

Universidad CEU-Cardenal Herrera

Departamento de Fisioterapia



**Efectos analgésicos de la aplicación de Estimulación Nerviosa Eléctrica
Transcutánea en colonoscopias sin sedación**

TESIS DOCTORAL

Presentada por: D. Juan José Amer Cuenca

Dirigida por: Dr. D. Juan Francisco Lisón Párraga

Dr. D. Carlos Goicoechea García

VALENCIA

2011

D. Juan Francisco Lisón Párraga, Director y Profesor del Departamento de Fisioterapia de la Universidad CEU-Cardenal Herrera de Valencia

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado **“Efectos analgésicos de la aplicación de Estimulación Nerviosa Eléctrica Transcutánea en colonoscopias sin sedación”**, realizado bajo mi dirección en el Departamento de Fisioterapia de la Universidad CEU-Cardenal Herrera de Valencia por D. Juan José Amer Cuenca, Máster en Fisioterapia, reúne todos los requisitos legales y académicos necesarios para que el interesado pueda optar al título de Doctor por dicha Universidad.

Valencia, 9 de noviembre de 2010



Dr. D. Juan Francisco Lisón Párraga

D. Carlos Goicoechea García Profesor del Departamento de Farmacología y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid.

CERTIFICA:

Que el trabajo titulado **“Efectos analgésicos de la aplicación de Estimulación Nerviosa Eléctrica Transcutánea en colonoscopias sin sedación”**, realizado bajo mi dirección en el Departamento de Fisioterapia de la Universidad CEU-Cardenal Herrera de Valencia por D. Juan José Amer Cuenca, Máster en Fisioterapia, reúne todos los requisitos legales y académicos necesarios para que el interesado pueda optar al título de Doctor por dicha Universidad.

Alcorcón, 29 de noviembre de 2010



Dr. D. Carlos Goicoechea García

A Mari, Joan i Marc

Índice

Índice de contenidos

ÍNDICE DE CONTENIDOS	11
ÍNDICE DE TABLAS	14
ÍNDICE DE FIGURAS	15
I. INTRODUCCIÓN	19
I.1. COLONOSCOPIA	19
I.1.1. La colonoscopia: generalidades	19
I.1.2. Complicaciones de la colonoscopia	22
I.1.3. Limitaciones de la colonoscopia	23
I.1.4. Sedación en colonoscopia	26
I.1.5. Colonoscopia sin sedación farmacológica	28
I.1.6. Colonoscopia y estimulación somática	30
I.2. ESTIMULACIÓN NERVIOSA ELÉCTRICA TRANSCUTÁNEA (TENS)	36
I.2.1. TENS: Generalidades	36
I.2.2. Característica biofísicas de TENS	39
I.2.2.1. Forma del impulso	40
I.2.2.2. Duración del impulso	41
I.2.2.3. Frecuencia	42
I.2.2.4. Electrodo y colocación	43
I.2.2.5. Intensidad	48
I.2.2.6. Modos de estimulación	50
I.2.3. Efectos fisiológicos de TENS	53
I.2.3.1. Efectos fisiológicos periféricos	56

I.2.3.2. Efectos fisiológicos espinales	58
I.2.3.3. Efectos fisiológicos supraespinales	62
I.2.3.4. Efectos vasculares periféricos	63
I.2.3.5. Efectos sobre la velocidad de conducción nerviosa..	65
I.2.3.6. Efectos sobre la actividad muscular	66
I.2.4. Consideraciones para la aplicación de TENS	67
I.2.5. Indicaciones generales de TENS	73
I.2.6. Peligros y precauciones en la aplicación de TENS	85
I.3. TENS EN COLONOSCOPIAS: PROPUESTA PARA SU APLICACIÓN ...	88
II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	93
III. MATERIAL Y MÉTODOS	97
III.1. SUJETOS	97
III.2. DISEÑO	98
III.3. PROCEDIMIENTO	100
III.3.1. Instrumentos	100
III.3.2. Aplicación de TENS	102
III.4. VARIABLES DEL ESTUDIO	103
III.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	106
IV. RESULTADOS	111
IV.1. SUJETOS DEL ESTUDIO	111
IV.2. DOLOR	113
IV.3. HINCHAZÓN	116
IV.4. DESARROLLO DE LA COLONOSCOPIA	117

V. DISCUSIÓN	121
VI. CONCLUSIONES	133
VII. AGRADECIMIENTOS	137
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
IX. ANEXOS: Artículos publicados. Consentimiento informado	177

Índice de tablas

Tabla I. Información descriptiva de los estudios seleccionados	34
Tabla II. Intensidades en TENS por nivel de estimulación	48
Tabla III. Modalidades básicas de TENS	52
Tabla IV. Evidencia publicada respecto a TENS	75
Tabla V. Variables del estudio	106
Tabla VI. Características de los sujetos	113
Tabla VII. Resultados de la escala Likert de 5 puntos del dolor	115
Tabla VIII. Resultados de la EVA hinchazón 0-100 mm	117
Tabla IX. Escala Likert de 4 puntos sobre el desarrollo general del procedimiento	118

Índice de figuras

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda	33
Figura 2. Formas de impulso eléctrico	40
Figura 3. Colocación de electrodos paravertebral	47
Figura 4. Mecanismos fisiológicos del dolor activados por TENS	56
Figura 5. Variaciones programadas de la frecuencia	69
Figura 6. Colonoscopia	100
Figura 7. Equipo de electroterapia empleado	101
Figura 8. Colocación de los electrodos	102
Figura 9. EVA de la sensación de dolor	103
Figura 10. Escala verbal, discreta, de cinco puntos, tipo Likert	104
Figura 11. EVA de la sensación de hinchazón	105
Figura 12. Diagrama de flujo de los sujetos del estudio	112
Figura 13. Resultados EVA del dolor	114
Figura 14. Evolución de la EVA intragrupos durante el procedimiento ..	116

Introducción

I. INTRODUCCIÓN

I.1. COLONOSCOPIA

I.1.1. La colonoscopia: generalidades

La exploración del colon y sus segmentos (recto, sigma, descendente, transverso, ascendente, y ciego) así como de los últimos 15-20 cm de íleon, conocida como colonoscopia, es uno de los tipos de endoscopia digestiva que existen. La endoscopia digestiva es un procedimiento médico que utiliza un sistema óptico para poder visualizar el interior del tubo digestivo. Se denomina gastroscopia cuando se estudia el tubo digestivo superior (esófago, estómago e intestino delgado), y colonoscopia cuando se estudia el tubo digestivo inferior. Para la realización de todas las endoscopias digestivas bajas (colonoscopia, rectoscopia, sigmoidoscopia), se emplea un tubo flexible llamado endoscopio o colonoscopio, que es introducido a través del ano. En su extremo se sitúa una cámara de video que permite la visualización directa de todo el recorrido a lo largo del intestino. El endoscopio contiene canalizaciones en su interior que permiten (Schmidt 2004):

- Inyectar aire o líquido para distender el tubo digestivo e inspeccionarlo, así como lavar la zona inspeccionada.
- Introducir unas micropinzas para la realización de biopsias y tomar muestras de tejido para su estudio microscópico, extraer pequeños cuerpos extraños que se hayan ingerido accidentalmente mediante aspiración, cauterizar varices o lesiones hemorrágicas, etc.
- Introducir microtijeras y otras herramientas para realizar intervenciones en el esófago, estómago o intestino (extracción de pólipos, tumores, etc.).

Los orígenes de la técnica se remontan a 1971, momento en el que Wolff y Shinya (1971) completaron las primeras colonoscopias. Hoy en día la colonoscopia, por diversas causas, está considerada la técnica diagnóstica más dificultosa de entre las endoscopias digestivas (Taylor et al. 2003, Svensson et al. 2002, Steine 1994). Esto es debido, por una parte, a que en el colon puede haber presencia de estenosis, adherencias u otras alteraciones que van a imposibilitar la progresión del endoscopio, y por otra parte, porque las fijaciones naturales del mesocolon hacen de la colonoscopia una técnica exploratoria habitualmente dolorosa (Takahashi et al. 2005a). Dichas circunstancias hacen que no siempre sea posible completar la colonoscopia en todos los pacientes (Hafner 2007).

