media. La aponeurosis de inserción del músculo oblicuo externo contribuye a formar la capa anterior de la vaina del músculo recto del abdomen. En la línea media, sus fibras terminan entrecruzándose con las fibras del músculo oblicuo externo del lado opuesto y contribuyen a formar, junto con las otras aponeurosis de inserción de los músculos anchos, la línea alba, extendida desde la apófisis xifoides hasta la sínfisis del pubis. Abajo: el extremo inferior de la aponeurosis del oblicuo externo constituye estructuras de inserción medial a nivel del pubis, y otras ubicadas más lateralmente, formando el ligamento inguinal. Por

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

último, y en una ubicación más lateral, sus fibras musculares se insertan en la cresta ilíaca⁵⁵.

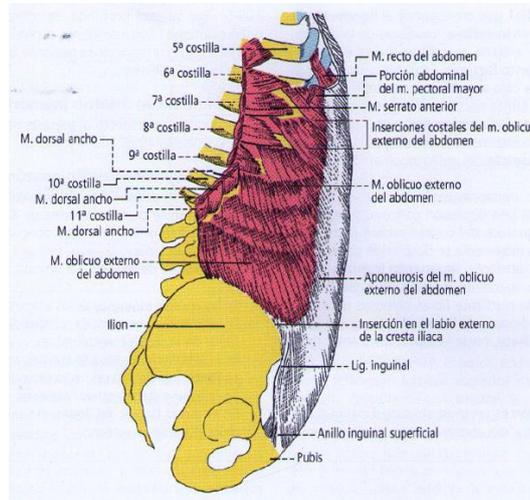


Fig. 5. *musculo oblicuo externo del abdomen. Vista lateral*⁵⁶.

Músculo oblicuo interno del abdomen:

Profundo con respecto al precedente, ocupa como él el espacio iliocostal. La dirección de las fibras del músculo oblicuo interno del abdomen se cruza en forma de X con las del músculo oblicuo externo. Sus fibras son oblicuas hacia arriba, adelante y medialmente.

Inserciones de origen. Se ubican:

- En las apófisis espinosas de las últimas vértebras lumbares.
- En una hoja aponeurótica, confundida con la hoja posterior de la fascia toracolumbar.
- En el intersticio de los tres cuartos anteriores de la cresta ilíaca por dentro del músculo oblicuo externo.
- En la espina ilíaca anterior superior.
- En el tercio lateral del ligamento inguinal, profunda al músculo oblicuo externo.

Inserciones terminales. Se extienden desde la 12ª costilla, pasando por la línea alba hasta el pubis⁵⁷.

III. h. FUNCIÓN RESPIRATORIA:

La respiración proporciona oxígeno al cuerpo y elimina el dióxido de carbono. Como el aire naturalmente reside en el área de menor presión, los músculos respiratorios se utilizan para aumentar o disminuir la presión alrededor de los pulmones, llamada presión intratorácica. La disminución de la presión intratorácica a una presión más baja que la que está fuera del cuerpo hace que el aire ingrese hacia los pulmones, un proceso llamado inhalación. Un aumento en la presión intratorácica a una presión mayor que la que está fuera del cuerpo hace que el aire fluya fuera de los pulmones, un proceso llamado exhalación.

Dos parámetros comunes de la respiración son la respiración relajada y la tos. La tos se usa para despejar las vías respiratorias, y la respiración estaría dada durante un ciclo respiratorio normal. Para generar la potencia necesaria para despejar las vías respiratorias, la tos tiene una mayor tasa de flujo espiratorio máximo que una respiración relajada⁵⁸.

El aire atmosférico ingresa por las vías de conducción hasta la unidad funcional respiratoria, es decir, hasta los alveolos que son los encargados del intercambio gaseoso con el capilar pulmonar, donde la sangre con una alta concentración de oxígeno y baja de dióxido de carbono es impulsada hacia todas las células corporales, opuesta a la concentración de gases de la sangre que regresa los capilares pulmonares provenientes de los tejidos del cuerpo. El ingreso del aire se produce por la contracción de los músculos inspiratorios que generan gradiente de presión y facilitan la entrada a través del árbol bronquial hasta la unidad alveolo-capilar, donde se produce el intercambio de gases entrando oxígeno y saliendo dióxido de carbono⁵⁹.

Los músculos del tórax son referidos como inspiratorios y espiratorios. Estos músculos presentan un diámetro de fibra pequeño y una alta resistencia a la fatiga. Estos trabajan principalmente contra resistencia, ya que deben vencer la elasticidad de la caja torácica dada por los cartílagos costales, la resistencia elástica pulmonar, la fuerza de gravedad y el contenido abdominal. Si la respiración es tranquila solo se utilizan los músculos principales, si es forzada se necesitan también los músculos accesorios⁶⁰.

Los principales músculos inspiratorios son el diafragma y los intercostales externos, los cuales promueven el incremento de los diámetros torácicos durante su acción tranquila. Entre los músculos accesorios de la inspiración se encuentran los escalenos que estabilizan y elevan la reja costal, los esternocleidomastoideos, que elevan el esternón, los elevadores costales o supracostales, los pectorales y los serratos mayores y menores, los cuales participan en la inspiración forzada⁶¹.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

El diafragma esta inervado por los nervios frénicos, raíces C3 a C5, que le confiere tanto la inervación sensitiva como motora. Es el principal musculo ventilatorio, responsable de movilizar el 80 % del volumen de aire inspirado. Su forma de cúpula, cuya porción central es el tendón carente de inserción ósea, del cual emergen radialmente sus fibras musculares, que se originan en la cara visceral del extremo inferior del esternón, cartílagos costales y costillas, así como en la cara anterior de los tres primeros cuerpos vertebrales lumbares, le permiten desarrollar su particular acción mecánica⁶².

Cuando el diafragma se contrae, su tendón central desciende por la tracción ejercida por el acortamiento de las fibras musculares que tiende a aplanar la convexidad de las dos cúpulas diafragmáticas (derecha e izquierda). Este descenso genera que aumente el tamaño y volumen de la cavidad torácica, disminuyendo la presión intratorácica y facilitando el ingreso de aire a los pulmones. Una vez que se ve limitado por el contenido visceral abdominal, invierte la dirección de su contracción, el tendón central tracciona en dirección superior a través de sus fibras musculares los puntos de origen y promueve la elevación de estas estructuras y el incremento de los diámetros torácicos⁶³.

La espiración tranquila es una acción netamente pasiva que no requiere de acción muscular para realizarla, se genera por la respuesta elástica de la caja torácica y de los pulmones, seguidamente se genera una diferencia de presiones, promovida por el incremento de la presión intraabdominal que junto con la relajación de los músculos inspiratorios, facilita su ascenso y genera un incremento de la presión intratorácica que fuerza la salida del aire pulmonar.

Entre los músculos espiratorios usados durante la espiración forzada encontramos: intercostales internos, recto mayor del abdomen, oblicuo externo e interno, y el transverso del abdomen, los cuales descienden la reja costal y comprimen el abdomen, promoviendo el ascenso diafragmático para forzar la salida del aire⁶⁴.

Dentro de la espiración también se encuentra la tos, es un reflejo protector destinado a eliminar de las vías aéreas las secreciones, los cuerpos extraños o las sustancias irritantes. Se produce por estimulación de los receptores de irritación ubicados en la faringe, laringe, tráquea o los bronquios. En personas con lesión medular que tienen comprometidos los músculos abdominales, el mecanismo de la tos se ve afectado⁶⁵.

Mecanismo del acto de la tos:

El mecanismo normal de la tos es una insuflación máxima de los pulmones con un cierre glótico, lo que produce un aumento de la presión intratorácica. Luego en una segunda fase

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

se contraen los músculos espiratorios y una apertura brusca de la glotis, lo que lleva a la expulsión del aire, aumentando la velocidad del flujo espiratorio.

La tos consta de tres etapas:

- 1ª fase: preparatoria: inspiración máxima hasta los límites del volumen de reserva inspiratoria.

- 2ª fase: apnea:

-El aumento de la presión intratorácica produce una invaginación de las paredes fibrocartilaginosas de las vías aéreas inferiores, siendo de este modo más fácil arrastrar las secreciones hacia el exterior, ya que al disminuir su diámetro se genera un flujo turbulento en las mismas.

-El cierre de la glotis junto con la contracción de los músculos espiratorios generan el aumento de la presión en el interior del tórax.

- 3ª fase: expulsión:

-Se produce una apertura repentina de la glotis, lo que causa la liberación del aire en forma brusca y la expulsión de secreciones.

El transporte del flujo aéreo espiratorio depende principalmente de la velocidad del flujo, del diámetro de la vía aérea, y de la presión creada por los músculos espiratorios en las vías aéreas. El moco es transportado especialmente por la velocidad del flujo, que es mayor a 1 m/s. El diámetro total de la vía aérea depende de la generación bronquial y de la compresión dinámica de la vía aérea durante la espiración.

La espiración forzada puede hacerse con la tos o con el Huff (espiración a flujo muy alto con glotis abierta). Un golpe de tos cierra la glotis, luego de una contracción isométrica de los músculos espiratorios, con aumento de la presión intratorácica, más la repentina apertura de la glotis crea un brusco flujo de aire espiratorio. Un Huff se inicia con la glotis abierta, y la glotis permanece así durante todo el ciclo ventilatorio, este requiere una rápida contracción dinámica de los músculos espiratorios.

El moco es la primera línea de defensa contra la inhalación de polvo, microbios y alérgenos, desechos, bacterias, virus que dañan el epitelio. Este es un gel viscoelástico que forma una película sobre la superficie de la vía aérea. En contraste, en condiciones clínicas asociadas al aumento de moco, este cambia de rol protector a uno que contribuye a las enfermedades respiratorias.

El moco es una solución acuosa de lípidos, glicoconjugados y proteínas.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Consta de una capa sol que lubrica las cilias, y la capa gel que atrapa partículas y son llevadas hacia las cilias. Las partículas inhaladas son atrapadas en una capa de gel pegajoso y son removidas de las vías respiratorias (proceso llamado limpieza muco ciliar)⁶⁶.

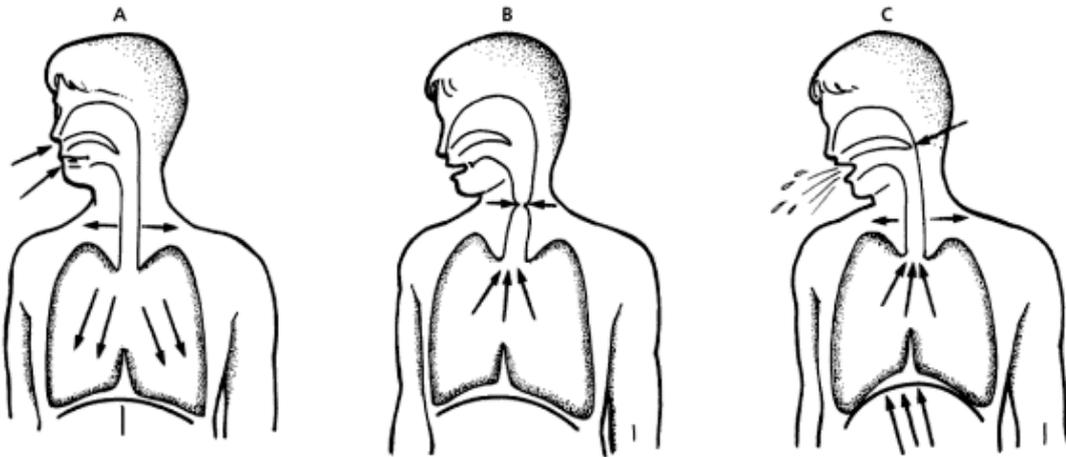


Fig. 6. A: Inspiración profunda. B: Cierre de glotis y contracción de los músculos espiratorios. C: Apertura brusca de glotis⁶⁷.

III. i. MEDICIONES DE LA FUNCIÓN RESPIRATORIA:

Los principales se enumeran a continuación:

El volumen de aire exhalado en cada respiración normal se denomina Volumen corriente (VT), y se mide en litros (L)⁶⁸.

Pico flujo de tos (PFT) es la máxima velocidad con la que se puede espirar el aire durante la tos. El pico flujo espiratorio (PFE) es la máxima velocidad con la que se puede espirar el aire durante una espiración forzada. Tanto el PFE como el PFT se miden durante la exhalación, se pueden usar para indicar la fuerza de los músculos espiratorios. La presión espiratoria máxima (MEP) es la presión máxima generada en la boca cuando se exhala de la capacidad pulmonar total con la mayor fuerza posible contra una vía aérea ocluida y, por lo tanto, también se puede utilizar para medir la fuerza de los músculos espiratorios. La capacidad vital (VC), el volumen total de aire exhalado después de la inhalación hasta la capacidad pulmonar total con exhalación pasiva, y la capacidad vital forzada (CVF) es el volumen total de aire exhalado después de inhalar hasta la capacidad pulmonar total y exhalar con la mayor fuerza posible, puede ser utilizado para evaluar la fuerza de los músculos inspiratorios y los músculos espiratorios. Estas medidas están estrechamente relacionadas, con la única diferencia es el menor nivel de esfuerzo ejercido durante la exhalación. Cuando se mide CVF, el volumen espirado forzado en 1 segundo (VEF1), que es el volumen de aire que puede exhalarse desde los pulmones en el primer segundo de

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

una exhalación forzada, también se puede medir para proporcionar una indicación de la fuerza de los músculos espiratorios⁶⁹.

Pruebas diagnósticas:

Las pruebas diagnósticas corresponden al conjunto de actividades que requieren apoyo tecnológico para proporcionar información sobre el funcionamiento pulmonar. Son la toma y la interpretación de la gasometría arterial, las pruebas de función pulmonar y las radiografías de tórax. Más adelante solo profundizaremos sobre las pruebas de función pulmonar, estas permiten valorar los factores que alteran el movimiento del gas hacia los pulmones y desde ellos. Existen tres métodos comunes para examinar la función pulmonar: espirometría, curva-flujo volumen y flujo pico espiratorio⁷⁰.

Espirometría:

Es el registro gráfico del aire espirado con un esfuerzo máximo después de realizar una inspiración profunda. Esta prueba grafica una curva de volumen (en litros) versus tiempo (en segundos) y determina deficiencias funcionales del pulmón de tipo obstructivo y restrictivo. La espirometría muestra índices como el VEF1. Su valor normal es mayor del 75%.

La CVF se expresa en litros y debe ser mayor al VEF1 de la capacidad vital.

Cuando disminuye el VEF1, con relación a la CVF se conoce como disfunción obstructiva, generadas por obstrucción de las vías aéreas. Cuando la relación VEF1/CVF es de 60%-75% la obstrucción es leve, de 40%- 60% es moderada y menor de 40% es grave.

Cuando se disminuyen el VEF1 y la CVF con un incremento en la relación VEF1/CVF la deficiencia es restrictiva y generalmente se presenta debilidad muscular y deficiencias estructurales de la reja costal⁷¹.

Curva flujo volumen:

Registra la velocidad de salida del aire a los diferentes volúmenes del pulmón, en una gráfica que muestra el flujo del aire inspirado en el eje vertical contra el volumen espirado en el eje horizontal.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

La maniobra consiste en hacer una inspiración máxima y espirar con la mayor fuerza y velocidad posibles hasta que deje salir el aire. Además del VEF1 y la CVF toma otros índices como:

- 1- Flujo espiratorio máximo (FEM): es el punto más alto de la curva y depende de la fuerza de los músculos accesorios espiratorios y de la permeabilidad de la vía aérea.
- 2- Flujo inspiratorio máximo (FIM): es el punto más bajo de la curva, depende de la fuerza de los músculos inspiratorios y de la permeabilidad de la vía aérea.
- 3- Flujo medio espiratorio forzado (FEF 25-75 %) es el promedio de los flujos espiratorios que se encuentran en la porción media de la espiración.
- 4- Flujo pico espiratorio: el paciente realiza una inspiración profunda y luego una espiración forzada que marca la velocidad del flujo espirado⁷².

III. j. FUNCIÓN RESPIRATORIA EN LESIÓN MEDULAR CERVICAL:

El diafragma está inervado por el nervio frénico, que se origina en la médula espinal de C3 a C5. Los músculos intercostales están inervados por los nervios intercostales, que se originan en la médula espinal de T1 a T11, y los músculos abdominales están inervados por los nervios toracoabdominales, que se originan en la médula espinal de T7 a T11. Las personas con tetraplejía completa motora habrán paralizado los músculos intercostales y abdominales. Si el nivel neurológico de la lesión es C3, C4 o C5, tendrán una función de diafragma deteriorada. Si el nivel neurológico de la lesión es C1 o C2, no tendrán función del diafragma y no podrán respirar de forma independiente. El daño a los nervios frénico, intercostal o toracoabdominal daría como resultado la incapacidad de activar el diafragma, los músculos intercostales o abdominales, respectivamente. El nivel de la lesión medular es un importante predictor de la función respiratoria del paciente y de las posibles complicaciones que puede presentar. Así, los pacientes que presentan daño a nivel de la sexta vértebra cervical o inferior a ésta, en general, no presentan mayores problemas respiratorios pues preservan una buena función muscular y del diafragma. En cambio, aquellos con lesión a nivel de la quinta vértebra cervical presentan problemas en el manejo de las secreciones, y los que presentan lesión en la cuarta vértebra cervical sólo algunos logran mantener la ventilación espontánea. Los pacientes con lesiones medulares más altas son siempre dependientes, tanto en su mecánica ventilatoria como en el manejo de sus secreciones⁷³.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Las complicaciones respiratorias son frecuentes en las personas con daño medular, más aún en los pacientes tetraplégicos. El término abarca una enorme variedad de patologías que incluyen infecciones respiratorias, problemas de ventilación y hasta tromboembolismo pulmonar y apnea del sueño⁷⁴.

En las lesiones medulares cervicales se afectan los procesos de inspiración y espiración, al producirse parálisis o paresia en los músculos primarios o accesorios que intervienen en esta función. Como consecuencia del daño, las personas afectadas tienen una disminución en los volúmenes y capacidades pulmonares: capacidad vital forzada (CVF), flujo pico espiratorio (FPE) y volumen de aire espirado en el primer segundo (VEF1). La espiración resulta habitualmente una actividad pasiva que se produce por la elasticidad de los elementos que integran la caja torácica, la tos necesita de un trabajo activo, por este motivo esta última tendrá un deterioro⁷⁵.

La importancia de la sospecha de estas complicaciones radica en que este grupo de enfermedades son en conjunto, la principal causa de muerte, tanto en el período agudo como crónico, en los pacientes con lesión medular. De las complicaciones respiratorias, la que ocupa el primer lugar en morbilidad es la neumonía.

Es por esto que las principales complicaciones respiratorias que se observan en ellos son la acumulación de secreciones bronquiales, la presencia de atelectasias y la hipoventilación. Estas a su vez favorecen las infecciones respiratorias a repetición y la insuficiencia respiratoria⁷⁶.

La insuficiencia respiratoria es una situación caracterizada por la incapacidad del aparato respiratorio para mantener un intercambio gaseoso correcto. Su diagnóstico se realiza mediante gasometría arterial que muestra una PaO₂ menor de 60 mm Hg y una PaCO₂ igual o mayor a 45 mm Hg respirando aire ambiente⁷⁷.

Se postula que los pacientes con daño medular están más propensos a presentar este tipo de complicaciones, principalmente por debilidad de los músculos intercostales y abdominales, junto con disfunción parcial o total del diafragma. En la etapa de shock medular se produce insuficiencia respiratoria, atelectasias y neumonías; en la fase de automatismo hay disminución de la respuesta tusígena y del flujo espiratorio máximo, fatiga de la musculatura respiratoria y problemas con el manejo de las secreciones; y, por último, en el período de cronicidad pueden estar presentes cualquiera de las patologías antes mencionadas donde la capacidad vital forzada está disminuida y la capacidad pulmonar total tiende a preservarse hasta bien avanzada la enfermedad⁷⁸.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

La respiración y el reflejo de la tos requieren de la acción coordinada del diafragma, de los músculos intercostales, de los músculos accesorios de la respiración y de la musculatura abdominal. Cualquier lesión por encima de T12 interrumpe la inervación de alguno o todos estos músculos. De acuerdo al nivel de lesión y, por lo tanto, al nivel de afectación de los músculos respiratorios, la alteración de la función respiratoria puede variar desde la dificultad para el manejo de secreciones hasta la incapacidad para respirar. Las alteraciones más graves del aparato respiratorio se presentan con mayor frecuencia cuando la lesión ocurre en niveles altos, principalmente a nivel cervical. Pero también se afecta de manera importante con la lesión en los primeros niveles dorsales. La afectación más grave ocurre con lesiones por encima de C4; en las cuales el nervio frénico es incapaz de estimular al diafragma. A pesar de no ser tan graves las alteraciones respiratorias en los niveles dorsales medios y bajos, no debemos de olvidar que el patrón respiratorio en este grupo de lesionados medulares se ve afectado por la dificultad para la inspiración profunda y espiración forzada, debido a la alteración de la movilidad de los músculos accesorios de la respiración. En la mayoría de los casos, la capacidad de toser se ve limitada debido a la pérdida de la musculatura a nivel intercostal y abdominal. La pérdida de esta habilidad condiciona un aumento en la acumulación de secreciones y, con ello, un mayor riesgo de infecciones de las vías respiratorias⁷⁹.

Insuficiencia Respiratoria e Infección de las Vías Respiratorias:

Las complicaciones respiratorias son la causa más común de muerte tras la lesión medular. Estas complicaciones son resultado de la pérdida de la capacidad inspiratoria y espiratoria. La primera produce una hipoventilación pulmonar y favorece las atelectasias. La debilidad muscular favorece la fatiga que puede llevar al fallo respiratorio. Esta debilidad junto con la incapacidad para toser favorece la acumulación de secreciones, que dan lugar a más atelectasias, incrementando el riesgo de neumonía e insuficiencia respiratoria. Esto explica que hasta un 70% de los pacientes con una tetraplejía presenta infección de las vías respiratorias como complicación a la alteración que se presenta en el aparato respiratorio, siendo la neumonía una de las complicaciones que más se describen en estos pacientes junto con las atelectasias y la insuficiencia respiratoria. En los pacientes que requieren de respirador, el número de casos con atelectasias se incrementa.

Según lo descrito anteriormente, el manejo de pacientes dependientes de respirador es un reto para el equipo interdisciplinario desde el punto de vista físico, psicológico y social. Se debe educar al paciente y su familia, enseñando técnicas de autocuidado. Se ha demostrado que pacientes, a quienes se les enseñó adecuadamente sobre el cuidado

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

respiratorio, presentan menos complicaciones, requieren menos hospitalizaciones y tienen mejores resultados en general.

Como parte del cuidado integral del paciente, se debe insistir en una adecuada alimentación con una ingesta de líquidos que mantenga un balance hídrico que garantice la correcta humidificación de las mucosas. Para prevenir la acumulación de secreciones y las complicaciones derivadas de ésta, se debe realizar una fisioterapia respiratoria que incluya técnicas para favorecer la inspiración profunda, asistencia para toser, cambios posturales al menos cada 2h durante el día en paciente encamado, drenaje postural, terapia vibratoria o, en su defecto, palmo-percusiones y, siempre que la situación lo permita, se debe movilizar al paciente fuera de la cama. Se debe sugerir que el paciente evite el tabaco e insistir en la realización diaria de los ejercicios respiratorios⁸⁰.

Un estudio realizado por Krishblum y col. demostró que un 67% de los pacientes con lesión medular aguda sufrieron complicaciones respiratorias dentro del primer día post-lesión. Las complicaciones más comunes fueron tres: atelectasia (36,4%), neumonía (31.4%) y fallo respiratorio (22,6%)⁸¹.

III. k. NEUMONÍA ADQUIRIDA DE LA COMUNIDAD:

La neumonía adquirida en la comunidad (NAC) es una infección aguda del parénquima pulmonar que afecta a pacientes no hospitalizados y que se caracteriza por la aparición de fiebre y/o síntomas respiratorios, junto con la presencia de infiltrados pulmonares en la radiografía de tórax. El riesgo de NAC es mayor entre los pacientes con alteraciones en la eficacia de los mecanismos de defensa. *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Staphylococcus aureus*, *Mycoplasma pneumoniae*, *Chlamydia pneumoniae* y los virus son los principales agentes productores de NAC en adultos. La mayoría de los episodios son de etiología bacteriana, *Streptococcus pneumoniae* es el patógeno aislado con mayor frecuencia. El diagnóstico de NAC es clínico, los síntomas más frecuentes son taquipnea, disnea, tos, fiebre y dolor torácico. Ante la presencia de estos síntomas, acompañados o no por hallazgos patológicos en la auscultación pulmonar, se debe efectuar el diagnóstico presuntivo de NAC, el que será confirmado a través de la radiografía de tórax⁸².

III. l. ATELECTASIA:

El término atelectasia procede del griego atelez (imperfecto) y ektasiz (expansión), aludiendo al colapso, localizado o generalizado, del tejido pulmonar. Las atelectasias constituyen un proceso frecuente, consecuencia de diferentes trastornos pulmonares o extrapulmonares que producen colapso alveolar por obstrucción intrabronquial,

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

compresión extrínseca o disfunción del surfactante. Por lo tanto, no es una enfermedad en sí misma, sino la manifestación de diferentes entidades nosológicas.

La mayoría de las veces en el lesionado medular la atelectasia es por obstrucción bronquial intraluminal por tapón de moco.

Los signos y síntomas de las atelectasias son inespecíficos y de una gran variabilidad, dependiendo fundamentalmente de la enfermedad de base y la magnitud de la obstrucción o compresión que la produce. En la exploración física se debe sospechar atelectasia cuando se obstruye la vía aérea de gran calibre, dando lugar a una disminución en la movilidad de la pared torácica, matidez a la percusión y auscultación de ruidos respiratorios bronquiales patológicos, hipoventilación, sibilancias persistentes en una misma localización o aumento en la transmisión aérea de forma asimétrica⁸³.

III. m. ELECTROESTIMULACIÓN:

La electroestimulación consiste en la utilización de corriente eléctrica para inducir una contracción muscular y cambios sensoriales, reducir edema, acelerar procesos de reparación tisular, etc. Los efectos y las aplicaciones clínicas de las corrientes eléctricas varían en función de la forma de onda, intensidad, duración, dirección del flujo de corriente, y tipo de tejido sobre el que se aplica.

Al aplicarse una corriente eléctrica con suficiente intensidad y duración, se puede inducir una despolarización nerviosa, provocando una respuesta motora y/o sensorial que puede utilizarse para modular el dolor (electroanalgesia) o bien aumentar la fuerza y control muscular⁸⁴.

Una corriente eléctrica puede definirse como un flujo de partículas cargadas (electrones o iones), y el empleo de las mismas sobre los sistemas biológicos para inducir modificaciones en cuanto a procesos fisiológicos data desde al menos el año 46 de nuestra era, ya que existe un registro que se utilizó la descarga de un pez torpedo para aliviar el dolor⁸⁵.

III. m. 1. PARÁMETROS DE ESTIMULACIÓN:

Una corriente eléctrica se encuentra caracterizada por los siguientes parámetros:

Duración del pulso: representa el tiempo que dura cada pulso. Se expresa en microsegundos (μs) o milisegundos (ms)⁸⁶.

Forma de pulso: puede ser cuadrangular, triangular, trapezoidal, exponencial, sinusoidal, en diente de sierra, de tiratrón⁸⁷.

Duración de fase: tiempo que dura una fase del pulso.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Intervalo intrapulso: tiempo que transcurre entre los pulsos (donde la intensidad es equivalente a 0mA).

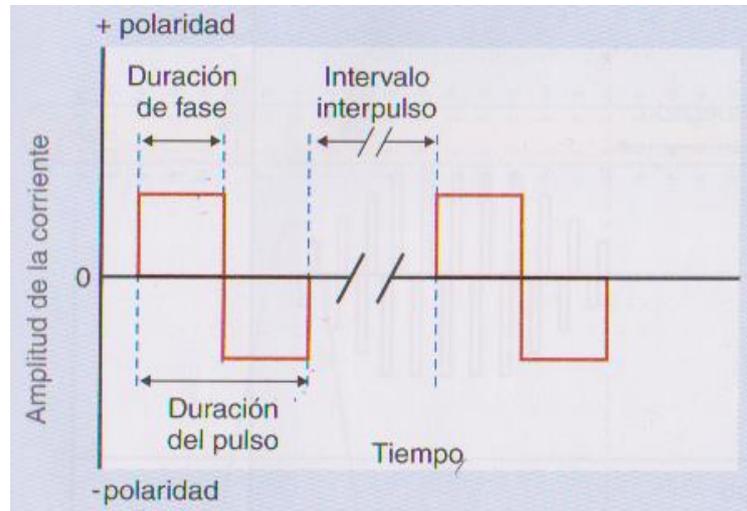


Fig. 7. Imagen ilustrativa de duración de fase, duración de pulso, intervalo interpulso⁸⁷.

Amplitud: magnitud de la corriente o voltaje y a menudo se denomina intensidad o fuerza de la corriente, se expresa habitualmente en miliamperios (mA).

Frecuencia: números de ciclos o pulsos por unidad de tiempo y suele expresarse en Hertz (Hz) o pulsos por segundo/minuto⁸⁹.

Ciclo: es la cadencia completa de una onda desde el momento que se inicia hasta que comienza la siguiente⁹⁰.

Tiempo de encendido: también suele denominarse período ON, corresponde al tiempo en el que se produce el tren de pulsos.

Tiempo de apagado: también denominado período OFF, y en este caso corresponde al tiempo transcurrido entre los trenes de pulsos (momento en el cual no fluye corriente).

Los temporizadores de encendido y apagado se emplean para producir contracciones musculares para simular las fases de contracción voluntaria y de relajación del ejercicio fisiológico normal y para disminuir la fatiga muscular.

Rampa ascendente: representa el tiempo que tarda la amplitud de corriente en aumentar desde cero durante el tiempo de apagado hasta su amplitud máxima, durante el tiempo de encendido.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Rampa descendente: es el tiempo que tarda la amplitud de corriente para disminuir desde su amplitud máxima hasta cero, durante el tiempo de apagado.

Longitud de onda: La duración de un ciclo de corriente alterna. Un ciclo dura desde el momento en el que la corriente parte desde la línea isoelectrica en una dirección y luego cruza la línea isoelectrica en la dirección opuesta cuando vuelve hasta la línea isoelectrica. Es similar a la duración del pulso de una corriente pulsada⁹¹.

III. m. 2. CLASIFICACIONES DE LAS PRINCIPALES CORRIENTES PARA CONTRACCIÓN MUSCULAR:

Según los modos de aplicación:

- Pulsos aislados: se trata de pulsos aislados entre reposos muy largos; ya sea mediante pulsos cuadrangulares (de ascenso brusco) o triangulares o exponenciales (de ascenso progresivo). Estos se utilizan para exploración, estudios electrofisiológicos, búsqueda de puntos motores y tratamiento de parálisis periférica.
- Trenes (o ráfagas): se refiere a la aplicación de pulsos agrupados en ráfagas (faradización). Se utilizan para trabajo muscular de fibra sana o poco afectada por enfermedad. Va a presentar una duración de algunos segundos de trabajo muscular, seguido por un periodo de descanso de otros varios segundos.