El empleo de la colonoscopia tiene dos vertientes: diagnóstica y/o terapéutica. Las principales indicaciones de la colonoscopia, desde la vertiente diagnóstica, se resumen en (Schmidt 2004, Hafner 2007):

- Estudio de hemorragias digestivas (anemia ferropénica).
- Pacientes con diarrea crónica o cambio del ritmo de deposiciones no aclarado.
- Enfermedad inflamatoria intestinal (Crohn / Colitis Ulcerosa).
- Despistaje, diagnóstico y control de pacientes con riesgo de cáncer de colon.
- Valoración de alteraciones radiológicas con supuesta trascendencia clínica.
- Estudio de síndrome neoplásico sin localización de tumor primario.

Los principales usos terapéuticos de la técnica son:

- Exéresis de pólipos colónicos.
- Hemostasia de lesiones sangrantes (divertículos, angiodisplasias).
- Dilatación de estenosis de colon.
- Descompresión intestinal.

- Colocación de prótesis expandibles (tratamiento paliativo de neoplasias).
- Extracción de cuerpos extraños.

De todas las indicaciones de la colonoscopia, la más destacada en cuanto a volumen de pacientes y en cuanto a la trascendencia de la patología, es la de la detección y exéresis de pólipos cancerosos (Pignone et al. 2002). El cáncer colorrectal es el cuarto tipo de cáncer más diagnosticado y el segundo en cuanto a mortalidad. En los años 80 del pasado siglo, una persona de 50 años tenía un 5% de probabilidades de sufrir a los 80 años un cáncer colorrectal y un 2.5% de riesgo de morir por su causa (Seidman et al. 1985). En un esfuerzo por reducir la morbimortalidad asociada al cáncer colorrectal la guía de la *American Society of Gastrointestinal Endoscopy* (ASGE) del año 2006 señala que la colonoscopia debe ser técnica primaria de diagnóstico en el cáncer colorrectal, ya que ha demostrado en múltiples estudios que su utilización reduce significativamente su incidencia, en un porcentaje que oscila entre un 76% y un 90% (Davila et al. 2006). En un estudio sobre 400 pacientes en Noruega a los que se les había realizado una colonoscopia con exéresis de pólipos sospechosos se realizó un seguimiento durante 13 años y sus datos fueron comparados con 399 pacientes que durante el mismo periodo de tiempo no realizaron ningún cribado de cáncer colorrectal. A los 13 años, el riesgo relativo de sufrir cáncer fue de 0.2 en el grupo colonoscopia comparado con el grupo control (Thiis-Evensen et al. 1999). Es por ello, que está recomendada la realización de una colonoscopia cada 10 años, a partir de los 50, en la población considerada con factor de riesgo (Pignone et al. 2002). La colonoscopia es un procedimiento que no ve aumentado con la edad el riesgo de complicaciones derivado de su realización (Karajeh et al. 2006). Por todo ello, el volumen de colonoscopias que se viene realizando en los distintos sistemas sanitarios es cada vez más importante (Sánchez et al. 2005).

Las contraindicaciones absolutas para la realización de una colonoscopia son escasas (Schmidt 2004): sospecha de perforación intestinal, megacolon tóxico/colitis fulminante y diverticulitis aguda grave.

Entre las contraindicaciones relativas podemos incluir a pacientes con insuficiencia respiratoria grave o insuficiencia cardíaca descompensada, pacientes no colaboradores (psiquiátricos), y el infarto de miocardio reciente (inferior a 3 semanas), todas ellas siempre en función de la urgencia del diagnóstico endoscópico. La técnica de la colonoscopia se realiza de forma rutinaria en prácticamente todos los centros hospitalarios e incluso en centros de especialidades donde acuden pacientes ambulatorios (Sánchez et al. 2005).

I.1.2. Complicaciones de la colonoscopia.

A pesar de que la colonoscopia está asociada a un claro beneficio clínico y suscita un amplísimo consenso científico (Winawer et al. 2003), su aplicación no está exenta de riesgos. Aún siendo que el número de complicaciones importantes es limitado, el creciente volumen de colonoscopias que se viene realizando hace que en cifras totales, el número de colonoscopias con complicaciones, incluida la muerte, se haya convertido en un problema clínico a tener en consideración (Winawer et al. 2003, Levin et al. 2006b). Las principales complicaciones directamente relacionadas con la técnica de aplicación de la colonoscopia son el sangrado y la perforación. En un análisis retrospectivo de 16318 colonoscopias (Levin et al. 2006b), se identificaron complicaciones relacionadas con el procedimiento en 1 de cada 200 exploraciones, concretamente en 82 casos (5.0 por 1000). De ellos, el 95% correspondía a colonoscopias con biopsia o polipectomía. De los 82 casos con complicaciones, 15 fueron perforaciones del colon; 6 síndromes postpolipectomía; 53 casos de sangrado que requirieron hospitalización (15 casos de sangrado necesitaron cirugía o transfusión y 38 sólo de observación); 6 casos de diverticulitis (2 casos requirieron cirugía y 4 casos observación y antibióticos); y otras 2 complicaciones serias no especificadas relacionadas con el procedimiento. La tasa de muerte en los 30 días posteriores a la colonoscopia se situó en el 0.6 por 1000 (10 pacientes, aproximadamente 1 cada 1700). La colonoscopia que incluía biopsia se asoció a un riesgo mayor de

complicaciones importantes (7.0 por 1000) comparada con la colonoscopia sin biopsia (0.8 por 1000). El sangrado postbiopsia o postpolipectomía ocurrió en el 4.8 por 1000 de los procedimientos. En el caso de la extracción de pólipos de un tamaño mayor a 10 mm la tasa de complicaciones era mayor (11.4 por 1000) que en los pólipos menores (6.5 por 1000). La complicación importante más frecuente en las colonoscopias sin biopsia fue la perforación (4.8 por 1000). No obstante, en otro estudio retrospectivo sobre 78702 colonoscopias a lo largo de 6 años (Iqbal et al. 2005) el número de perforaciones fue de 66 (0.84 por 1000). Concordando con estos resultados, recientemente, Rabeneck et al (2008) mostraron que sobre 97091 colonoscopias realizadas en Canadá, la proporción de sangrado fue de 1.64 por 1000; la de perforación de 0.85 por 1000; y la tasa de muerte de 0.074 por 1000, aproximadamente 1 de cada 14000 pacientes.

Incluso en las colonoscopias que son consideradas de más alto riesgo, las polipectomías, el número de complicaciones importantes es calificado como muy bajo (Heldwein et al. 2005, Paspatis et al. 2008). Otro dato que constata el bajo riesgo de complicaciones lo encontramos en la guía de la ASGE, en la que consideran a las colonoscopias como un procedimiento de riesgo bajo, incluso para pacientes en tratamiento con anticoagulantes, ya que el sangrado se encuentra prácticamente ausente en las colonoscopias diagnósticas (Eisen et al. 2002).

I.1.3. Limitaciones de la colonoscopia.

Una de las limitaciones para la aceptación del procedimiento por parte de los pacientes está relacionada con la preparación previa necesaria. Esta preparación consiste en la limpieza exhaustiva del colon para una correcta valoración de la mucosa, que obliga a los pacientes a seguir una dieta sin residuos 48h antes y una dieta estricta líquida las 24h previas, así como a la toma de soluciones evacuentes (Schmidt 2004, Hafner 2007). Otro factor limitante está relacionado con la naturaleza del abordaje que

necesita esta técnica, realizado a través del ano. Los pacientes pueden considerarla invasiva y vergonzante y provocar ansiedad antes, durante y después de la colonoscopia (Salmon et al. 1994, Harewood et al. 2002). Por otro lado, la insuflación de aire o gas durante todo el procedimiento, para distender las paredes abdominales, produce en el paciente una sensación de hinchazón abdominal importante, pudiendo resultar muy dolorosa (Limoges y Rickabaugh 2004). En un estudio diseñado para la validación de una escala de valoración de la satisfacción del paciente en colonoscopias (Salmon et al. 1994) se demostró que la experiencia de los pacientes por la colonoscopia es multidimensional, agrupándose en tres componentes: satisfacción, dolor físico y angustia emocional; siendo el dolor el factor más influyente en la valoración de la técnica por parte de los pacientes.