Según las frecuencias:

- Baja frecuencia: de 0 a 1000 Hz.
- Media frecuencia: de 1000 a 10000 Hz⁹².

Según tipos de ondas:

- Corriente directa: flujo unidireccional continuo de partículas. Para estimular contracciones en músculos denervados
- Corriente alterna: flujo bidireccional de partículas cargadas. Puede usarse para controlar el dolor y para contracción muscular.
- Corriente pulsada: flujo interrumpido de partículas cargadas en el que la corriente fluye en una serie de pulsos separados por periodos en los que no hay corriente. Se emplea en numerosas aplicaciones, como el control del dolor, la cicatrización tisular, y la contracción muscular, y es la onda más utilizada en la estimulación eléctrica⁹³.

III. m. 3.FARADIZACIÓN NEUROMUSCULAR

En caso de los trenes, los pulsos dentro del tren deben estar bastante juntos para que el musculo no presenta *clonus* o contracciones vibratorias, y lo bastante separados entre sí para no impedir la repolarización de la membrana en el conjunto neuromuscular.

Estas agrupaciones de pulsos reciben el nombre de trenes de corrientes farádicas o faradización.

Presentan las siguientes características:

- Mayormente son de baja frecuencia(también hay de media)
- Destinadas a producir contracción muscular mantenida o tetanizante, durante un periodo de tiempo determinado y ajustable en el electroestimulador.
- Los trenes están formados por pulsos cuadrangulares o triangulares.
- Se aplican durante unos segundos, seguidos de pausa de varios segundos.
- Los tiempos de tren (período ON), pueden oscilar entre 0,5 y 30 segundos.
- Los tiempos de pausa (período OFF), oscilan entre 0,5 y 60 s⁹⁴.

Hay trenes de dos tipos:

- Trenes de farádicas.
- Trenes de media frecuencia o de Kots⁹⁵.

Los trenes de farádicas son de baja frecuencias y se caracterizan por pulsos monofásicos o bifásicos (Puede fluir en una sola dirección durante un pulso, lo que se conoce como corriente pulsada monofásica o puede fluir hacia arriba y hacia abajo, lo que se conoce como corrientes pulsada bifásica ⁹⁶) Los trenes de media frecuencia son ondas sin polaridad, de media frecuencia modulada en baja frecuencia y se caracterizan por ajustarse en frecuencias, la corriente clásica de esta modalidad es la de Kots (también llamada corriente rusa) formada por una portadora de 2500 hz, frecuencia de modulación ajustable entre 10 y 100 hz, forma de modulación cuadrada y tiempo de modulación ajustable entre 2 y 10 ms⁹⁷. (fig. 7).

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

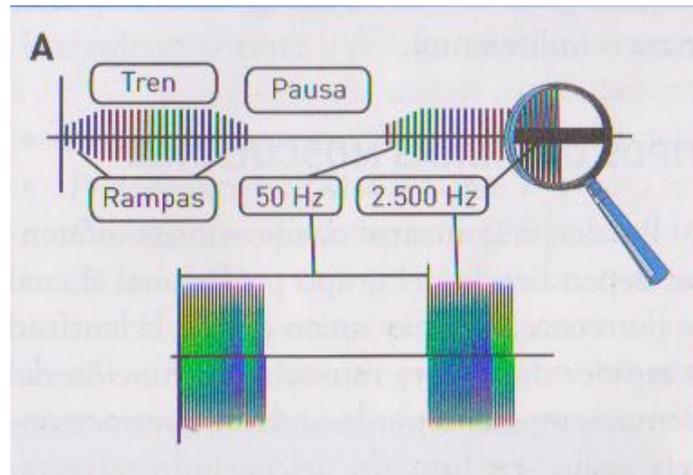


Fig.8 .trenes de Kots de media frecuencia⁹⁸.

Análisis de un tren (Fig. 9): contiene una rampa de subida, un tiempo de mantenimiento en la máxima intensidad, rampa de bajada, pausa antes que entre el siguiente tren.

La duración de cada pulso es mucho menor que la de reposo (los pulsos están agrupados en trenes) estos tiempos sirven para adaptarse al comportamiento bioeléctrico de las fibras nerviosas, de la placa motora, y del sarcolema. Se ajusta en mili o micro segundos.

La duración de cada tren es menor que la pausa para evitar fatiga y permitir regeneración bioquímica. Se ajusta en segundos. Una relación ON-OFF de 1-3 es lo ideal.

El ascenso de la rampa tiene mayor duración que el descenso, pretende evitar cambios bruscos en la tensión muscular que pueden generar roturas musculares. Se ajustan en segundos o en porcentajes, por ejemplo 20% 60% 20%⁹⁹.

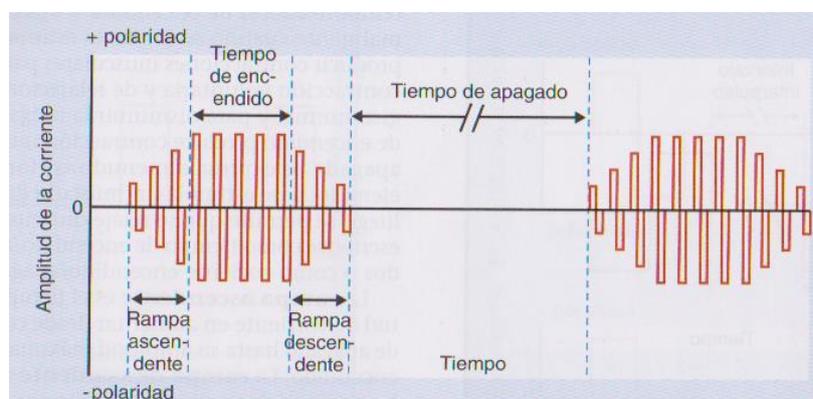


Fig.9 análisis de un tren¹⁰⁰.

Tiempos dentro del tren:

Periodo de latencia: tiempo que necesita el pulso aplicado en provocar la ruptura del umbral de polarización. Tiempo empleado en movilizar iones de la zona hasta conseguir que la membrana se vuelva permeable de forma iónica. Si esto es así, se desencadenan las reacciones químicas que generan la contracción muscular. Cuando hay un proceso patológico que altera la bioquímica de la zona, este proceso se retrasa.

Periodo activo: es el momento de apertura o despolarización de los conductos de membrana, se desencadena la respuesta eléctrica del nervio y contráctil de la fibra muscular. Lo anteriormente mencionado se produce porque se abren los canales de voltaje y producen los intercambios iónicos.

Periodo de repolarización: una vez que se desencadena el proceso de contracción, la fibra entra en un periodo de recuperación electroquímica mientras que mecánicamente continua contraída, momento en que trabaja la bomba de sodio potasio para devolverla a su polarización inicial. Al final de este tiempo el conjunto neuromuscular se encuentra preparado para ser estimulado otra vez con nueva respuesta de contracción normal y completa. Si se aplica otro impulso antes de finalizar el proceso bioeléctrico, la fibra no presentará respuesta contráctil completa, porque se encuentra en el denominado periodo *refractario relativo*.

Periodo refractario: es la suma de tiempo correspondiente a los tres periodos, en las fibras lentas es de 20-30 ms. Este periodo debe respetarse sin estimulación eléctrica. En este punto se entiende el porqué de los reposos de unos 20 ms que separan a los pulsos de 1 ms presentes en los trenes de faradización, se esperan 20 ms para permitir a la fibra muscular que complete su ciclo electroquímico y que se halle dispuesta para recibir otro estímulo que desencadene la misma respuesta de contracción¹⁰¹.

**III. m. 4.EFECTOS DE LAS CORRIENTES ELÉCTRICAS: ESTIMULACIÓN DE
LOS POTENCIALES DE ACCIÓN EN LOS NERVIOS:**

Las corrientes eléctricas despolarizan las membranas nerviosas, produciendo de este modo potenciales de acción, la unidad de mensaje del sistema nervioso. Una vez que el potencial de acción se propaga a lo largo del axón, el cuerpo humano responde a él, de la misma forma que a los potenciales de acción iniciados por estímulos fisiológicos. Un potencial de acción es la unidad básica de comunicación nerviosa. Cuando un nervio esta en reposo, sin estimulación fisiológica o eléctrica, el interior está cargado más negativamente que el exterior en -60 a -90 mV. Esto se conoce como potencial de

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

membrana de reposo (Fig. 10). El potencial de membrana de reposo se mantiene porque la mayor parte de los iones de sodio están fuera de la célula y la mayoría de los iones de potasio están dentro, de modo que el interior es negativo con respecto al exterior. Cuando se aplica un estímulo suficiente, los canales de sodio en la membrana celular se abren rápidamente, mientras que los canales de potasio se abren lentamente. Hay una concentración elevada extracelular de sodio y estos se precipitan al interior de la célula a través de los canales abiertos. Esto hace que el interior de la célula se cargue más positivamente, invirtiendo el potencial de membrana. Cuando el potencial de membrana alcanza +30 mV, la permeabilidad al sodio disminuye y los canales de potasio se abren rápidamente, aumentando la permeabilidad al potasio. Como hay una concentración elevada intracelular de iones de potasio, estos salen de la célula, devolviendo la polaridad de la membrana a su situación de reposo de -60 a -90 mV.

Esta despolarización y repolarización de la membrana celular provocada por el flujo cambiante de iones a través de la membrana celular es el POTENCIAL DE ACCIÓN (PA) (Fig. 11). Mientras el nervio esta despolarizado no se puede generar potenciales de acción adicionales. Durante este tiempo el nervio no se puede excitar aún más (periodo refractario absoluto). Después de la despolarización, antes de que el nervio recupere el potencial de reposo, existe un breve periodo de hiperpolarización. Durante este periodo se necesita un estímulo más potente que el habitual para producir otro PA. Este periodo de hiperpolarización se conoce como periodo refractario relativo.

Propagación del potencial de acción.

Una vez generado un PA, desencadena un PA en la zona de membrana nerviosa adyacente. A este proceso se lo denomina propagación o conducción del PA a lo largo de la neurona. La velocidad a la que viaja un PA depende del diámetro del axón y de si el nervio esta mielinizado o no. Cuando mayor es el diámetro del nervio más rápido viaja. El PA se transmite más rápido también en los nervios mielinizados que en los amielinicos.

La mielina es una vaina lipídica que envuelve a algunos axones. La vaina presenta pequeños huecos que se denominan nódulos de Ranvier. Un PA se propaga a lo largo de las fibras mielinicas saltando desde un nódulo hasta el siguiente, un proceso llamado conducción saltatoria esta conducción saltatoria acelera la conducción de los potenciales de acción a lo largo del nervio¹⁰².

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

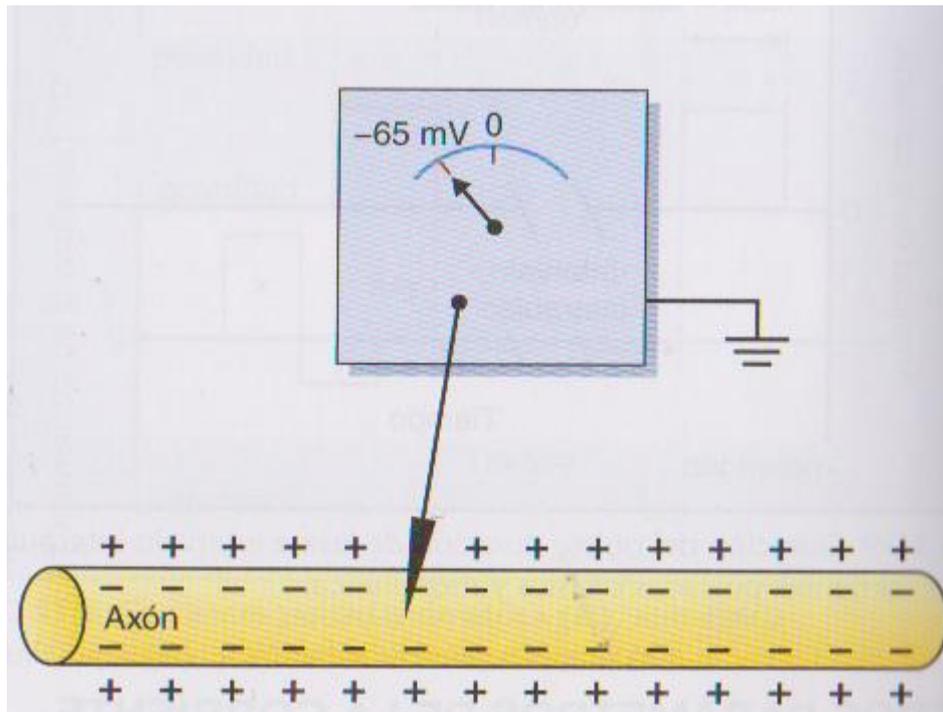


Fig. 10. Imagen de potencial de membrana en reposo¹⁰³.

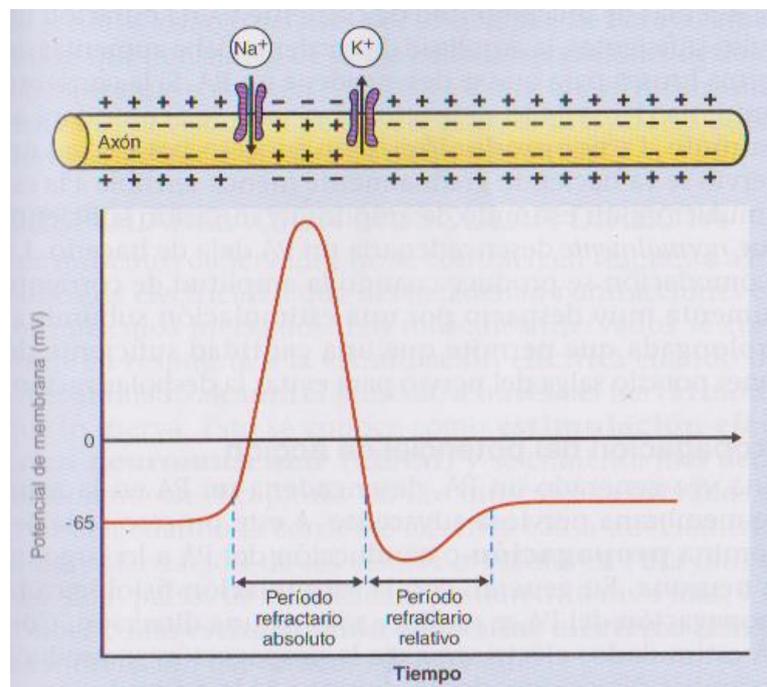


Fig.11. imagen de potencial de acción¹⁰⁴.

DESPOLARIZACION MUSCULAR DIRECTA: los músculos denervados no se contraen en respuesta a los pulsos de electricidad que desencadenan contracciones en los músculos inervados. Los músculos inervados se contraen en respuesta a la estimulación eléctrica cuando un PA estimulado alcanza el músculo a través del nervio motor que lo inerva. Esto

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

se conoce como ESTIMULACION ELECTRICA NEUROMUSCULAR (EENM). Los músculos denervados se contraen cuando la corriente eléctrica causa directamente la despolarización de las células musculares. Para esto se necesita pulsos de electricidad que duren 10 ms o más y se conoce como ESTIMULACION MUSCULAR ELECTRICA o estimulación del musculo denervado¹⁰⁵.

FISIOLOGÍA DE CONTRACCIONES ELÉCTRICAS:

La diferencia principal entre las contracciones estimuladas eléctricamente y las que se inician fisiológicamente es el orden del reclutamiento de las unidades motoras:

Con las iniciadas fisiológicamente, las fibras nerviosas más pequeñas, y de este modo las fibras musculares de tipo 1 de contracción lenta, se activan antes que las fibras nerviosas y musculares más grandes.