El dolor en las colonoscopias ha sido, desde sus inicios, la limitación principal para su aplicación, y por ello la colonoscopia continúa estando considerada como una experiencia traumática (Salmon et al. 1994). El dolor que produce en el paciente la realización de una colonoscopia es inherente a la aplicación de la técnica, ya que durante la misma se ha de insuflar gas (CO₂ o aire) de forma obligatoria, con el objetivo de distender las paredes del colon, y así poder visualizar la mucosa de forma completa, generándose por ello dolor abdominal (Knowles y Aziz 2009). Asimismo, durante las maniobras para vencer las curvas fisiológicas, sobre todo a nivel de los ángulos esplénico y hepático del colon, se producen tracciones del mesocolon que se traducen en el paciente en un dolor intenso y punzante, a veces de una intensidad tal que puede obligar a suspender la exploración, sin haberse completado (Hafner 2007, Moisset et al. 2009). Las tracciones y distensiones e incluso los espasmos musculares reflejos, producidos por la acción del endoscopio, estimulan las terminaciones nerviosas sensitivas del colon originando el dolor visceral (Bielefeldt y Gebhart 2005). Las aferencias viscerales espinales de los nervios esplénicos son la principal fuente responsable de la nocicepción visceral; sus terminaciones nerviosas libres abarcan todas las paredes del intestino y son, en su mayor parte, amielínicas (fibras C) con una minoría que presentan una pequeña mielinización (fibras Aδ) (Knowles y Aziz 2009). Además de estas

terminaciones nerviosas libres, existen tres grupos más de receptores (Schmidt 2004):

- Mecano-receptores tónicos (o de amplio espectro) que responden a la tensión de las paredes y presentan un umbral de excitación bajo.
- Mecano-receptores fásicos (o de umbral alto) que responden sólo a estímulos dolorosos de distensión.
- Nociceptores *silenciosos*: sólo se activan ante mediadores inflamatorios.

Toda esta información hace sinapsis en el asta posterior de la médula espinal, al igual que lo hacen las aferencias somáticas,(Holzer 2006, Knowles y Aziz 2009). Frecuentemente, junto al dolor producido por la colonoscopia se asocian manifestaciones vegetativas tales como palidez, sudoración intensa y mareo. El porqué de estas manifestaciones secundarias asociadas al dolor puede deberse a que la distensión dolorosa intestinal produce estímulos viscerosensitivos que tienen su integración en una amplia y difusa red neuronal central (Moisset et al. 2009).

Además de las tracciones y distensiones, inherentes a la técnica, el grado de dolor producido durante una colonoscopia estará influido por la duración del procedimiento, las variaciones anatómicas, el umbral del dolor del paciente y la experiencia en la realización de la técnica del endoscopista (Froehlich et al. 2006, Gasparovic et al. 2003, Hull y Church 1994).

Como en otras áreas de las ciencias de la salud, actualmente se intenta incorporar a la práctica de la colonoscopia la implementación de programas de mejora progresiva de la calidad (Sánchez et al. 2005). En el caso de las colonoscopias, el evitar o disminuir el dolor, no tiene como objetivo únicamente aumentar la satisfacción del paciente; ya que si los pacientes, u otros próximos a ellos, perciben una prueba como más desagradable, son más propensos a no acudir a las citas concertadas para su realización (Salmon et al. 1994). A su vez, se ha demostrado que los

recuerdos que tienen los pacientes sobre procedimientos desagradables a los que han sido sometidos influyen en su decisión futura sobre el consentimiento para realizar un tratamiento (Erskine et al. 1990). De este modo, el dolor debe ser reducido significativamente durante las colonoscopias, para así evitar que haya una menor predisposición a someterse al mismo procedimiento, en el caso de que surja un nuevo problema de salud, en el cumplimiento de medidas terapéuticas prescritas o para futuras revisiones rutinarias (Redelmeier et al. 2003, Frazier et al. 2000).

I.1.4. Sedación en colonoscopia.

Con el objetivo de eliminar o disminuir el dolor asociado a las colonoscopias, la sedación y la premedicación farmacológica se han convertido en un procedimiento rutinario en muchos centros. Un estudio observacional sobre 21 centros de 11 países, encontró que en 19 centros la mayoría de los pacientes (>85%) recibían combinaciones de diferentes métodos de sedación (Harris et al. 2007). En el caso de España, la situación es distinta. En una reciente encuesta realizada en 197 unidades de endoscopia se comprobó que el uso de la sedación varía enormemente según los centros, no pudiendo referirse, en cualquier caso, que su uso esté completamente establecido; como ejemplo, en casi un tercio de los centros estudiados la aplicación de la sedación no superaba el 20% de los pacientes (Baudet et al. 2009). El uso de la sedación y analgesia farmacológica por un lado favorece la tolerancia a procedimientos desagradables, ya que disminuyen la ansiedad, incomodidad y el dolor; y por otro lado permite que pueda realizarse la prueba en el caso de niños y adultos que no cooperen, ya que evita que se muevan durante el procedimiento (Lichtenstein et al. 2008). El objetivo de la sedación en los procedimientos endoscópicos es aliviar la ansiedad y el dolor, con el mayor efecto amnésico posible sobre la exploración, al mismo tiempo que se preserva la función cardiorrespiratoria (Levin et al. 2006a). Por lo general, las exploraciones diagnósticas y terapéuticas poco complejas pueden realizarse con éxito con sedación

consciente (Lichtenstein et al. 2008). Es fundamental en todos los casos realizar la sedación bajo la supervisión de un anestesiólogo, especialmente en pacientes con riesgo mayor de complicaciones: edades extremas de la vida, enfermedad cardiopulmonar grave, embarazo, abuso de alcohol, drogas, vía aérea de difícil intubación, obesidad mórbida, etc. (Bell et al. 1991); aun a pesar del aumento de costes que para los sistemas sanitarios esto supone (Lichtenstein et al. 2008). Existen protocolos en ciertos servicios endoscópicos para el uso de sedación/analgesia por no anestesiólogos; en este caso por el propio médico que realiza la exploración, lo que repercute de forma negativa en el desarrollo de la prueba, ya que resta atención acerca de los hallazgos de la propia colonoscopia, en detrimento de los cuidados y atenciones a los que obliga el hecho de que el paciente esté sedado (Harris et al. 2007). La sedación farmacológica, aparte de los recursos humanos mencionados, necesita de instalaciones y material específicos: tomas de oxígeno y de vacío, salas de recuperación del paciente, capnógrafo para identificar la posible aparición de apneas, equipo completo de resucitación cardiopulmonar, así como un desfibrilador (Lichtenstein et al. 2008). Por último, se debe tener en cuenta el coste social por el tiempo que el paciente debe estar en el centro sanitario durante el periodo de recuperación tras la sedación y la necesidad de que acuda acompañado a la prueba (Gasparovic et al. 2003, Takahashi et al. 2005b).

Los principales fármacos usados para sedo-analgesia en colonoscopias pueden resumirse en (Gasparovic et al. 2003, Horn y Nesbit 2004):

- Benzodiacepinas (midazolam, diazepam): fármacos con propiedades ansiolíticas y amnésicas
- Opioides (meperidina, petidina, fentanilo, remifentanilo): con propiedades analgésicas.
- Hipnóticos: (propofol): con propiedades sedantes, hipnóticas y amnésicas pero con mínima acción analgésica.

- Combinaciones de los grupos anteriores (lo más frecuente en la práctica).

El uso de este tipo de fármacos lleva asociado ciertos riesgos, que en el caso de las combinaciones de fármacos producen efectos sumatorios (Gasparovic et al. 2003). En el caso de las benzodiacepinas, el efecto adverso más importante es la depresión respiratoria; en el caso de los opioides son la depresión respiratoria, náuseas, vómitos, retención urinaria, estreñimiento, y mioclonías (Levin et al. 2006b). En algunos casos, los efectos secundarios son leves, por ejemplo las flebitis que aparecen sobre todo cuando se perfunde prolongadamente diazepam en venas de pequeño calibre; o el dolor en el punto de inyección, muy relacionado con el uso de propofol (Froehlich et al. 2006). No obstante, las complicaciones más frecuentes son las cardiorrespiratorias, incluyendo hipoxemia, hipotensión y arritmias, todas ellas potencialmente muy graves (Gasparovic et al. 2003)

El empleo rutinario de la sedación no está exento de riesgos ni de efectos secundarios, especialmente en ancianos y en pacientes afectados por patología cardiorrespiratoria; así pues, los métodos que pudieran conseguir la analgesia durante la realización de las colonoscopias sin emplear la sedación farmacológica deberían ser explorados con el fin de valorar su pertinencia (Leung 2009).

I.1.5. Colonoscopia sin sedación farmacológica.

Algunos autores sugieren que la colonoscopia realizada sin ningún tipo de sedación o anestesia puede ser percibida por los pacientes con un nivel de satisfacción admisible (Leung et al. 2008, Tsai et al. 2008, Cacho et al. 2000). No obstante, la anatomía de la zona y la naturaleza de la vía nociceptiva, así como el umbral del dolor, hacen que el procedimiento aplicado sin sedación pueda llegar a producir un dolor inaceptable (Gasparovic et al. 2003, Fanti et al. 2003). En relación a la tasa de éxito del procedimiento sin sedación, algunos autores afirman que ésta disminuye

(Radaelli et al. 2006), mientras otros no encuentran cambios significativos con respecto al uso de la sedación (Ristikankare et al. 1999).

Las ventajas de la realización de colonoscopias sin sedación farmacológica se podrían resumir en (Takahashi et al. 2005b, Leung 2009):

- No hay riesgo de complicaciones relacionadas con la medicación (arritmias, hipotensión, hipoxias).
- Menor necesidad de monitorización y de preparar una vía intravenosa.
- El paciente no precisa asistir obligatoriamente acompañado a la prueba.
- No es necesario un tiempo de espera tras el procedimiento para recuperarse.
- No hay restricción a la actividad de ningún tipo tras la colonoscopia.
- Ahorra costes económicos (materiales y de personal).
- Permite la comunicación paciente-personal sanitario durante la prueba.
- Permite al paciente realizar cambios posturales durante la prueba.

Se han realizado estudios con tratamientos alternativos o complementarios al farmacológico para eliminar o disminuir el dolor en colonoscopias, tales como la hipnosis (Cadranel et al. 1994, Elkins et al. 2006), el uso de endoscopios de diámetro reducido (Horiuchi y Nakayama 2006), la audición de música para intentar disminuir la atención sobre el dolor (Leung 2008), la insuflación con dióxido de carbono en vez de aire (Yau et al. 2007) o la aplicación intermitente de agua templada durante el procedimiento (Leung et al. 2009); refiriendo resultados inconsistentes. En la mayoría de los casos estas técnicas se han comprobado eficaces para

reducir la dosis de sedación necesaria en pacientes incluidos en programas de colonoscopia bajo sedación a demanda, pero no han sido probadas en pacientes durante colonoscopias sin sedación (Leung 2008). Los estudios realizados en pacientes sin sedación hasta la fecha únicamente refieren resultados significativos para el uso de endoscopios de pequeño calibre, usados en pacientes con bajo índice de masa corporal (Park et al. 2006). En otro estudio, se comparó en colonoscopias sin sedación la insuflación en el colon de dióxido de carbono con la insuflación con aire, comprobándose una reducción significativa del dolor posterior a la colonoscopia, pero no durante el procedimiento (Bretthauer et al. 2005). Por último, en un estudio observacional en un pequeño número de pacientes (n = 10), la hipnosis disminuía la ansiedad y la intensidad del dolor, pero sólo en aquellos pacientes en los que la hipnosis se conseguía (Cadranel et al. 1994).

I.1.6. Colonoscopia y estimulación somática

Dado que la información nociceptiva visceral que se produce durante la colonoscopia es de naturaleza espinal, convergiendo finalmente en el asta posterior de la médula espinal (Schmidt 2004, Knowles y Aziz 2009, Bielefeldt y Gebhart 2005), algunos autores han advertido la posibilidad de que la transmisión de la información nociceptiva procedente de estas aferencias espinales viscerales pudiera ser modulada en el asta posterior por neuronas convergentes viscerosomáticas, o bien por aferencias procedentes de otra parte del organismo que tuvieran el mismo nivel de integración medular (Knowles y Aziz 2009). En este sentido, se ha comprobado efectivamente que la estimulación somática modula la percepción de los estímulos procedentes del intestino (Coffin et al. 1994, Ness y Gebhart 1991) y específicamente los nociceptivos (Bielefeldt y Gebhart 2005, Randich y Gebhart 1992, Xu et al. 2009).

Esta característica básica de la naturaleza del dolor gastrointestinal podría abrir, teóricamente, la posibilidad de que técnicas que empleasen la estimulación somatosensorial, por ejemplo cutánea, para inhibir la

información nociceptiva a nivel medular, pudiesen ser efectivas en el control del dolor en colonoscopias. En el ámbito clínico general los estímulos somatosensoriales cutáneos más frecuentemente empleados para producir analgesia por convergencia somatosensorial son los de naturaleza eléctrica; en concreto se trata de la conocida como técnica de estimulación eléctrica transcutánea (TENS) (Bélanger 2003, Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001). En un estudio reciente en ratas se comprobó que la aplicación de estimulación eléctrica tipo TENS disminuía significativamente la respuesta nociceptiva ante un estímulo de distensión colorrectal (Xu et al. 2009).

Con el objetivo de comprobar la hipotética utilización de TENS para disminuir el dolor visceral producido por las tracciones y distensiones que el endoscopio provoca durante la realización de una colonoscopia, se planteó una búsqueda bibliográfica de la literatura relacionada con colonoscopias y estimulación eléctrica. A nivel metodológico, para la revisión bibliográfica de este punto, se siguieron los siguientes pasos:

Criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron todos aquellos estudios que trataban sobre la utilización de la electroestimulación con finalidad analgésica en el ámbito de las endoscopias digestivas bajas tanto completas (colonoscopia) como parciales (rectoscopia, sigmoidoscopia), aparecidos en artículos o congresos científicos. Se incluyeron en la revisión trabajos experimentales, observacionales o experiencias clínicas. Fueron excluidos, por no ser ni fisiológicamente ni metodológicamente comparables, los estudios centrados en endoscopias digestivas altas (gastroscopia y esofagoscopia); al igual que sobre endoscopias uroginecológicas (cistoscopia, histeroscopia); o bien que conllevaran procedimientos quirúrgicos (colecistectomía, laparoscopia).

Estrategia de búsqueda y extracción de datos. Los estudios relevantes fueron identificados a través de una búsqueda en las bases de datos Academic Search Complete, Biomedical Reference Collection, Fuente Académica Premier, MedicLatina, Medline, Cinahl, Nursing & Allied Health Collection, ISI Web of Knowledge, Embase y SportDiscus, desde la primera fecha disponible hasta enero de 2010. Las palabras clave utilizadas en la

búsqueda fueron: COLONOSCOPY, ENDOSCOPY, TENS, TRANSCUTANEOUS ELECTRIC NERVE STIMULATION y ELECTROTHERAPY. No se impuso ninguna restricción en el lenguaje, siendo que los trabajos no escritos en español o inglés también fueron incluidos. Todos los trabajos seleccionados por medio de la estrategia de búsqueda fueron analizados por el doctorando, y los directores validaron la elegibilidad de los estudios seleccionados. Todas las ambigüedades fueron resueltas existiendo un total acuerdo entre los revisores.

La estrategia de búsqueda usada para todas las bases de datos fue:

(COLONOSCOPY OR ENDOSCOPY) AND (TENS OR TRANSCUTANEOUS ELECTRIC NERVE STIMULATION OR ELECTROTHERAP*)

Resultados de la búsqueda. La búsqueda identificó un total de 497 estudios, de los cuales únicamente 4 superaron los criterios de inclusión y fueron considerados en esta revisión (Figura 1).