Con las contracciones estimuladas eléctricamente es lo contrario, las fibras nerviosas de mayor diámetro que inervan las fibras musculares tipo 2 de contracción rápida se activan en primer lugar y las de un diámetro menor se reclutan más tarde. Estas fibras musculares de contracción rápida grandes son las que producen contracción fuerte y rápida, pero se fatigan y se atrofian con rapidez con el desuso. Las de contracción lenta generan menos fuerza y menos rapidez pero son las resistentes a la fatiga y atrofia.

Por este motivo los pacientes siempre que puedan deberían realizar tanto contracciones estimuladas eléctricamente como fisiológicamente para favorecer la *integración funcional*. Además las contracciones estimuladas eléctricamente fatigan más que las fisiológicas, por ende necesitan mayor tiempo de reposo¹⁰⁶.

ELECTROESTIMULACIÓN EN LESIÓN MEDULAR:

Puede mejorar la fuerza y el control motor en pacientes con trastornos del sistema nervioso central, siempre y cuando los nervios periféricos motores estén intactos. Aunque la estimulación eléctrica no revierte el daño medular, numerosas aplicaciones disminuyeron complicaciones aumentando la calidad de vida. La motoneurona inferior debe estar intacta para realizar esta modalidad terapéutica¹⁰⁷.

III. m. 5. CONTRAINDICACIONES Y PRECAUCIONES PARA EL USO DE CORRIENTES ELÉCTRICAS:

Contraindicaciones:

-Marcapasos a demandas o arritmias inestables: estos no deben utilizarse ya que la estimulación eléctrica puede interferir con el funcionamiento del marcapasos pudiendo cambiar la frecuencia del mismo. La estimulación eléctrica también puede agravar una arritmia inestable que no esté tratada con marcapaso.

-Aplicación directa sobre el seno carotideo: evitar colocar electrodos en cara anterior o lateral del cuello en las zonas correspondientes a los senos carotideos, ya que la estimulación de esta zona puede inducir un descenso rápido de la presión arterial y de la frecuencia cardiaca provocando el desmayo del paciente.

-Trombosis arterial o venosa o tromboflebitis: la electroestimulación al aumentar la circulación sanguínea, aumenta el riesgo del desprendimiento de un émbolo.

-Zona pélvica, abdominal, tronco y lumbar en el embarazo: debido a que se desconocen los efectos de la estimulación eléctrica sobre el feto o sobre el útero, se recomienda no aplicarla.

-Tumores malignos: la electroestimulación puede favorecer el crecimiento tisular, por lo tanto, no debe aplicarse en NINGUNA ZONA DEL CUERPO CON PRESENCIA DE TUMORES MALIGNOS, ya que pueden hacer metástasis en zonas alejadas del foco primario o donde se sabe que está.

-Irritación cutánea o heridas abiertas: dado a que en estos casos existe una reducción de la impedancia y menor sensibilidad que la piel intacta, nos puede llevar a aplicar corriente en exceso.

Precauciones:

-Disminución de la sensibilidad: porque la sensación que experimenta el paciente (ejemplo el dolor) son datos que se utilizan para limitar la intensidad aplicada dentro de los límites

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

de seguridad. En este caso se puede aplicar con mucha precaución mirando todo el tiempo la posibilidad de aparición de efectos adversos.

-Deterioro del estado mental: se puede hacer con precaución siempre y cuando se vigile al paciente para que no se saque los electrodos¹⁰⁸.

IV. JUSTIFICACIÓN:

En respuesta a lo importante que es la rehabilitación respiratoria en el lesionado medular y debido a la falta de artículos de revisión de literatura que contengan investigaciones experimentales actualizadas sobre los efectos de la electroestimulación abdominal en la función espiratoria en personas con lesión medular cervical se plantea el siguiente trabajo. En el mismo se aporta material reciente para que el tratamiento kinésico sea basado en la evidencia buscando mejorar la efectividad del mismo. De esta manera, esta modalidad terapéutica en caso de ser efectiva le brindaría a la comunidad kinésica la posibilidad de aumentar su campo laboral con una mejor calidad asistencial, a los lesionados medulares una mejora en su calidad de vida gracias a la recepción de un tratamiento más efectivo y eficiente y a la ciencia la posibilidad de obtener una investigación con mayor nivel de evidencia que los trabajos experimentales aislados.

V.MÉTODOS:

Este tipo de estudio es una revisión bibliográfica retrospectiva (porque utiliza hechos y datos pasados) y cualitativa (porque investiga un efecto). El primer paso fue la agrupación de las palabras claves de la siguiente manera:

- Spinal Cord Injury AND Respiratory Function AND Electric Stimulation Therapy.
- Spinal Cord Injury AND Abdominal muscles AND Electric Stimulation Therapy.
- Spinal Cord Injury AND Respiratory Function Tests.
- Spinal Cord Injury AND Electric Stimulation Therapy AND Cough.
- Electroestimulación AND función respiratoria AND lesión medular.
- Tetraplejía AND complicaciones respiratorias.
- Fisioterapia respiratoria AND lesión medular.

Cabe resaltar que nunca se utilizaron los operadores booleanos NOT y OR. Solo se utilizó el operador AND para la agrupación de las palabras claves anteriormente mencionadas.

Una vez agrupadas las palabras claves se establecen los criterios de inclusión y exclusión para analizar los resultados, discusión y conclusión.

- Criterios de Inclusión: Publicaciones comprendidas entre los años 2006 al 2016, estudios experimentales y meta-análisis en personas con lesión medular cervical.
- Criterios de Exclusión: Experimentación animal, estimulación fuera de la musculatura abdominal, artículos de revisión bibliográfica sin meta-análisis, patología diferente a lesión medular, electroestimulación con uso de electrodos implantados.

Fuentes de consulta:

La búsqueda de los artículos se llevó a cabo en las bases de datos Pubmed, SciELO, ScienceDirect y Proquest, sumado a la utilización del buscador Google académico para obtener artículos de ministerios de salud, universidades, hospitales, confederaciones y tesis doctorales.

Por último se incluyeron en esta revisión 13 artículos que investigaron los efectos de la estimulación eléctrica en musculatura abdominal sobre la función espiratoria en personas con lesión medular.

VI. RESULTADOS:

Primero se agruparon en **tabla “a”** orientada a los resultados de los parámetros espiratorios. En la **tabla “b”**, con los mismos artículos, se agruparon los resultados teniendo en cuenta los protocolos de electroestimulación.

Tabla A:

Titulo	Autor/año	Objetivo del estudio	Pruebas pulmonares	Resultados (todos los aumentos son significativos, de lo contrario serán detallados)
Changes in pulmonary function measures following a passive abdominal functional electrical stimulation training program ¹⁰⁹	Angus J. McLachlan, Alan N. McLean, David B. Allan, Henrik Gollee/2013	Demostrar el efecto de una estimulación eléctrica funcional abdominal pasiva (AFES) en medidas respiratorias no asistidas en tetraplejía.	-Presión máxima espiratoria -CVF -VEF1 -Flujo pico espiratorio.	-Aumentó CVF - Volumen Espiratorio Forzado en 1 segundo (VEF1) y Pico Flujo Espiratorio el aumento no fue significativo.
Capacidad respiratoria proporcional para el habla mediante electroestimulación abdominal en personas con lesiones medulares cervicales ¹¹⁰	Yanely Real González, Nancy Pavón Fuentes, Yohandra Herrera Díaz, Anairis Rodríguez Martínez, Alba Elisa Pérez Pérez, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez/ 2015	Evaluar el comportamiento de la capacidad respiratoria proporcional para el habla con el uso de la electroterapia en músculos abdominales en personas con lesión medular cervical de causa traumática.	-Capacidad vital forzada inspiratoria. (CVFI) -CVF	-Aumentó la CVF y la CVFI.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

<p>Electroestimulación en Músculos Rectos Abdominales Para el Aumento de la Capacidad Respiratoria Proporcional Para el Habla en Personas con Lesiones Medulares Cervicales¹¹¹.</p>	<p>Yanelly Real González, DrC. Nancy Pavón Fuentes, Lic. Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, DrC. Mayda López Hernández, Lic. Gabriel Martínez Rodríguez /2014</p>	<p>Determinar el efecto de la electroterapia en músculos abdominales sobre la capacidad respiratoria proporcional al habla en lesionados cervicales.</p>	<p>-Pico flujo expiratorio. -CVF</p>	<p>-Aumentó pico flujo expiratorio y CVF.</p>
<p>Abdominal functional electrical stimulation to improve respiratory function after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis¹¹²</p>	<p>McCaughey EJ, Borotkancis RJ, Gollee H, Folz RJ, McLachlan AJ./2016</p>	<p>Verificar la efectividad de la aplicación de FES abdominal en pacientes con lesión medular en cuanto a la mejora de la capacidad respiratoria.</p>	<p>-Pico flujo de tos -Pico flujo expiratorio -Presión expiratoria máxima. -CVF -VEF1.</p>	<p><u>-Efectos agudos:</u> aumentó pico flujo de tos y presión expiratoria máxima. <u>-Efectos crónicos:</u> aumentó capacidad vital forzada y pico flujo expiratorio. -Volumen expiratorio forzado en 1 segundo aumentó no significativamente tanto agudo como crónico.</p>
<p>Abdominal Muscle Training Can Enhance Cough After Spinal Cord Injury¹¹³</p>	<p>Rachel A. McBain, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia and Jane E. Butler/ 2013</p>	<p>Investigar los efectos de un entrenamiento de tos combinado con estimulación eléctrica funcional sobre la musculatura abdominal por 6 semanas para observar si se puede mejorar la fuerza en la tos</p>	<p>-Presión esofágica -Presión gástrica -Presión expiratoria -Flujo pico de tos.</p>	<p>-Aumentó la respuesta mecánica de la tos. -Aumentó flujo pico de tos y la presión gástrica y esofágica para la tos.</p>

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

<p>Posterolateral Surface Electrical Stimulation of Abdominal Expiratory Muscles to Enhance Cough in Spinal Cord Injury¹¹⁴</p>	<p>Jane E. Butler, Julianne Lim, Robert B. Gorman, Claire Boswell-Ruys, Julian P. Saboisky, Bonsan B. Lee, and Simon C. Gandevia /2011</p>	<p>Mejorar el patrón de tos en personas con lesión medular alta utilizando estimulación eléctrica superficial abdominal por medio de 2 pares de electrodos posicionados postero-lateral</p>	<p>-Presión espiratoria máxima -Pico flujo espiratorio -Presión gástrica -Presión esofágica</p>	<p>-Aumentó la presión gástrica, flujo pico espiratorio y presión esofágica. -Mejóro el patrón de tos.</p>
<p>Automatic electrical stimulation of abdominal wall muscles increases tidal volume and cough peak flow in tetraplegia¹¹⁵</p>	<p>H. Gollee, K.J. Hunt, D.B. Allan, M.H. Fraser, A.N. McLean/2008</p>	<p>Evaluar la viabilidad y la efectividad de FES abdominal que genera estimulación automáticamente, sincronizada con la respiración voluntaria.</p>	<p>-Flujo pico de tos. -Volumen tidal Frecuencia respiratoria -Ventilación minuto.</p>	<p>-Aumentó volumen tidal y ventilación minuto. -Disminuyó frecuencia respiratoria. -Aumentó flujo pico de tos. -Mejóro los parámetros de tos y de respiración espontanea.</p>
<p>A control system for automatic electrical stimulation of abdominal muscles to assist respiratory function in tetraplegia¹¹⁶</p>	<p>H. Gollee K.J. Hunt D.B. Allan b, M.H. Fraser A.N. McLeanb/2006</p>	<p>-Desarrollar un sistema de control para activar automáticamente la estimulación muscular, sincronizada con la actividad respiratoria voluntaria.</p>	<p>-Flujo pico de tos -Volumen tidal</p>	<p>-Aumentó volumen tidal y flujo pico de tos.</p>
<p>Abdominal functional electrical stimulation to enhance mechanical insufflation-exsufflation¹¹⁷</p>	<p>Euan J. McCaughey Alan N. McLean David B. Allan Henrik Gollee/ 2016</p>	<p>Evaluar la viabilidad de combinar FES abdominal con la insuflación-exhalación mecánica.</p>	<p>-CVF -Pico flujo espiratorio.</p>	<p>-Aumentó CVF. -Aumentó pico flujo espiratorio.</p>

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

Surface Functional Electrical Stimulation of the Abdominal Muscles to Enhance Cough and Assist Tracheostomy Decannulation After High-Level Spinal Cord Injury ¹¹⁸	Bonsan B. Lee, Claire Boswell-Ruys, Jane E. Butler, Simon C. Gandevia /2007	Evaluar la estimulación abdominal para mejorar la tos y asistir para la decanulación de la traqueotomía.	-Presión espiratoria máxima -Presión espiratoria máxima de tos. -Pico flujo espiratorio -CVF -VEF1	-Aumentó presión espiratoria máxima. -Aumentó presión espiratoria máxima de tos. -Aumentó pico flujo espiratorio. -Aumentó no significativamente CVF y VEF1.
Effect of neuromuscular electrical stimulation on cough capacity and pulmonary function in patients with acute cervical cord injury ¹¹⁹	Pao-Tsai Cheng, Chia-Ling Chen, Chin-Man Wang and Chia-Ying Chung/2006	Evaluar la efectividad de la estimulación eléctrica neuromuscular en la tos y la prevención de complicaciones pulmonares en pacientes con lesión medular cervical aguda.	-Capacidad vital. -CVF -VEF1 -Pico flujo espiratorio -Presión espiratoria máxima.	-Aumentó capacidad vital, capacidad vital forzada, VEF1, pico flujo espiratorio, presión espiratoria máxima.
Abdominal Functional Electrical Stimulation to Assist Ventilator Weaning in Acute Tetraplegia: A Cohort Study ¹²⁰	Euan J. McCaughey Helen R. Berry, Alan N. McLean David B. Allan, Henrik Gollee /2015	Investigar la viabilidad clínica del uso de FES abdominal para mejorar la función respiratoria y asistir al “weaning” del ventilador en tetraplejía aguda.	-Volumen tidal -Capacidad vital.	-Aumentó volumen tidal y capacidad vital.
Electrical Stimulation of Abdominal Muscles to Produce Cough in Spinal Cord Injury: Effect of Stimulus Intensity ¹²¹	Rachel A. McBain, PhD ^{1,2} , Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, MBBS, Simon C. Gandevia, MD, and Jane E. Butler./2014	Determinar si un aumento en la intensidad del estímulo de los trenes eléctricos tiene un efecto creciente sobre una tos voluntaria estimulada y además determinar a qué intensidad de estímulo se produce una meseta en el crecimiento del pico flujo de tos.	-Presión gástrica -Presión esofágica -Pico flujo de tos	-Aumentó pico flujo de tos, presión gástrica y presión esofágica.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

TABLA B: Protocolos de electroestimulación.