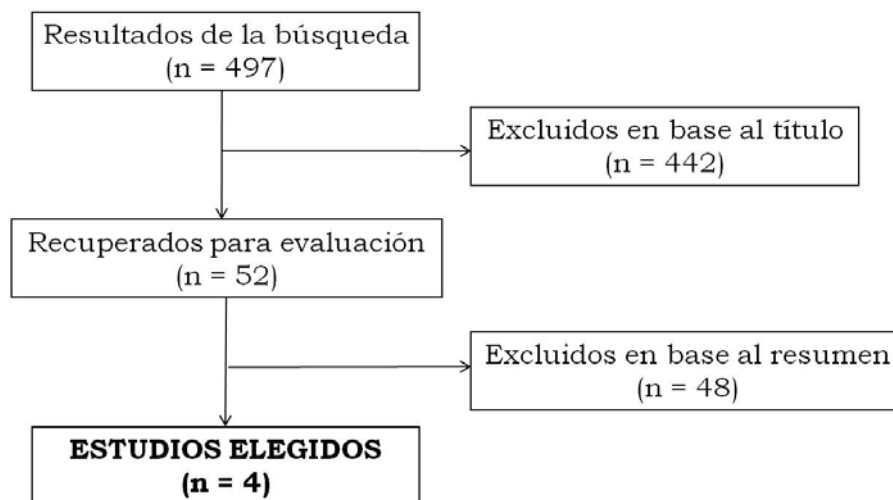


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de búsqueda

De los cuatro estudios seleccionados, 3 tratan sobre la colonoscopia y 1 sobre la sigmoidoscopia. Se extrajeron de forma independiente los principales datos de los diferentes estudios experimentales (sujetos, intervención, resultados) usando formatos de extracción de datos

estandarizadas. En la tabla I se puede consultar de forma resumida y por orden cronológico los estudios experimentales incluidos.

Tabla I. Información descriptiva de los estudios seleccionados

Autor (año)País	Indicación	N	Diseño	Intervención grupo TENS	Intervención grupos control	Comentarios	Variables	Resultados	P	Efectos adversos
Wang et al. (1997) Taiwán	Colonoscopia	59	- RCT - Sin grupo placebo	- n = 30 - 2 Hz - Anchura impulso: NA - Intensidad: umbral motor - Electrodo pequeños en 2 acupuntos (rodilla, tibia) - Desde 10 min antes y durante toda la prueba	- n = 29 - 50 mg meperidina intramuscular	- Los 2 grupos recibieron sedación estándar (meperidina) - Grupo TENS + aguja en un acupunto (pabellón auditivo)	1) Dolor en escala verbal de 4 puntos 2) Malestar SI/NO. Si Sí entonces náusea, mareos y vómitos 3) Análisis beta-endorfinas, epinefrina, norepinefrina, dopamina y cortisol	1) TENS = control 2) TENS = control en náusea y vómitos; TENS < control en mareos 3) TENS = control	1) NA 2) <0.01 3) NA	No refieren
Robinson et al. (2001) Reino Unido	Colonoscopia	33	- RCT - Ciegos: sujetos + evaluador - Grupo placebo	- n = 10 - 80 Hz - Anchura impulso: NA - Intensidad: NA - Electrodo: tamaño NA (paravertebral lumbar) - Desde 5 min antes, hasta 5 min tras finalizada	(i) Sin TENS (n = 10) (ii) Placebo TENS (n = 13): mismo equipo y colocación que TENS pero sin funcionamiento	Los 3 grupos recibieron midazolam antes de la prueba y a demanda, durante el procedimiento	1) Dolor en escala verbal de cuatro puntos 2) Facilidad del procedimiento 3) Estimación por el endoscopista del dolor en escala 1-100 4) PPEQ	1) TENS = control = placebo 2) TENS = control = placebo 3) TENS = control = placebo 4) TENS = control = placebo	1) >0.05 2) >0.05 3) >0.05 4) >0.05	No refieren
Fanti et al. (2003) Italia	Colonoscopia	30	- RCT - Ciegos: sujetos + evaluador - Grupo placebo	- n = 10 - 100 Hz - Anchura impulso: NA - Máx intensidad sin dolor - Electrodo en 5 acupuntos (mano, rodilla, 2 tobillo, oreja) - Desde 20 min antes y durante toda la prueba	(i) Sin TENS (n = 10) (ii) Placebo TENS (n = 10): = que en grupo TENS pero sobre puntos inactivos en acupuntura	Los 3 grupos recibieron midazolam 15 min antes de la prueba y, además, se administró a demanda durante el procedimiento (0.02 mg/kg)	1) Dolor abdominal: escala verbal de 5 puntos 2) Dosis adicional de midazolam 3) Malestar tras la prueba: escala 5 puntos 4) Satisfacción tras 24-72 tras la prueba	1) TENS = control = placebo 2) TENS < control < placebo 3) TENS < placebo < control 4) TENS = control = placebo	1) NA 2) 0.016 3) 0.016 4) NA	No refieren
Limoges et al. (2004) EEUU	Sigmoidoscopia	90	- RCT - Ciegos: endoscopista + evaluador - Grupo placebo	- n = 30 - 100 Hz - Anchura impulso: 190 µs - Intensidad: fija (30 mA) - Electrodo: tamaño NA (2 lumbar, 2 abdomen) - Desde 5 min antes hasta 5 min tras finalizar	(i) Sin TENS (n = 30) (ii) Placebo TENS (n = 30): mismo equipo y colocación que TENS pero sin funcionamiento	Ningún grupo recibió sedación farmacológica	1) Dolor en escala verbal de 5 puntos 2) Hinchazón en escala analógica 0-10 3) Náusea en escala analógica 0-10 4) ¿Pediría TENS para futuras pruebas?	1) TENS = control = placebo 2) TENS = control = placebo 3) TENS = control = placebo 4) TENS = placebo	1) 0.526 2) 0.293 3) 0.462 4) 0.483	29 sujetos (97%) en grupo TENS y 6 sujetos (20%) en grupo placebo refirieron dolor, quemazón o picazón bajo los electrodos

RCT, Randomized Control Trial; **NA**, Dato no aportado por el autor; **PPEQ**, Post-Procedural Evaluation Questionnaire

Los cuatro estudios trataban de comprobar el posible efecto analgésico de la convergencia somatosensorial cutánea producida por la aplicación de la estimulación eléctrica transcutánea (TENS) durante endoscopia digestiva baja (colonoscopia y sigmoidoscopia); en ninguno de ellos se evidenciaron resultados significativos en cuanto a las variables que median el dolor (Tabla I). Con estos antecedentes en el campo de la investigación se explica el hecho de que actualmente la técnica TENS no esté considerada como una modalidad alternativa a la farmacológica para reducir el dolor en colonoscopias (Lichtenstein et al. 2008, Leung 2008).

Cómo explicar la falta de correlación entre el hecho de que, como está comprobado, el dolor visceral pueda ser modulado por estimulación somática, y que precisamente la estimulación somática más utilizada en el ámbito clínico, la TENS, no haya obtenido resultados como analgesia en colonoscopias. Tal y como se puede apreciar en la información descriptiva de los estudios realizados hasta el momento (Tabla I), se han empleado en ellos parámetros de programación y colocaciones de electrodos diversos, pero que no abarcan todas las posibilidades de aplicación que ofrece la técnica TENS. Los mismos autores de estos estudios, en sus conclusiones, abogan por seguir explorando las capacidades que presenta la electroanalgesia TENS, ya que las posibilidades de programación, colocación de electrodos y manejo del paciente son muy amplias. La dificultad de definir qué parámetros son los adecuados para cada condición es una característica común en los estudios clínicos con TENS (Fernandez-Del-Olmo et al. 2008). Así, si la variación de parámetros (frecuencia, intensidad, anchura de impulso, colocación de electrodos) se ha demostrado que produce diferente efecto fisiológico (Johnson y Martinson 2007, DeSantana et al. 2008, Walsh et al. 2009), cabe pensar que una variación en la selección de los parámetros TENS produciría resultados clínicos distintos a los hasta ahora obtenidos en colonoscopias.