Autor/año	Generalidades	Frecuencia (Hz)	Ancho de pulso (μ s)	Intensidad (mA)
McLachlan y col. /2013 ¹²²	<ul style="list-style-type: none"> -Corriente bifásica. -3 semanas, 4 sesiones por semana de que se fue incrementando de 20 minutos por día en la primer semana hasta 60 minutos por día en la tercer semana. -En recto abdominal y oblicuos externos. -Cada estimulación estaba sincronizada con la espiración del paciente. 	30	50	40 -120
Real y Pavón y col. /2015 ¹²³	<ul style="list-style-type: none"> -Corriente de media frecuencia. Rusas o de Kots. -trenes de pulso 7/15 seg. -20 sesiones, durante 10 minutos <u>posteriormente</u> a los ejercicios logopédicos. Estos últimos consistían en ejercicios físicos encaminados a: fortalecimiento de músculos respiratorios, control expiratorio, intensidad vocal, ritmo y fluidez. -método bipolar. -Cuatro electrodos superficiales en la región abdominal en la zona de proyección de los músculos rectos abdominales. 	<ul style="list-style-type: none"> -<u>Frecuencia portadora:</u> 2500 -<u>Frecuencia de modulación:</u> 25. 	NE	- A partir del umbral de respuesta para cada persona (contracción muscular visible)

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

<p>Real y Pavón y col. /2014¹²⁴</p>	<p>-Corriente de media frecuencia. Rusas o de Kots. -trenes de pulso 7/15 seg. -20 sesiones, durante 10 minutos <u>previos</u> a los ejercicios logopédicos. Estos últimos consistían en ejercicios físicos encaminados a: Fortalecimiento de músculos respiratorios, control expiratorio, intensidad vocal, ritmo y fluidez. -método bipolar. -Cuatro electrodos superficiales en la región abdominal en la zona de proyección de los músculos rectos abdominales.</p>	<p><u>-Frecuencia portadora:</u> 2500 <u>-Frecuencia de modulación:</u> 25.</p>	<p>NE</p>	<p>-A partir del umbral de respuesta para cada persona (contracción muscular visible)</p>
<p>McBain y col. /2013¹²⁵</p>	<p>-Combinación de entrenamiento de la tos con electroestimulación abdominal en trenes de estímulos(de 3 seg) -6 semanas, 5 días por semana, 5 series de 10 acciones de tos por día. -El paciente tenía que realizar tos voluntaria máxima al mismo tiempo que recibía el estímulo con los electrodos puestos en una posición estudiada previamente posterolateral(oblicuos externos). -7 seg de descanso entre cada tos.</p>	<p>50</p>	<p>250</p>	<p>-incremento de a 20 mA hasta que el paciente llegaba a 40 cmh²⁰ de presión gástrica.</p>
<p>Jane E. Butler y col. /2011¹²⁶</p>	<p>-Evaluación de un día. - trenes de estímulo de 1 seg. -Al mismo tiempo de la estimulación los pacientes realizaron de tres maneras para comparar, sin acción (pasivo), con esfuerzo de tos, y con esfuerzo de máxima presión expiratoria. (3 veces cada modalidad) -Dos pares de electrodos posterolaterales (oblicuos externos)</p>	<p>50</p>	<p>200</p>	<p>113 - 143</p>

"Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical"

<p>Gollee y col. /2008¹²⁷</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluación de un día. -Pulsos monofásicos -Electroestimulación abdominal combinado con un artefacto que disparaba automáticamente sincronizado con la respiración del paciente. -Un espirómetro detectaba la actividad respiratoria y se generaba un disparo al inicio de la espiración (en la respiración tranquila) o al final de la inspiración con la glotis cerrada (en el esfuerzo de tos). -Electrodos colocados sobre rectos abdominales, oblicuos externos e internos. -Se realizaban con espiración tranquila o con tos. 	<p align="center">50</p>	<p align="center">100 - 400</p>	<p align="center">30 - 100</p>
<p>Gollee y col. /2006¹²⁸</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Evaluación de un día. -Pulsos monofásicos -Electroestimulación abdominal combinado con un artefacto que disparaba automáticamente sincronizado con la respiración del paciente. -Un espirómetro detectaba la actividad respiratoria y se generaba un disparo al inicio de la espiración (en la respiración tranquila) o al final de la inspiración con la glotis cerrada (en el esfuerzo de tos). -Electrodos colocados sobre rectos abdominales, oblicuos externos e internos. -Se realizaban con espiración tranquila o con tos. 	<p align="center">50</p>	<p align="center">100 - 400</p>	<p align="center">30 - 100</p>

"Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical"

<p>McCaughey y col. /2016¹²⁹</p>	<p>-Combinación de la electroterapia simultáneamente con insuflación-exhalación mecánica para simular la tos. - corriente pulsada bifásica. -ocho sesiones bisemanales, 10 ciclos de inspiración-espriación por sesión. -Duración total del estudio de 14 semanas. -MI-E se aplicó con una presión de insuflación de 20 cmH2O durante dos segundos y una presión de exsuflación de -20 cmH2O durante tres segundos, con una pausa de dos segundos entre cada ciclo. -Durante cada insuflación se le pidió al participante inhalar lo máximo posible y durante cada período de exsuflación se le pidió exhalar lo más fuerte posible. -Cuatro canales de estimulación en rectos abdominales y oblicuos externos de manera bilateral. -Estimulación solo los tres segundos de espriación. -Las primeras dos sesiones fue disparado por una persona, en las restantes fue sincronizado automáticamente con el artefacto.</p>	<p align="center">30</p>	<p align="center">100</p>	<p align="center">40</p>
<p>Bonsan B. Lee y col. /2007¹³⁰</p>	<p>-Entrenamiento diario de 4 semanas de 30 minutos. -trenes de estímulos de 4 seg de on y 4 seg de off -Esfuerzo de tos mientras se dispara el estímulo. -Electrodos en recto anterior del abdomen. -El paciente inspiraba cerca de la capacidad pulmonar total durante los 4 segundos sin estimulación. Justo antes del disparo, cerraba la glotis, y durante 2 a 3 segundos de estimulación la mantenía cerrada hasta un segundo antes de terminar la corriente que comenzaba a toser.</p>	<p align="center">50</p>	<p align="center">NE</p>	<p align="center">100</p>

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

	<p>-En la misma investigación, un año después hicieron una prueba aislada con la misma modalidad de acción voluntaria, pero con posicionamiento de electrodos de manera posterolateral y algunos cambios en la electroestimulación.</p> <p>-trenes de estímulos de 1 seg de on y 1 seg de off.</p>	50	200	225
Cheng y col. /2006 ¹³¹	<p>-Tiempo: 30 min por día, 5 días a la semana, por 4 semanas.</p> <p>-onda bifásica simétrica.</p> <p>-En recto anterior y porción clavicular del pectoral mayor.</p> <p>-tiempo de ascenso de la onda 0.5 segundos, 4 seg de on y 4 seg de off.</p>	30	300	0-100
McCaughey y col /2015 ¹³²	<p>-En pacientes con ventilación mecánica.</p> <p>-corriente bifásica</p> <p>-5 sesiones por semana, en 4 semanas alternas (total 8 sem) 20 min en semana 1, 30 min en semana 3, 40 min en semana 5 y 7.</p> <p>-Cuando no podían respirar independientemente de la ventilación mecánica, permanecían conectados durante toda la sesión. Si podían estar desconectados se realizaban las estimulaciones sin el ventilador, si en algún momento la saturación de oxígeno disminuía de 92% se volvía a conectar.</p>	30	100 - 500	30 - 105

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

Rachel A. McBain y col. /2014 ¹³³	-electrodos posterolaterales -trenes de 1 segundo. -estimulación simultánea con máxima tos voluntaria. -Se buscó una intensidad alta para ver con qué valor se llegaba a una meseta en el crecimiento del pico flujo espiratorio.	50	NE	211
--	--	----	----	-----

NE=no especifica en el artículo.

VII. ANALISIS DE RESULTADOS:

A lo largo de los resultados se puede demostrar que en todos los artículos incluidos mejoraron los parámetros de función expiratoria y en ninguno decrecieron. Mejorando el patrón de tos en muchos de los casos, y de esta manera podría disminuir la incidencia de complicaciones respiratorias. Esto demuestra la efectividad de esta modalidad terapéutica, de manera independiente o combinada con otros artefactos o modalidades.

Basándonos en las investigaciones que fue estudiado la capacidad vital forzada se demostró una mejora significativa en un artículo de McLachlan y col.¹³⁴ (2013), en dos de Real y Pavón y col.^{135, 136} (2014 y 2015), y dos de McCaughey y col.^{137, 138} (2016), en el de Cheng y col.¹³⁹. (2006), y un pequeño aumento en el de Bonsan B. Lee y col.¹⁴⁰ (2007).

El pico flujo expiratorio fue estudiado en 7 artículos. En 6 mejoró significativamente, en los trabajos de Real Y Pavón y col.¹⁴¹ (2014), McCaughey y col.¹⁴² (2016), Jane E. Butler y col.¹⁴³. (2011) y de McCaughey y col.¹⁴⁴ (2016), en Bonsan B. Lee y col.¹⁴⁵ (2007), en Cheng y col.¹⁴⁶ (2006). Por el contrario, en un solo artículo de McLachlan y col.¹⁴⁷ (2013) hubo un aumento, aunque este no fue significativo.

El pico flujo de tos fue estudiado por 5 artículos: McCaughey y col.¹⁴⁸ (2016), Rachel A. McBain y col.^{149, 150} (2013 y 2014), Gollee y col.^{151, 152} (2008 y 2006), En todos mejoró significativamente. Un dato interesante es el que brinda McBain y col.¹⁵³ (2014) lo cual afirma que a medida que se va aumentando la intensidad de la electroestimulación aumenta este parámetro, hasta que alcanzando un promedio de 211mA se produce una meseta en el crecimiento.

El parámetro de VEF1 fue estudiado en 4 artículos. En 3 hubo un aumento pero no significativo, McLachlan y col.¹⁵⁴ (2013), McCaughey y col.¹⁵⁵ (2016), Bonsan B y col.¹⁵⁶ (2007). Por el contrario Cheng y col.¹⁵⁷ (2006) encontraron una mejora significativa. Se demuestra que el VEF1 fue el parámetro que menos mejoró de todos los estudiados en esta revisión.

La presión expiratoria máxima fue estudiada en 3 artículos. En todos aumentó significativamente, McCaughey y col.¹⁵⁸ (2016), Bonsan B. Lee y col.¹⁵⁹ (2007), Cheng y col.¹⁶⁰ (2006).

Se observó que el volumen tidal aumentaba significativamente en todas las publicaciones en donde se estudió, McCaughey y col.¹⁶¹ (2015), Gollee y col.^{162, 163} (2008 y 2006).

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Por último, la capacidad vital (máximo volumen espirado sin esfuerzo) fue estudiado en dos artículos donde demostraban aumento significativo, Cheng y col.¹⁶⁴ (2006), McCaughey y col.¹⁶⁵ (2015).

Cheng y col.¹⁶⁶ (2006) demostraron como el efecto de mejora significativa de la capacidad vital forzada y pico flujo espiratorio se mantenía durante 6 meses después del entrenamiento.

De los 13 artículos estudiados, 2 utilizaron corriente de media frecuencia, y el resto utilizo corriente de baja frecuencia.

Dentro de los de media frecuencia se encuentran los trabajos de Real y Pavón y col.^{167, 168} (2014 y 2015), donde se le aplicó electroterapia en los músculos rectos abdominales previa a la sesión de ejercicios logopédicos.

El resto de los artículos utilizaron corrientes de baja frecuencia entre 30 y 50hz.

Dentro de los parámetros básico de los trabajos de frecuencia baja se puede resaltar un rango de frecuencias entre 30-50hz, 50-500 μ s de ancho de pulso, e intensidades entre 0-225mA. Este último parámetro en casos no relataba su valor porque dependía de una buena contracción constatada visualmente y una buena tolerancia del paciente, en el trabajo de McBain y col.¹⁶⁹ (2013) no presentaba valor porque se aumentaba la intensidad hasta que el paciente llegaba a 40 cmh₂₀ de presión gástrica.

En los artículos de Real y Pavón y col.^{170, 171} (2015 y 2014), McBain y col. (2013)¹⁷², Jane E. Butler y col. ¹⁷³(2011), Bonsan B. Lee y col.¹⁷⁴ (2007), Cheng y col.¹⁷⁵ (2006) se utilizó una entrega de corriente en trenes, mientras que el resto eran corrientes bifásicas en su mayoría(a excepción de Golle y col.¹⁷⁶ que utilizaban monofásica) pero que no especificaban si utilizaban trenes o no. De todas formas la mayoría de los artículos estimulaba solo en la espiración, por ende había un tiempo de descanso de estímulo.

Los músculos estimulados más frecuentemente fueron recto abdominal y oblicuo externo, mientras que Golle y col.¹⁷⁷ (2006) incluyó además el oblicuo interno.

Otro hallazgo importante a la hora de llevar a la práctica estos protocolos es que en casi todos los artículos se estimulaba eléctricamente solo en el momento que el paciente realizaba tos voluntaria o espiración, mientras que en los dos artículos de Real y Pavon y col.^{178, 179} , el de Cheng y col.¹⁸⁰ (2006) y el de McCaughey y col.¹⁸¹ (2015) no especifica si lo hace con esta modalidad o no, en este último podría ser que los pacientes hayan estado

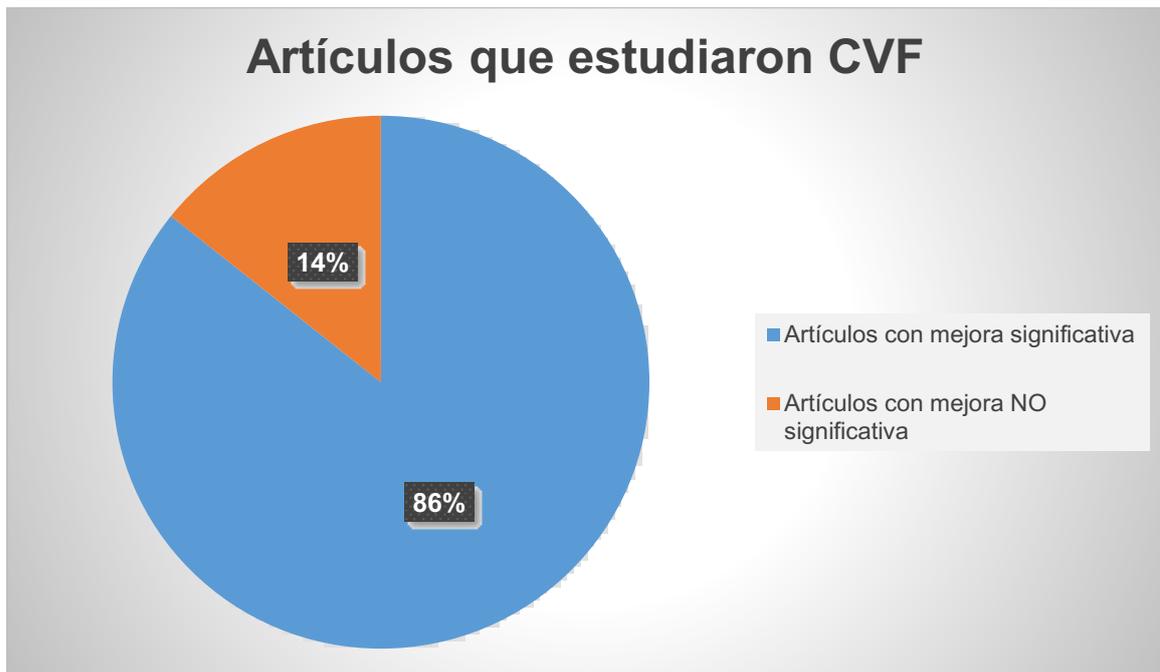
“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

imposibilitados de realizar espiración o tos voluntaria, ya que estaban en ventilación mecánica.