I.2. ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA TRANSCUTÁNEA (TENS)

I.2.1. TENS: Generalidades

El acrónimo TENS, del inglés *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*, se utiliza en la actualidad para denominar a la aplicación mediante electrodos de superficie de corriente eléctrica pulsada con finalidad analgésica (Plaja 2003). Así, técnicamente cualquier equipo que emita corriente eléctrica a través de la piel, mediante un par o múltiples pares de electrodos de superficie, puede recibir la denominación de TENS. Por consenso, sin embargo, el término TENS se usa cuando el principal objetivo terapéutico es la analgesia, mientras que, si el objetivo es evocar eléctricamente contracciones musculares se emplea el acrónimo NMES (*Neuromuscular Electrical Stimulation*) (Bélanger 2003).

La utilización de la corriente eléctrica con finalidad analgésica se remonta a la antigüedad. Es conocido que en las antiguas civilizaciones griega y egipcia empleaban anguilas eléctricas y peces torpedo para el tratamiento de algunas dolencias (Kane y Taub 1975); pero es durante el imperio romano, concretamente en el año 46 AC, cuando el médico Scribonius Largus aporta la primera referencia escrita de la “eliminación del dolor” mediante el procedimiento de introducir la zona lesionada en un recipiente que contenía una anguila eléctrica. Este autor también recomendaba esta técnica para el tratamiento de las cefaleas y para la gota (Kaplan et al. 1997). A finales del siglo XIX y principios del XX numerosos médicos y dentistas utilizaban empíricamente la electricidad como analgésico, e incluso como anestésico. Según Walsh (Walsh 2003), el precursor de lo que actualmente es conocido como TENS fue un estimulador eléctrico que se comercializó en Estado Unidos a principios del siglo XX conocido como “Electreat”. No obstante, por consenso, se considera que el nacimiento de la técnica TENS, tal y como la conocemos actualmente, se basa en el trabajo publicado en 1965 por Ronald Melzack, psicólogo canadiense, y Patrick Wall, neuroanatomista británico, sobre la llamada teoría de la puerta de entrada, más conocida por su denominación en inglés, *Gate Control Theory* (Melzack y Wall 1965). Melzack y Wall en esta

teoría afirmaban que la transmisión de la señal nociceptiva a través de la sustancia gris de la médula espinal podía ser inhibida presinápticamente por la activación de fibras aferentes mielinizadas procedentes de receptores cutáneos y, a su vez, de fibras descendentes procedentes del cerebro. Estimulando la conducción de estas fibras aferentes cutáneas de mayor diámetro y velocidad podía “cerrarse la puerta” en el asta posterior de la médula espinal a la señal de dolor transmitida por fibras de menor diámetro y velocidad (Melzack y Wall 1965). Esta teoría despertó un renovado interés en el, en aquel momento, minusvalorado campo de la electroanalgesia, impulsándose una nueva fase de experimentación. Wall y Sweet (1967) fueron los primeros en corroborar experimentalmente la validez de la teoría de la puerta, consiguiendo analgesia mediante la aplicación de corriente eléctrica a la piel, y sus resultados positivos impulsaron la consiguiente experimentación en el campo clínico. En ese mismo año 1967, se realizaron los primeros ensayos clínicos en pacientes basados en la nueva teoría; éstos consistían en implantar quirúrgicamente un dispositivo para estimular la médula espinal, y así bloquear las aferencias nociceptivas. Entre la batería de pruebas que realizaban los pacientes para ser incluidos en el citado estudio se encontraba la aplicación del antiguo equipo de estimulación eléctrica Electrotreat, con el objetivo de discriminar si respondían adecuadamente a los estímulos, y así posteriormente ser incluidos para la realización de la técnica quirúrgica. Inesperadamente, se constató que la mayoría de los pacientes respondían mejor a la prueba previa con el Electrotreat que al tratamiento quirúrgico posterior de estimulación en la columna dorsal (Shealy et al. 1967). Estos resultados avalaron el inicio de numerosos estudios de investigación en los años 70, así como impulsaron su posterior uso en diversos ámbitos clínicos con resultados, en un principio, positivos (Appenzeller y Atkinson 1975, Melzack 1975, Augustinsson et al. 1977, Long 1977). Mientras tanto, los fabricantes de equipos de electromedicina lanzaron al mercado desde inicios de los años 70 numerosos equipos comerciales TENS, de los que hoy en día se dispone en gran variedad (Bélanger 2003). Sin embargo, durante los años 80, con la realización de ensayos clínicos controlados, los resultados obtenidos fueron dispares; con algunos apuntando a que la aplicación de TENS era un

método analgésico efectivo (Abelson et al. 1983, Bundsen et al. 1982, Warfield et al. 1985) y otros apuntando a todo lo contrario (Taylor et al. 1981, Harrison et al. 1986, Conn et al. 1986, Lehmann et al. 1986). Muchos de aquellos primeros trabajos sobre TENS carecían de un grupo control apropiado; y así, los cambios encontrados podían deberse a la expectativa que los pacientes tenían de que la técnica TENS iba a reducir su dolor. Además, en muchos de ellos no se realizaba la aleatorización de los sujetos para su inclusión en los distintos grupos, condición que podía llevar a la sobreestimación de los efectos del tratamiento (Johnson 2001). En una revisión sistemática sobre TENS en dolor agudo postoperatorio (Carroll et al. 1996) se constató que 17 de 19 estudios clínicos controlados que no fueron aleatorizados referían que el uso de TENS era efectivo en el tratamiento del dolor postoperatorio, mientras que en 15 de 17 estudios que sí fueron aleatorizados refirieron que el uso de TENS no era efectivo. Durante los años 90, se continuaron realizando numerosas revisiones sistemáticas que pusieron en tela de juicio la efectividad clínica de la aplicación de TENS (Carroll et al. 1996, Reeve et al. 1996, Johnson 1998), y por ello, en cierto modo, su utilidad se vio desacreditada. Coincidiendo con iniciativas como la Colaboración Cochrane ha habido un avance en la metodología, tanto para localizar estudios relevantes sobre cualquier tema, como para desgranarlos críticamente y combinarlos estadísticamente; así, los meta-análisis se han convertido en una herramienta poderosa a la hora de valorar cualquier intervención (Bjordal, et al. 2003). De este modo, se ha podido comprobar que las conclusiones a las que llegaban muchas de las revisiones sistemáticas de los años 90 estaban sesgadas, al no excluir en sus análisis aquellos estudios en los que se utilizaron formas de aplicación, intensidades y programaciones mal diseñadas (Bjordal et al. 2003). En este sentido, en la primera década del siglo XXI parece haber un consenso general sobre que los resultados inconsistentes presentados por los estudios realizados en el pasado sobre TENS son debidos a que la evidencia experimental existente estaba limitada tanto en calidad como en cantidad: pocos estudios comparaban los resultados con un grupo placebo; muchos estudios no estandarizaban los parámetros de los impulsos (duración y frecuencia); se presentaban tamaños muestrales pequeños, no permitiendo

alcanzar un poder estadístico suficiente; no se tenía en cuenta el cegado en el diseño del estudio; en otras ocasiones no se incluía grupo control; las intensidades aplicadas eran a veces demasiado bajas y las colocaciones de electrodos inapropiadas, sesgando los resultados de muchos estudios, y así contribuyendo negativamente al reconocimiento de la técnica TENS (Fernandez-Del-Olmo et al. 2008, Johnson y Martinson 2007, Walsh et al. 2009, Johnson 2001, Bjordal et al. 2003, Wright y Sluka 2001, Chesterton et al. 2002, Chesterton et al. 2003, Dean et al. 2006, Shimoji et al. 2007, Brown et al. 2007, Aarskog et al. 2007, Chen et al. 2008, Claydon et al. 2008, Khadilkar et al. 2008, Bennett et al. en prensa). Conscientes de esta situación, actualmente los estudios clínicos aleatorios y controlados están siendo diseñados para evitar estas limitaciones, y así aportar conclusiones válidas para la práctica clínica. Al mismo tiempo, se han realizado importantes estudios con animales y en sujetos sanos con el fin de dilucidar los mecanismos básicos de actuación de la técnica TENS sobre el dolor (Sluka et al. 2005, Maeda et al. 2007, DeSantana et al. 2008).