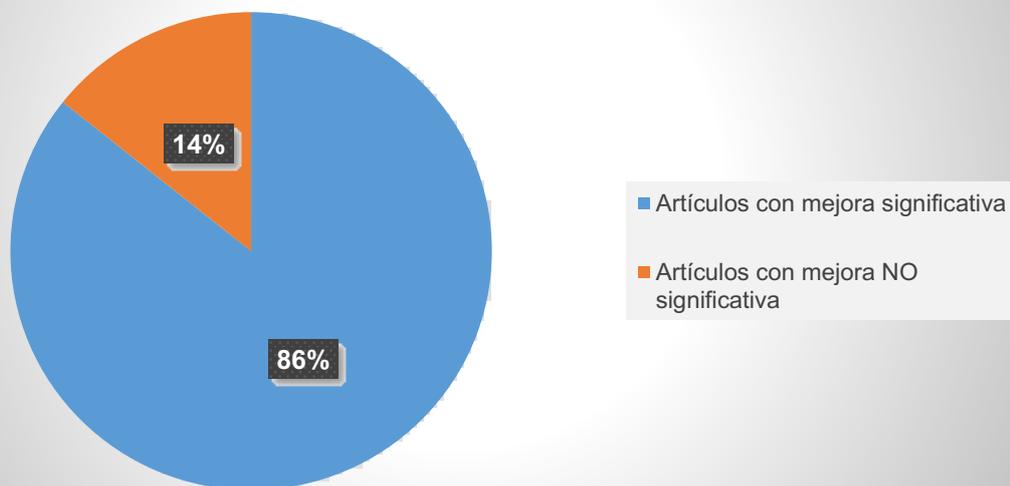
Se utilizó electroestimulación aislada (sin otro artefacto) en McLachlan y col.¹⁸². (2013), McBain y col.¹⁸³ (2013), Jane E. Butler y col.¹⁸⁴ (2011), Bonsan B. Lee y col.¹⁸⁵ (2007), Cheng y col.¹⁸⁶ (2006), y McCaughey y col.¹⁸⁷ (2015), este último se utilizaba solo si es que los pacientes podían respirar adecuadamente sin el ventilador, sino era combinado con el artefacto.

Otra utilización de la electroestimulación fue la de McCaughey y col.¹⁸⁸ (2016) que lo combinó con insuflación-exhalación mecánica simultáneamente con el estímulo. El mismo autor en el año 2015 lo combinó con ventilación mecánica simultáneamente al estímulo (en el grupo de pacientes que no podían respirar adecuadamente sin el ventilador).

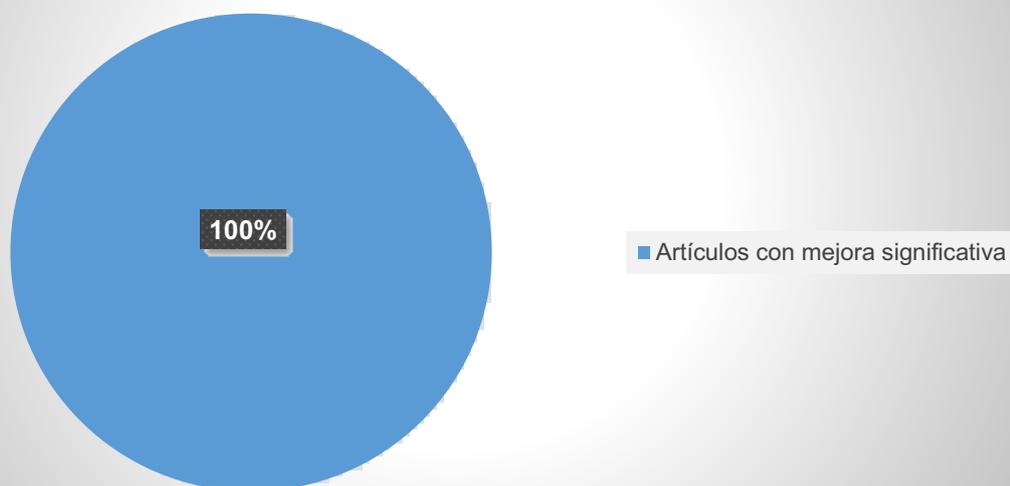
GRAFICOS CIRCULARES:



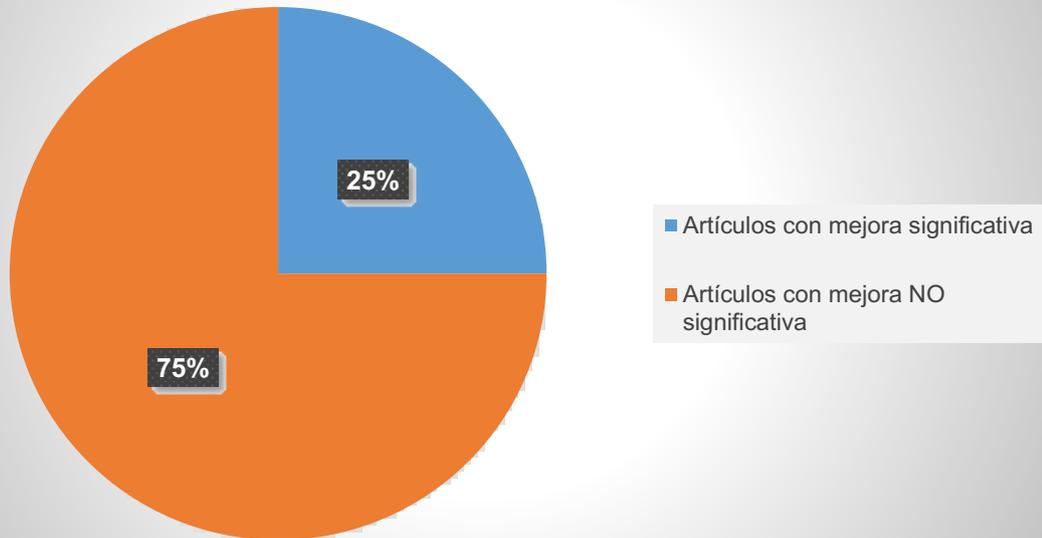
Artículos que estudiaron Pico Flujo Espiratorio



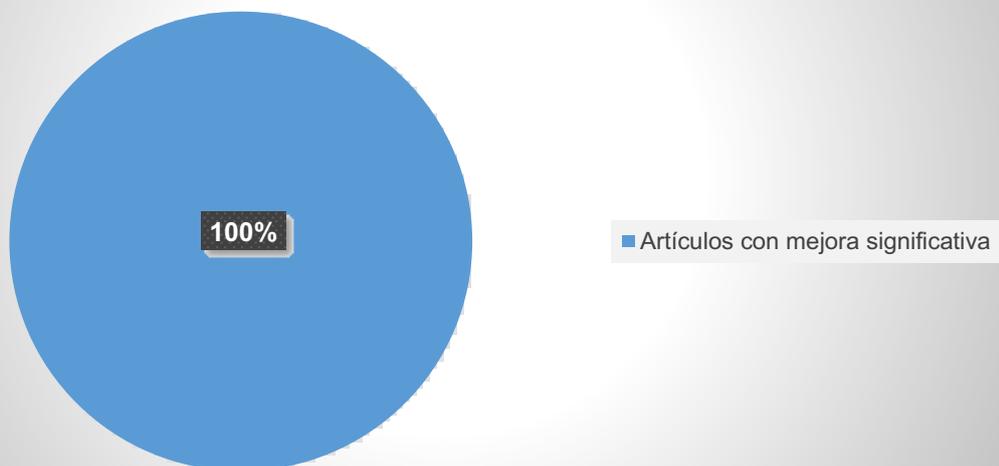
Artículos que estudiaron Pico Flujo de Tos



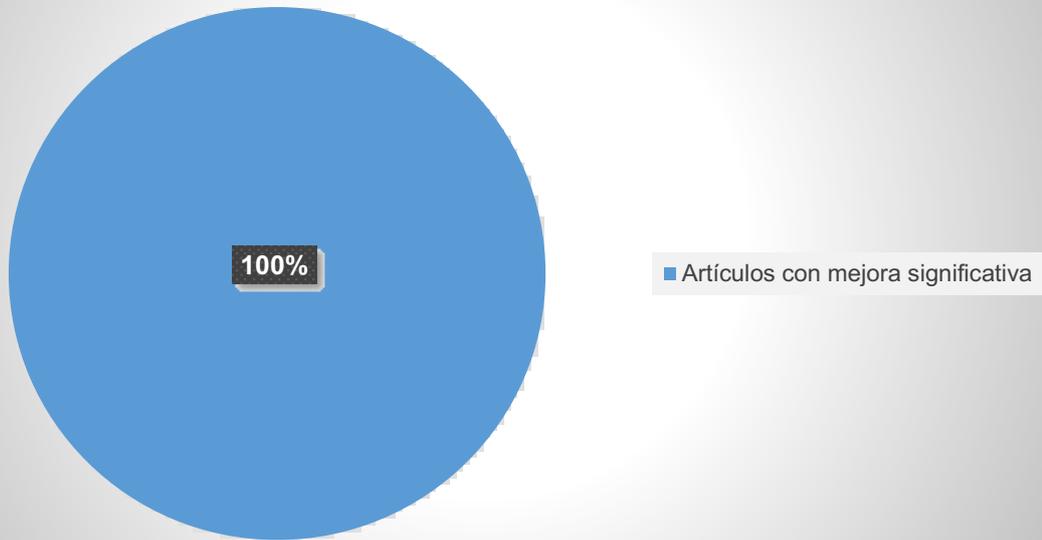
Artículos que estudiaron VEF1



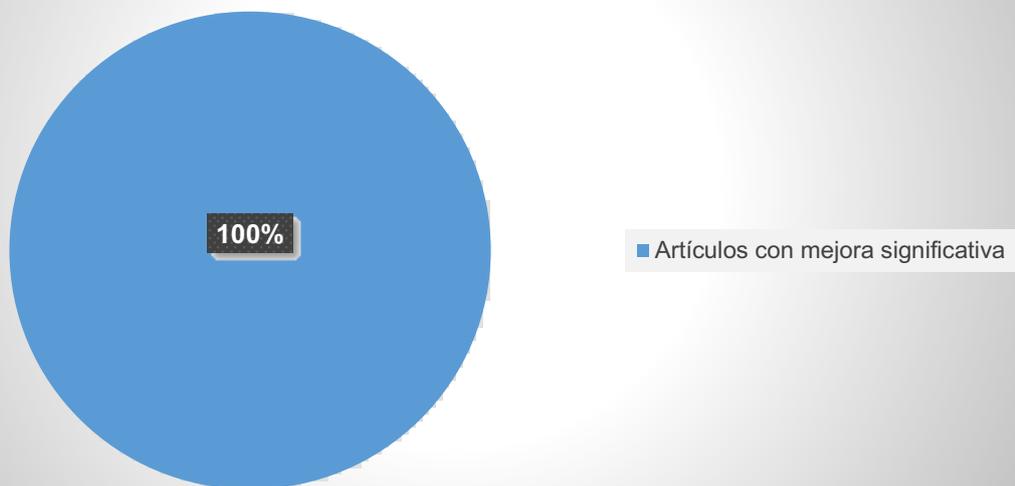
Artículos que estudiaron presión espiratoria máxima



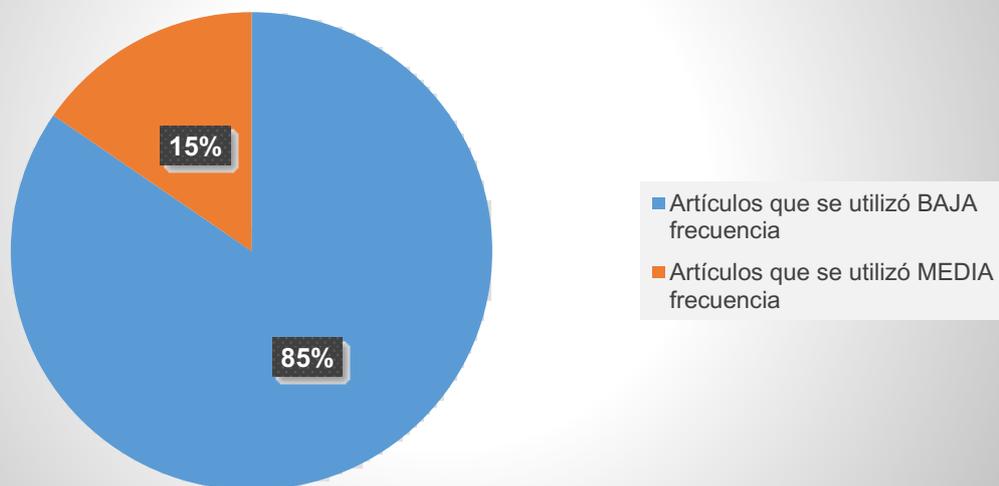
Artículos que estudiaron Volumen Tidal



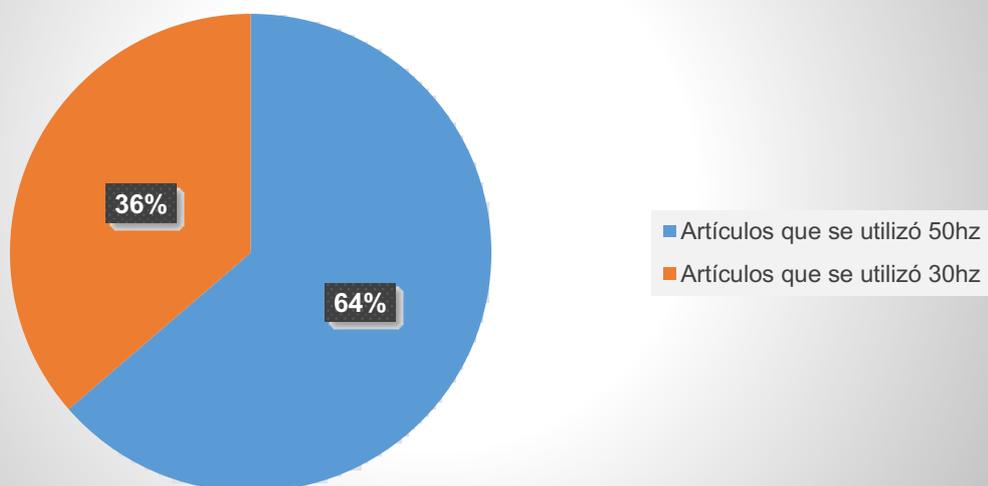
Artículos que estudiaron Capacidad Vital



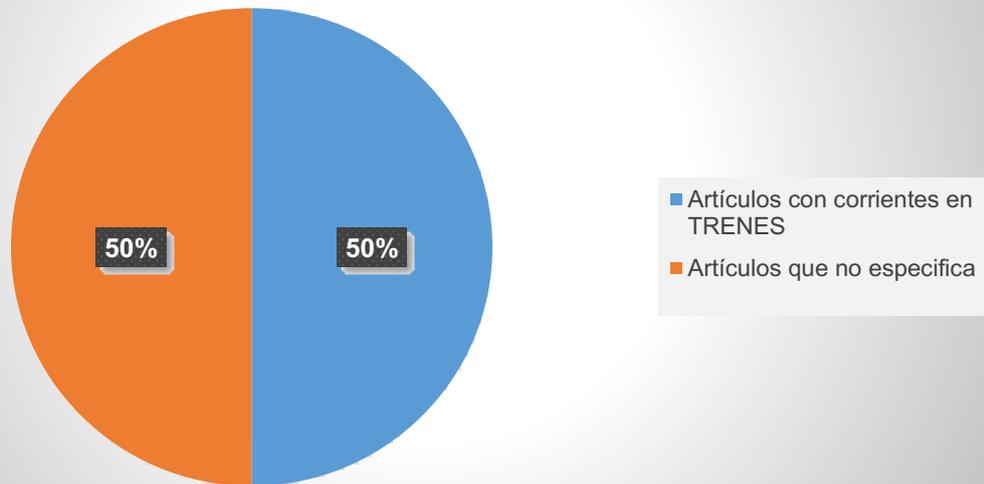
Artículos según el tipo de frecuencia de electroestimulación



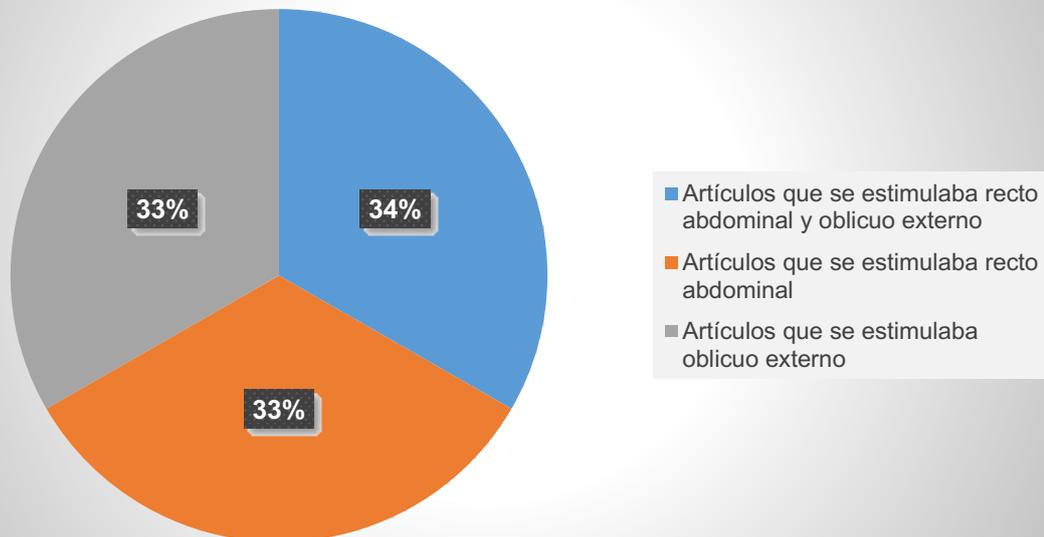
Artículos que se utilizó BAJA frecuencia



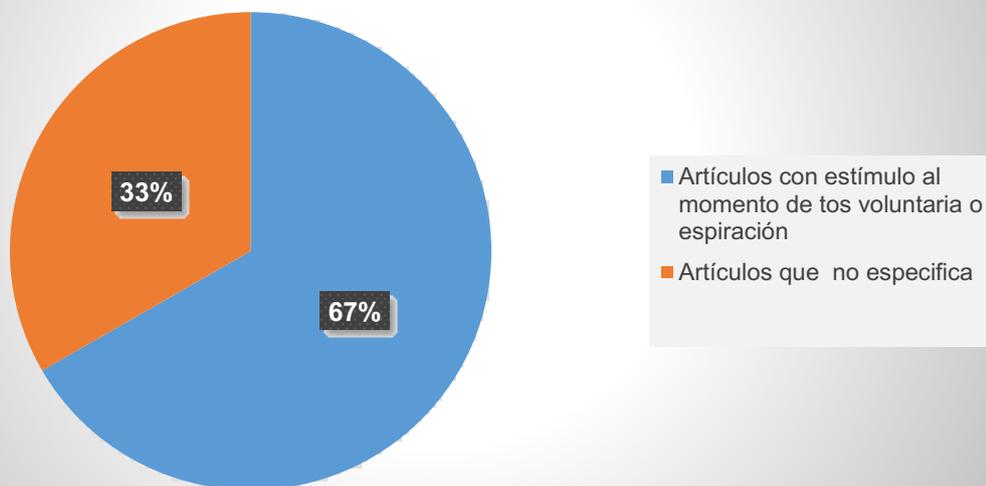
Artículos según la forma de entrega de corriente



Artículos según músculos estimulados



Artículos según el momento de estimulación eléctrica



VIII. DISCUSIÓN:

La literatura incluida sugiere que la estimulación eléctrica abdominal puede ser utilizada para mejorar la función espiratoria en los pacientes de lesión medular cervical, esta información fue confirmada por los hallazgos obtenidos en esta tesina.

En base a lo anteriormente mencionado se describirán los siguientes ítems:

Mejoras en los parámetros espiratorios:

El marco teórico plantea que FES abdominal aumenta la presión intratorácica en estos pacientes y de esta manera, aumenta las velocidades de flujo¹⁸⁹, además se resalta que si aumenta la fuerza abdominal se aumenta la presión espiratoria máxima¹⁹⁰. Otro concepto desarrollado en el mismo apartado es que la efectividad de la tos depende de la presión intrapleural generada indirectamente por la contracción de los músculos espiratorios sincronizados con la apertura de la glotis. Se requiere un nivel crítico de presión positiva intrapleural para provocar una velocidad suficientemente alta de flujo de aire espiratorio combinado con compresión dinámica de las vías respiratorias centrales que desaloja y limpia las secreciones de las vías respiratorias. Por lo tanto, la fuerza muscular abdominal es crucial para una tos efectiva¹⁹¹. Además se desarrolla que FES fortalece los músculos abdominales, demostrado a través de un cambio en la curva de frecuencia de la fuerza, aumento en el suministro de sangre muscular y conversión de la fibra muscular más resistentes a la fatiga¹⁹². La mejora de los parámetros espiratorios encontrados en los resultados de esta revisión esta en concordancia con lo que plantea el marco teórico desarrollado anteriormente, y gracias a esto, los hallazgos obtenidos presentan una semejanza con lo esperado.

Un aspecto que llama la atención es que el VEF1 sea el parámetro que menos mejoró de todos los estudiados en esta revisión, ya que se pensaba que si se aumentaba la presión intratorácica debía aumentar considerablemente, por ende hay una falta de correlación entre la teoría y el resultado solo en este caso.

Protocolos de electroestimulación:

Un concepto descrito en el marco teórico es el aumento de fuerza que genera la electroestimulación en la musculatura en pacientes con trastornos del sistema nervioso central, aumentando la calidad de vida¹⁹³. Esto fue constatado en los resultados ya que mejoraron los parámetros de espiración, y estos dependen principalmente de la fuerza abdominal, por lo tanto se deduce que esta modalidad ha cumplido con dicho concepto.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

Por otro lado se puede ver como se utiliza baja frecuencia en la mayoría de los casos, en dos artículos se realiza con media frecuencia, esta última puede ser que haya sido utilizada con el objetivo de obtener mayor reclutamiento muscular, teniendo en cuenta que es más profunda, ya que hay una disminución de la impedancia de la piel¹⁹⁴.

Otra situación a destacar es el porqué de la inclusión de los dos artículos de Real y Pavón y col.^{195, 196}. Se incluyó en esta tesina, al margen que su objetivo estaba centrado más en el habla que en las complicaciones respiratorias, porque otorgaba parámetros espiratorios válidos para la tesina. Fue estudiado el habla porque la disminución de los parámetros espiratorios que sufren estos pacientes repercute en la comunicación oral, caracterizada por dificultades en la fluidez verbal, disminución de los tiempos de fonación e hipofonía secundaria a la disminución del flujo y presión aérea¹⁹⁷. Esto nos demuestra que no son artículos que tengan objetivos similares a los otros incluidos, pero se entendió que de todas formas eran de gran importancia para aumentar el nivel de evidencia de la tesina.

Otra situación que se observa con asombro es la alta intensidad soportada por los pacientes en varios artículos, se razona que podría ser por tener la sensibilidad deteriorada en la zona de estimulación, esto lejos de ser una complicación, fue una ventaja, ya que si hubiesen tenido sensibilidad normal no lo podrían tolerar.

En los artículos que no especifica cual es la forma de entrega de corriente, se deduce que se entregaban en tren porque si se busca tetanizar y producir una contracción muscular mantenida, la única forma que se consigue es en tren, ya que este modo interrumpe la corriente y permite los tiempos de reposos necesarios¹⁹⁸.

Se incluyeron algunos artículos que combinada la electroestimulación con otros artefactos, esto fue con un objetivo de demostrar que podía ser una modalidad de rehabilitación combinada, y de esta manera aumentaría su campo de acción.

Como apreciación personal se resalta la conformidad en los parámetros encontrados de frecuencia (todos son mayor o igual a 30 hz), ya que la contracción tetanizante comienza generalmente a partir de los 20hz, y es la se busca a la hora de aplicar este método.

Incidencia de complicaciones respiratorias:

La teoría plantea que si el paciente tiene mejor fuerza abdominal, va a tener mejor parámetros espiratorios, mejor liberación de secreciones, y por ende una disminución de complicaciones respiratorias¹⁹⁹.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función espiratoria en lesión medular cervical”

El objetivo del entrenamiento con electroestimulación abdominal es reducir las probabilidades de complicaciones respiratorias al evitar la acumulación de secreciones en la vía respiratoria. El mínimo flujo pico de tos necesario para limpiar las secreciones es de 2.67 l s^{-1} y los pacientes con mayor a 4.5 l s^{-1} tienen menos riesgo de desarrollar complicaciones respiratorias²⁰⁰.

Según una interpretación personal estas complicaciones deberían disminuir, sin embargo esta tesis NO puede confirmar dicha interpretación, ya que Cheng y col. fueron los únicos autores en investigar directamente el uso de FES abdominal para reducir el riesgo de complicaciones respiratorias, donde demostraron una disminución estadísticamente significativa en complicaciones respiratorias luego de 6 meses de la intervención, durante el período de intervención²⁰¹, pero se necesita más cantidad de artículos que estudien directamente dicha incidencia para confirmar la efectividad. Por otro lado, en este mismo artículo la CVF, VEF1 y pico flujo espiratorio de este grupo de intervención aumentaron en 0.55, 0.22 y 0.97 l s^{-1} , respectivamente²⁰². Debido a la reducción de las complicaciones respiratorias asociadas con estas mejoras en la función respiratoria, estos niveles de mejoría se pueden considerar como clínicamente significativos y pueden ser un punto de referencia beneficioso para futuros estudios de FES abdominal.

Limitaciones de tesis:

El foco de los artículos incluidos fue ver si mejoraba los parámetros espiratorios para poder demostrar un potencial efecto de reducción de las complicaciones respiratorias. Pero las investigaciones incluidas en la tesis no estudiaban directamente si bajó la incidencia de estas complicaciones, el único estudio incluido que demostró esta disminución en la incidencia fue el de Cheng y col.²⁰³ (2006), pero se necesitan mayor cantidad de estos para que el nivel de evidencia sea mayor.

Otra limitación es la imposibilidad de encontrar cantidad de artículos con el objetivo de demostrar si las mejoras se mantienen en el tiempo, el único que se pudo incluir que demostró esto fue el de Cheng y col.²⁰⁴ pero, al igual que el tema anterior, hace falta mayor cantidad de artículos.

Investigaciones futuras:

En un futuro se podrían realizar estudios con modalidad similar a los incluidos en esta investigación, pero sumando el estudio directo de la incidencia de las complicaciones respiratorias.

IX. CONCLUSIONES:

Los resultados de este estudio demuestran la mejora en la función expiratoria en personas con lesión medular cervical con la utilización de electroestimulación en la musculatura abdominal, mejorando el pico flujo expiratorio, pico flujo de tos, capacidad vital forzada y volumen expiratorio forzado en 1 segundo. Este hallazgo nos orienta a un potencial efecto positivo en la disminución de la incidencia de complicaciones respiratorias en estos pacientes.

El tipo de corriente utilizada para la estimulación abdominal en estos casos puede ser de baja o media frecuencia con entrega en trenes. Se puede utilizar esta revisión como punto de referencia para la aplicación de electroestimulación teniendo en cuenta los protocolos y parámetros de corrientes expuestos.

Se destaca la importancia de realizar más investigaciones siguiendo metodologías claras y completas que permitan reevaluar o apoyar el efecto de dicha modalidad terapéutica.

Finalmente, se aclara que el objetivo de esta tesina es apuntar cada vez más a tratar al paciente lesionado medular en su globalidad, y no con una rehabilitación convencional centrada solo en ejercicios motrices. De esta forma se podría mejorar, aún más, su calidad de vida y su desempeño personal.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Instituto de Salud Pública Madrid Salud Departamento de Salud Ambiental. Electroestimulación y sus efectos en la salud. http://www.madridsalud.es/salud_publica/salud_ambiental/Tecnicas_de_Electroestimulacion.pdf (ultimo acceso 7 de septiembre 2016)
2. Robles Ortiz J, González Roig J, Saborit Oliva Y, Machado Moreno L, Jacas Prado J. Epidemiología de la lesión medular traumática. Multimed. 2012. http://bvs.sld.cu/revistas/mfr/vol_4_2_12/mfr02212.htm (ultimo acceso 10 de septiembre 2016)
3. Strassburguer L., Hernández Y., Barquín E., Lesión Medular: Guía para el manejo integral del paciente con LM crónica. Madrid. España. ASPAYM; 2014. http://www.isfie.org/documentos/guia_practica_lm.pdf (ultimo acceso 12 de septiembre 2016)
4. García D, Castillo M, Castillo J. Complicaciones respiratorias de la tetraplejía: Una mirada a las alternativas terapéuticas actuales. Revista Chilena Enfermedades Respiratorias. 2007; 23(106). <http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v23n2/art05.pdf> (ultimo acceso 12 de septiembre 2016)
5. Ibid., p. 108
6. Ibid., p. 108
7. Schilero GJ, Radulovic M, Wecht JM, Spungen AM, Bauman WA, Lesser M. A Center's Experience: Pulmonary Function in Spinal Cord Injury. Lung. 2014. 06; 192(3):339-46. http://search.proquest.com.ezproxy.unisabana.edu.co/docview/1524247108/860E_B52A33BC4715PQ/2?accountid=45375 (ultimo acceso 15 de septiembre 2016)
8. Strassburguer, Hernández, Barquín, Op. Cit., p. 74
9. Torres-Delis D. Fisioterapia respiratoria en el lesionado medular. Revista Cubana De Ortopedia y Traumatología. 2006. 15(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X2001000100008 (ultimo acceso 13 de septiembre 2016)
10. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Changes in pulmonary function measures following a passive abdominal functional electrical stimulation training program. Journal Spinal Cord Medicine. 2013 03; 36(2):97-103. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23809523> (ultimo acceso 17 de septiembre de 2016)

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

11. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Abdominal functional electrical stimulation to improve respiratory function after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Spinal Cord*. 2016; 54(9) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27067658> (ultimo acceso 17 de septiembre 2016)
12. Instituto de Salud Pública Madrid, Op. Cit., p. 1
13. Hacakova-Bartova R, Dinant J, Parent A, Ventura M. Neuromuscular electrical stimulation of completely paralyzed abdominal muscles in spinal cord-injured patients: a pilot study. *Spinal Cord*. 2008; 46(6) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18227852> (ultimo acceso 5 de septiembre)
14. McLachlan, McLean, Allan, Gollee, Op. Cit., p. 97.
15. Christopher and Dana Reeve Foundation. One Degree of Separation: Paralysis and Spinal Cord Injury in the United States. Christopher and Dana Reeve Foundation. 2009. <http://s3.amazonaws.com/reeve-assets-production/8112REPTFINAL.PDF> (último acceso 21 febrero 2018).
16. García D, Castillo M, Castillo J. Complicaciones respiratorias de la tetraplejía: Una mirada a las alternativas terapéuticas actuales. *Revista Chilena Enfermedades Respiratorias*. 2007; 23(106). <http://www.scielo.cl/pdf/rcher/v23n2/art05.pdf> (ultimo acceso 21 de febrero 2018)
17. D. J. Strauss, M. J. Devivo, D. R. Paculdo, R. M. Shavelle. Trends in life expectancy after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006 vol. 87. [http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993\(06\)00406-0/abstract](http://www.archives-pmr.org/article/S0003-9993(06)00406-0/abstract) (último acceso 21 de febrero de 2018)
18. E. Kay, A. Deutsch, D. Chen, L. Manheim, and D. Rowles. Effects of etiology on inpatient rehabilitation outcomes in 65 to 74-year-old patients with incomplete paraplegia from a nontraumatic spinal cord injury.,” *PMR*.2010. vol. 2. [http://www.pmrjournal.org/article/S1934-1482\(10\)00200-5/abstract](http://www.pmrjournal.org/article/S1934-1482(10)00200-5/abstract) . (ultimo acceso 21 de febrero de 2018).
19. Queen Elizabeth. Annual Report 2011-12. Queen Elizabeth National Spinal Injuries Unit, 2012. <http://www.spinalunit.scot.nhs.uk/wp-content/uploads/2015/05/Annual-Report-2014-15.pdf> (último acceso 21 de febrero de 2018)
20. Singh A, Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Nouri A, Fehlings MG. Global prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury. *Clinical Epidemiology* 2014.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