I.2.2. Características biofísicas de TENS

El principio biofísico que subyace en la aplicación de TENS es la administración de una corriente eléctrica pulsada para estimular las terminaciones nerviosas cutáneas, a través de la aplicación de unos electrodos sobre la piel (Bélanger 2003). Estableciendo una analogía, las características del impulso eléctrico (forma, duración, frecuencia) son el elemento activo de la terapia por TENS, de igual modo que los componentes químicos son el elemento activo de un fármaco (Johnson 2001). Además de la adecuada selección de los parámetros, habrá que considerar la correcta dosificación y aplicación de los mismos (intensidad, tamaño y colocación de los electrodos, así como el modo de estimulación) (Chesterton et al. 2003, Somers y Clemente 2006, Petrofsky J et al. 2006). De la correcta combinación de todos estos elementos dependerá la efectividad del tratamiento mediante TENS (DeSantana et al. 2008).

I.2.2.1. Forma del impulso

La forma de impulso que básicamente se asocia a terapia TENS es la bifásica (también conocida como bidireccional o alterna), pulsada (impulsos seguidos de una pausa), tanto simétrica como asimétrica, y normalmente compensada; aunque también esté disponible en los equipos TENS la opción de impulso pulsado monofásico (también llamado unidireccional), y por tanto no compensado (Bélanger 2003) (Fig. 2). La elección de una forma de impulso u otra es importante, ya que se ha demostrado que la forma del impulso influye en la transmisión del impulso eléctrico en el cuerpo, en el efecto fisiológico que se produce y en el confort percibido por los pacientes (Shimoji et al. 2007, Hingne y Sluka 2007, Petrofsky JS et al. 2008).

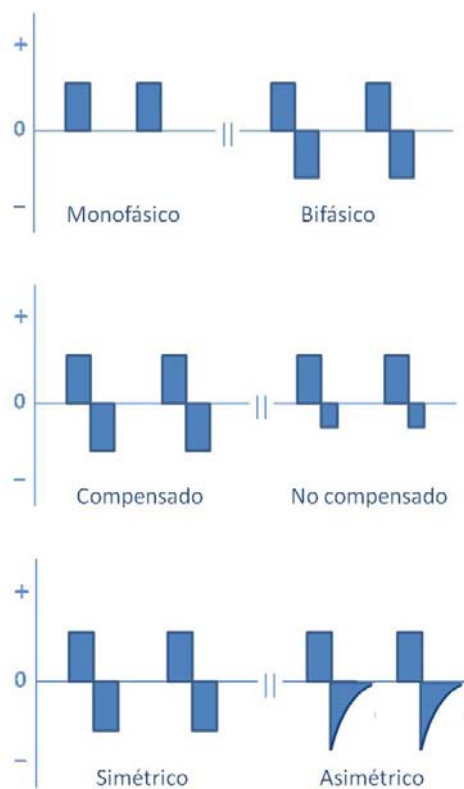


Figura 2. Formas de impulso eléctrico

Un impulso bifásico compensado tiene un número igual de cargas eléctricas en cada fase, lo que implica que en su representación gráfica el área de superficie de cada fase es exactamente la misma. De este modo, el impulso tendrá un potencial de carga neto igual a cero entre la fase positiva y negativa; no produciéndose así acúmulo de cargas debajo de cada electrodo (Hingne y Sluka 2007). Los impulsos monofásicos, al no estar compensados, producirán un acúmulo neto de cargas eléctricas debajo de cada electrodo, que puede llevar, si la aplicación se prolonga el tiempo necesario, a irritaciones e incluso quemaduras de la piel debajo del electrodo (Bélanger 2003). Por este motivo, es fundamental el uso de impulsos compensados durante la aplicación clínica de TENS, ya que los tratamientos analgésicos suelen ser prolongados, muchas veces superando una hora de aplicación y/o con más de una aplicación al día, a veces durante muchos días consecutivamente (Johnson et al. 1991).

Además de compensado o no, un impulso bifásico puede ser simétrico o asimétrico; dependiendo de si la forma del impulso en su fase positiva es igual a la de su fase negativa (simétrico) o de si es distinta (asimétrico). En este caso, la elección de una opción u otra no afecta a la efectividad del tratamiento (Hingne y Sluka 2007) pero sí al confort percibido por el paciente; siendo la forma simétrica la que parece ser la más confortable para los pacientes (Hingne y Sluka 2007, Bowman y Baker 1985).

De todo lo anterior, se desprende que para la aplicación de TENS, de todas las posibles formas de impulso, la bifásica pulsada compensada simétrica sería la más respaldada por la evidencia científica.

I.2.2.2. Duración del impulso

La duración de los impulsos, también conocida como anchura de impulso, es la principal característica que diferencia a TENS de las formas de electroterapia clásicas (diadinámicas, exponenciales, Trabert, LeDuc). Mientras que en estas modalidades clásicas los impulsos tienen duraciones

mayores a 1 milisegundo, en la técnica TENS las duraciones son mucho más cortas, midiéndose en microsegundos (μs). El hecho de que los impulsos TENS sean tan breves hace que sean más agradables para el paciente, comparados con los impulsos de la electroterapia clásica; así, el confort, es una de las características que explica la gran aceptación de la técnica por parte de los pacientes (Plaja 2003).

La duración de impulso en TENS puede ajustarse libremente, situándose la misma habitualmente entre 50 y 1000 μs (Johnson 2001). A la hora de programar un equipo TENS hay que consultar las especificaciones técnicas de cada equipo, ya que puede variar lo que cada fabricante entiende por duración del impulso. Teóricamente la duración del impulso se define como el tiempo que pasa entre el inicio y el fin de todas las fases que compongan un impulso de una corriente pulsada (Bélanger 2003). No obstante hay autores que la definen como la duración únicamente de la fase positiva de un impulso (Walsh 1997).

Los efectos fisiológicos producidos por la aplicación de TENS dependerán, en parte, de una adecuada selección de la duración del impulso (Shimoji et al. 2007). Así se constató en un estudio con animales en laboratorio llevado a cabo por Sluka et al. en 2006. En este estudio se constató que se requieren impulsos de duración mayor a 100 μs para inducir la secreción de serotonina en la médula espinal (Sluka et al. 2006). En general, parece haber un consenso en que al aumentarse más allá de los 250 μs la duración del impulso, se produce una mayor inhibición de la actividad neuronal del asta posterior medular (Garrison y Foreman 1994, Walsh et al. 1995, Sluka y Walsh 2003).

1.2.2.3. Frecuencia

La frecuencia se define como el número de impulsos suministrados por una corriente eléctrica pulsada por segundo, expresado comúnmente en Hercios (Hz) (Bélanger 2003). Las frecuencias mayoritariamente empleadas en TENS varían entre 1 y 200/250 Hz (Bélanger 2003, Walsh 1997,

Johnson 2001). La evidencia proveniente de los estudios, tanto en modelos con animales como con sujetos sanos, nos indica que según la frecuencia elegida se activarán diferentes mecanismos analgésicos periféricos y centrales (Sluka y Walsh 2003, Gopalkrishnan y Sluka 2000, Law y Cheing 2004, Tong et al. 2007, Chen y Johnson 2009). Según la literatura disponible sobre el tema, en la elección de la frecuencia básicamente se presentan dos posibilidades: baja frecuencia (menor de 10Hz) y alta frecuencia (mayor de 50Hz) con efectos fisiológicos y terapéuticos distintos, que serán tratados en profundidad posteriormente.