- <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4179833/> (último acceso 21 de febrero de 2018)
21. National Spinal Cord Injury Statistical Center, Facts and Figures at a Glance. Birmingham, AL: University of Alabama at Birmingham. 2014. <https://www.nscisc.uab.edu/Public/Facts%202016.pdf> (ultimo acceso 21 de febrero de 2018)
 22. Latarjet, Luiz Riad. *Anatomía Humana*. 4ta ed. Buenos Aires: Panamericana; 2011.
 23. Ibid., p. 143.
 24. Ibid., p. 255.
 25. Ibid., p. 141.
 26. Ibid., p. 141.
 27. Ibid., p. 144.
 28. Acevedo González, Fernando Varón, Miguel Enrique, Berbeo Calderón. Avances fisiopatológicos para el entendimiento de la lesión medular traumática. Revisión bibliográfica. *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*. 2008. https://www.researchgate.net/profile/Juan_Carlos_Acevedo_Gonzalez/publication/242635962_Avances_fisiopatologicos_para_el_entendimiento_de_la_lesion_medular_traumatica_Revision_bibliografica/links/55e2f6bf08ae2fac471fa64a/Avances-fisiopatologicos-para-el-entendimiento-de-la-lesion-medular-traumatica-Revision-bibliografica.pdf (último acceso 21 de febrero de 2018).
 29. Ibid., p. 276.
 30. Ibid., p. 277.
 31. Ibid., p. 277.
 32. Ibid., p. 278
 33. Ibid., p. 279
 34. Ibid., p. 279
 35. Ibid., p. 280
 36. Ibid., p. 280
 37. Ibid., p. 276
 38. Strassburguer L., Hernández Y., Barquín E, Op. Cit., p. 25
 39. Ibid., p. 25.
 40. ASIA American Spinal Injury Association. *International standards for neurological classification of spinal cord injury*. <http://asia-spinalinjury.org/wp->

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

[content/uploads/2016/02/International_Std Diagram Worksheet.pdf](#) (ultimo
acceso 21 de febrero de 2018)

41. Ibid., p. 1.
42. Ibid., p. 2.
43. Ibid., p. 1.
44. Kirshblum SC, Burns SP, Biering-Sorensen F, Donovan W, Graves DE, Jha A, Johansen M, Jones L, Krassioukov A, Mulcahey MJ, Schmidt-Read M, Waring W. International standards for neurological classification of spinal cord injury (Revised 2011) The Journal of Spinal Cord Medicine. 2011. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1179/204577211X13207446293695> (último acceso 21 de febrero de 2018)
45. McKinley W, Santos K, Meade M, Brooke K. Incidence and Outcomes of Spinal Cord Injury Clinical Syndromes. Spinal Cord Medicine 2007; 30(3) [.https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17684887](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17684887) (ultimo acceso 21 de febrero de 2018)
46. M. J. DeVivo. Epidemiology of traumatic spinal cord injury: Trends and future implications. Spinal Cord. vol. 50. 2012. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22270188> (ultimo acceso 21 de febrero de 2018)
47. Latarjet, Luiz riad Op. Cit., p. 897.
48. Ibid., p. 898.
49. Ibid., p. 898.
50. Ibid., p. 899.
51. Ibid., p. 900.
52. Ibid., p. 1307.
53. Ibid., p. 1308.
54. Ibid., p. 1308.
55. Ibid., p. 1308.
56. Ibid., p. 1308.
57. Ibid., p. 1309.
58. Daza Lesmes. *Evaluación Clínico-Funcional Del Movimiento Corporal Humano*. Bogota, Colombia. Panamericana. 2007.
59. Ibid., p. 76.
60. Ibid., p. 72.
61. Ibid., p. 72.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

62. Ibid., p. 72.
63. Ibid., p. 73.
64. Ibid., p. 73.
65. Ibid., p. 79.
66. Mamud Meroni Lucas. Apunte de cátedra de técnicas kinesicas 1. *Mecánica Respiratoria*. Argentina. 2012.
67. A. Esteban y C. Martín. *Manual De Cuidados Intensivos Para Enfermería*. Barcelona. Masson. 2003.
68. Li, N. C. Arora, H. Xie, H. Ning, W. Lu, D. Low, D. Citrin, A. Kaushal, L. Zach, K. Camphausen, R. W. Miller. Quantitative prediction of respiratory tidal volume based on the external torso volume change: A potential volumetric surrogate. *Physical Medicine Biology*, vol. 54, 2009. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19265201> (último acceso 21 de febrero de 2018)
69. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 2.
70. Daza Lesmes. Op. Cit., p 91.
71. Daza Lesmes. Op. Cit., p 91.
72. Daza Lesmes. Op. Cit., p 91.
73. García D, Castillo M, Castillo J. Op. Cit., p 108.
74. Ibid., p. 107.
75. Yanely Real González, Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Electroestimulación en Músculos Rectos Abdominales Para el Aumento de la Capacidad Respiratoria Proporcional Para el Habla en Personas con Lesiones Medulares Cervicales. *Revista Ecuatoriana de Neurología*. 2014; Vol. 23, (1-3) http://revecuatneurol.com/wp-content/uploads/2016/01/Electroestimulacio%CC%81n-en-mu%CC%81sculos-rectos-abdominales_REN-Vol-23-N%C2%BA1-3-2014-5.pdf (último acceso 1 de marzo de 2018)
76. Ibid., p. 107.
77. L. Diab Cáceres, E. Vázquez Espinosa, C. Marcos, R. M. Gómez Punter. Insuficiencia respiratoria crónica. Etiopatogenia. Clínica. Diagnóstico. *Medicine - Programa de Formación Médica*. 2014; vol 11. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304541214708376> (último acceso 3 de marzo de 2018.)

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

78. García D, Castillo M, Castillo J. Op. Cit., p 108.
79. Strassburguer L., Hernández Y., Barquín E, Op. Cit., p. 53.
80. Ibid., p. 75.
81. Berly M, Shem K. Respiratory management during the first five days after spinal cord injury. *Journal Spinal Cord Medicine*. 2007; 30(4) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2031940/> (ultimo acceso 3 de marzo de 2018)
82. Méndez Echevarría A, García Miguel MJ, Baquero-Artigao F, Del Castillo Martín F. Neumonía adquirida en la comunidad Asociación Española de Pediatría. 2008. <https://es.scribd.com/document/338600120/neumonia-pdf> (último acceso 3 de marzo de 2018.)
83. Torres Borrego J, López-Silvarrey Varela A, Rueda Esteban S. Atelectasias. Síndrome de lóbulo medio. *Protocolos diagnósticos y terapéuticos en Pediatría*. 2017; https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/07_atelectasia_lobulo_medio_0.pdf (último acceso 3 de marzo de 2018)
84. Michelle H. Cameron. *Agentes Físicos En Rehabilitación: De La Investigación A La Práctica*. 4ª ed. España; Elsevier; 2014.
85. Ibid., p. 223.
86. Ibid., p. 227.
87. José María Rodríguez Martín. *Electroterapia en Fisioterapia*. 3ª ed. Madrid. Panamericana; 2014.
88. Michelle H. Cameron. Op. Cit., p 227.
89. Ibid., p. 227.
90. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 21.
91. Michelle H. Cameron. Op. Cit., p 227.
92. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 43.
93. Michelle H. Cameron. Op. Cit., p 224.
94. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 331.
95. Ibid., p. 332.
96. Michelle H. Cameron. Op. Cit., p 226.
97. Ibid., p. 339.
98. Ibid., p. 339.
99. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 333.
100. Ibid., p. 333.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

101. Ibid., p. 342.
102. Michelle H. Cameron. Op. Cit., p 228.
103. Ibid., p 228.
104. Ibid., p 229.
105. Ibid., p 231.
106. Ibid., p 240.
107. Ibid., p 243.
108. Ibid., p 246.
109. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Changes in pulmonary function measures following a passive abdominal functional electrical stimulation training program. *Journal Spinal Cord Medicine*. 2013 03; 36(2):97-103. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23809523> (ultimo acceso 17 de septiembre de 2016)
110. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Capacidad respiratoria proporcional para el habla mediante electroestimulación abdominal en personas con lesiones medulares cervicales. *Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación* 2015;7(2). <http://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=64025> (último acceso 3 de marzo de 2018.)
111. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Electroestimulación en Músculos Rectos Abdominales Para el Aumento de la Capacidad Respiratoria Proporcional Para el Habla en Personas con Lesiones Medulares Cervicales. *Revista Ecuatoriana de Neurología*. 2014; Vol. 23, (1-3) <http://revecuatneurol.com/wp-content/uploads/2016/01/Electroestimulacio%CC%81n-en-mu%CC%81sculos-rectos-abdominales REN-Vol-23-N%C2%BA1-3-2014-5.pdf> (último acceso 3 de marzo de 2018.)
112. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Abdominal functional electrical stimulation to improve respiratory function after spinal cord injury: a systematic review and meta-analysis. *Spinal Cord*. 2016; 54(9) <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27067658> (ultimo acceso 17 de septiembre 2016)
113. McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, Gandevia SC, Butler JE. Abdominal muscle training can enhance cough after spinal cord injury. *Neurorehabilitation and*

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

- Neural Repair*; 2013. 27(9) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23884017> (último acceso 3 de marzo de 2018.)
114. Butler JE, Lim J, Gorman RB, Boswell-Ruys C, Saboisky JP, Lee BB, Gandevia SC. Posterolateral surface electrical stimulation of abdominal expiratory muscles to enhance cough in spinal cord injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair* 2011. 25(2). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20952633> (último acceso 3 de marzo de 2018.)
115. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Automatic electrical stimulation of abdominal wall muscles increases tidal volume and cough peak flow in tetraplegia. *Technology and Health Care*. 2008. 16(4) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18776604> (último acceso 10 de marzo de 2018.)
116. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. A control system for automatic electrical stimulation of abdominal muscles to assist respiratory function in tetraplegia. *Medical Engineering & Physics*. 2006. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17035064> (último acceso 10 de marzo de 2018.)
117. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Abdominal functional electrical stimulation to enhance mechanical insufflation-exsufflation. *Journal of Spinal Cord Medicine*; 2016. 39(6). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26689243> (ultimo acceso 10 de marzo de 2018.)
118. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Surface Functional Electrical Stimulation of the Abdominal Muscles to Enhance Cough and Assist Tracheostomy Decannulation After High-Level Spinal Cord Injury. *Journal Spinal Cord Medicine*. 2008; 31(1). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2435038/> (ultimo acceso 10 de marzo de 2018)
119. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Effect of neuromuscular electrical stimulation on cough capacity and pulmonary function in patients with acute cervical cord injury. *Journal of Rehabilitation Medicine* 2006. 38(1) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16548084> (último acceso 10 de marzo de 2018.)

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

120. Euan J. McCaughey, Helen R. Berry, Alan N. McLean, David B. Allan, Henrik Gollee. Abdominal Functional Electrical Stimulation to Assist Ventilator Weaning in Acute Tetraplegia: A Cohort Study. *PLoS One*. 2015. Vol 10(6)
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4457912/> (ultimo acceso 10 de marzo de 2018)
121. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, MBBS, Simon C. Gandevia, MD, and Jane E. Butler. Electrical Stimulation of Abdominal Muscles to Produce Cough in Spinal Cord Injury: Effect of Stimulus Intensity. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2014.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25323460> (ultimo acceso 10 de marzo de 2018.)
122. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 98.
123. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
124. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 36.
125. McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, Gandevia SC, Butler JE. Op. Cit., p 837.
126. Butler JE, Lim J, Gorman RB, Boswell-Ruys C, Saboisky JP, Lee BB, Gandevia SC. Op. Cit., p 160.
127. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 4.
128. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 800.
129. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 722.
130. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79.
131. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
132. Euan J. McCaughey, Helen R. Berry, Alan N. McLean, David B. Allan, Henrik Gollee. Op. Cit., p 3.
133. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, MBBS, Simon C. Gandevia, MD, and Jane E. Butler. Op. Cit., p 3.
134. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 99.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

135. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
136. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 37.
137. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 723
138. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
139. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 34.
140. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
141. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
142. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 723
143. Butler JE, Lim J, Gorman RB, Boswell-Ruys C, Saboisky JP, Lee BB, Gandevia SC. Op. Cit., p 160.
144. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
145. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
146. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
147. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 99.
148. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723
149. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia, , Jane E. Butler. Op. Cit., p 3.
150. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia, Jane E. Butler. Op. Cit., p 35.
151. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 4.
152. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 800.
153. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia, Jane E. Butler. Op. Cit., p 35.
154. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 99.
155. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

156. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
157. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
158. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
159. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
160. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
161. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
162. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 4.
163. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 800.
164. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
165. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
166. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
167. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 37.
168. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
169. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia, , Jane E. Butler. Op. Cit., p 3.
170. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
171. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 36.
172. McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, Gandevia SC, Butler JE. Op. Cit., p 841.
173. Butler JE, Lim J, Gorman RB, Boswell-Ruys C, Saboisky JP, Lee BB, Gandevia SC. Op. Cit., p 160.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
expiratoria en lesión medular cervical”

174. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
175. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
176. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 4.
177. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 800.
178. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.
179. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 36.
180. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
181. McCaughey E, Borotkancis R, Gollee H, Folz R, McLachlan A. Op. Cit., p 7.
182. McLachlan AJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Op. Cit., p 99.
183. McBain RA, Boswell-Ruys CL, Lee BB, Gandevia SC, Butler JE. Op. Cit., p 841.
184. Butler JE, Lim J, Gorman RB, Boswell-Ruys C, Saboisky JP, Lee BB, Gandevia SC. Op. Cit., p 160.
185. Bonsan B Lee, FAFRM, MBBS, MMed (Clin Epi), MHA, Claire Boswell-Ruys, BSc, BAppSc, Jane E Butler, BSc, PhD, Simon C Gandevia, PhD, MD, DSc, FAA, FRACP. Op. Cit., p 79
186. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
187. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723
188. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723
189. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723
190. García D, Castillo M, Castillo J. Op. Cit., p 108
191. Gollee H, Hunt KJ, Allan DB, Fraser MH, McLean AN. Op. Cit., p 800.
192. Rachel A. McBain, PhD^{1,2}, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon C. Gandevia, Jane E. Butler. Op. Cit., p 35.
193. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 334.
194. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez, Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez. Op. Cit., p 166.

“Efectos de la electroestimulación en la musculatura abdominal sobre la función
espiratoria en lesión medular cervical”

195. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez,
Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez.
Op. Cit., p 166.
196. Yanely Real González,. Nancy Pavón Fuentes, Anairis Rodríguez Martínez,
Dr. Yunio Torres Cárdenas, Mayda López Hernández, Gabriel Martínez Rodríguez.
Op. Cit., p 36.
197. Ibid., p 41.
198. José María Rodríguez Martín. . Op. Cit., p 334.
199. McCaughey, McLean AN, Allan DB, Gollee H Op. Cit., p 723
200. Rachel A. McBain, PhD1,2, Claire L. Boswell-Ruys, Bonsan B. Lee, Simon
C. Gandevia, Jane E. Butler. Op. Cit., p 35.
201. Cheng PT, Chen CL, Wang CM, Chung CY. Op. Cit., p 33.
202. Ibid., p 41.
203. Ibid., p 33.
204. Ibid., p 42