Numerosos estudios avalan la mayor efectividad de TENS de frecuencia alta respecto al de frecuencia baja. Por ejemplo, Mannheimer (Mannheimer et al. 1978) demostró que el uso de TENS de alta frecuencia (100 Hz) era más efectivo a la hora de aumentar la funcionalidad de la muñeca en pacientes con artritis reumatoide, respecto al uso de TENS de frecuencia baja (4 Hz). En otro estudio, Walsh (Walsh et al. 1995) refiere que la aplicación de TENS de frecuencia alta (110 Hz), pero no la de baja frecuencia (4 Hz), aumentó el umbral de dolor mecánico en sujetos sanos. La toma de analgésicos tras una cirugía abdominal baja se redujo en mayor medida con TENS de alta frecuencia (100 Hz) respecto a TENS de baja frecuencia (4 Hz), comparado con TENS placebo o analgesia únicamente (Wang et al. 1997). Los resultados de estos estudios parecen concordar con estudios posteriores, señalando la mayor efectividad clínica de los tratamientos TENS con frecuencias altas respecto a las frecuencias más bajas (Sluka y Walsh 2003, Gopalkrishnan y Sluka 2000, Law y Cheing 2004, Tong et al. 2007, Chen y Johnson 2009).

I.2.2.4. Electrodo y colocación

El electrodo es el elemento que va a distribuir los impulsos eléctricos sobre la piel del paciente. La elección del tipo de electrodo a emplear, su tamaño y, fundamentalmente, su colocación sobre el paciente, son otro de los elementos a tener en cuenta para una correcta realización de la terapia

TENS. Estos aspectos no han sido siempre tenidos en consideración, pudiendo así haber contribuido negativamente en los resultados de muchos de los estudios realizados sobre TENS (Brown et al. 2007, Petrofsky J et al. 2006, Nolan 1991, White et al. 2001).

Existen diversos tipos de electrodos y su elección va a ser importante para optimizar los resultados de la aplicación:

- Electrodos reutilizables, no estériles. Son los electrodos clásicos, disponibles desde las primeras épocas de los equipos TENS. Pueden estar compuestos de diversos materiales, normalmente de goma de silicona impregnada de partículas de carbono (Bélanger 2003). Para una correcta transmisión de los impulsos eléctricos este tipo de electrodos necesita el uso de un agente conductor con la piel, normalmente un gel conductor o una cubierta de esponja mojada con agua (Nolan 1991). Para asegurar la colocación del electrodo sobre la zona del cuerpo seleccionada se usa esparadrapo o velcro.
- Electrodos adhesivos. Más recientemente disponibles; usan polímeros desarrollados específicamente como medios de transmisión e incorporan geles adhesivos hipoalergénicos. Estos electrodos tienen una colocación con menos inconvenientes que los clásicos, ya que se evita el uso de gel o de esponja mojada, así como del esparadrapo o el velcro, garantizándose que no van a moverse durante la aplicación (Bélanger 2003).
- Electrodos estériles. Disponibles en varias formas y tamaños, especialmente para tratamientos en condiciones postquirúrgicas donde exista riesgo de infección de la herida quirúrgica (Walsh 1997).

En un estudio para determinar si la efectividad de TENS podía verse modificada por la elección del tipo de electrodos (Nolan 1991) se analizaron 25 tipos diferentes de electrodos, de entre los disponibles comercialmente,

para determinar su grado de conductividad, medido por la mayor o menor impedancia del circuito. La impedancia es una propiedad de los circuitos eléctricos referida a la oposición o resistencia que ofrecen al flujo de la corriente eléctrica, tanto los electrodos y los equipos, como el estrato córneo de la piel (Bélanger 2003). La impedancia puede reducirse significativamente limpiando la piel convenientemente, frotando con alcohol o jabón antes de cada aplicación; por el contrario, la impedancia de los electrodos viene determinada por los componentes de los mismos y no puede modificarse. Para valorar la impedancia durante una aplicación se analizaron los cambios de voltaje producidos por los cambios físicos o químicos de la piel, y los producidos en el medio de conducción del electrodo. Los resultados del estudio de Nolan et al.(1991) variaron entre los 1000 y los 7800 ohmios, no siendo concluyentes respecto a la naturaleza del electrodo (clásicos de goma o adhesivos), pero sí en cuanto al tamaño; siendo que los electrodos que mayor impedancia ofrecían eran los de menor tamaño. Así, a mayor tamaño de los electrodos, mayor área en la que distribuirse la corriente y, por tanto, menor densidad, produciéndose menos molestias y unos efectos más uniformes (Petrofsky J et al. 2006). Respecto al material de contacto entre la piel y el electrodo, en un estudio reciente se concluía que tanto los geles hipoalergénicos de contacto, el agua potable y las soluciones salinas estaban indicados para la práctica clínica con estimulación eléctrica, ya que mantenían una baja impedancia durante el tratamiento; sin embargo, el uso de agua destilada o desionizada no se recomendaba, debido a la elevada resistencia que ofrecía al paso de la corriente eléctrica (Bolfé y Guirro 2009).

Al igual que sucede con otras características biofísicas de TENS, algunos autores han sugerido que una colocación incorrecta de los electrodos puede determinar los resultados negativos que se han obtenido en muchos de los estudios y revisiones (Walsh 1996, Koke et al. 2004). No obstante, en un estudio de 1981, Rao et al. (1981) investigaron esta cuestión valorando la colocación de los electrodos en 114 pacientes y no hallaron una clara correlación entre la colocación y la analgesia conseguida. En otro estudio más reciente también se sugiere que la colocación de los

electrodos no afecta a los resultados de la aplicación de TENS (Brown et al. 2007); no obstante, en este estudio se insiste en la necesidad de una mayor investigación antes de sacar conclusiones definitivas. Esta falta de resultados claros explica que, a nivel clínico, se realice una aplicación basada en prueba-error a la hora de determinar la colocación de electrodos más efectiva en cada caso (Bélanger 2003, Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001).

La opción de aplicación de los electrodos más extendida afirma que los mayores efectos de la aplicación de TENS se consiguen cuando se sitúan sobre la zona del dolor, o alrededor de la misma (Bélanger 2003, Walsh 1997, Johnson 2001). No obstante, también se han referido resultados positivos al aplicar TENS en lugares alejados a la zona del dolor, debidos a efectos fisiológicos que serán explicados posteriormente: sobre las raíces nerviosas a nivel medular, paravertebralmente (Johnson 1998); sobre zona contralateral a la afectada (Carabelli y Kellerman 1985); sobre el dermatoma compartido con la región dolorosa (Bélanger 2003, Plaja 2003); sobre el miotoma correspondiente a la inervación de la zona a tratar (Brown et al. 2007); sobre puntos de acupuntura (Fanti et al. 2003, Gadsby, Flowerdew 2000, Chao et al. 2007, Nayak et al. 2008, Yan y Hui-Chan 2009, Lee y Lee 2009); o incluso transcranealmente (Johnson 2001).

De entre todas las posibilidades referidas, la que aporta mayor evidencia es la estimulación de los dermatomas correspondientes a la zona sintomática de los pacientes. Ésta se ha demostrado más efectiva que estimular dermatomas alejados no correspondientes a la zona del dolor (White et al. 2001, White et al. 2000). En otro estudio se evaluó la colocación de los electrodos sobre el dermatoma correspondiente a la zona del dolor, comparada con la colocación en el dermatoma contralateral; el mayor grado de inhibición del dolor se produjo durante la aplicación sobre el dermatoma correspondiente a la zona del dolor (Sluka y Walsh 2003). En un estudio experimental sobre el umbral del dolor se comprobó que la estimulación auricular con TENS no varió significativamente el umbral de dolor medido en la muñeca en 24 sujetos sanos (Johnson et al. 1991). En otro estudio en sujetos sanos se comprobó que la aplicación de TENS sobre

un nervio periférico era más efectiva que sobre un punto de acupuntura, utilizando los mismos parámetros, o comparada con un grupo control (Cramp AF et al. 2000). En un estudio con ratas a las que se les provocaba una lesión de nervio ciático se aplicó TENS sobre la musculatura paraespinal homolateral y contralateralmente, refiriéndose mejores resultados en la aplicación paraespinal contralateral a la lesión (Somers y Clemente 2006).

El único estudio realizado hasta el momento con pacientes con el objetivo de determinar la mejor colocación de electrodos fue realizado con 72 pacientes con dolor lumbar (White et al. 2001). Los resultados de este estudio apoyan la hipótesis de que la estimulación eléctrica de los miotomas y esclerotomas de los niveles medulares correspondientes a la zona de dolor estaba relacionada con una mejor respuesta al tratamiento, basándose la aplicación en una colocación paravertebral (Fig. 3).

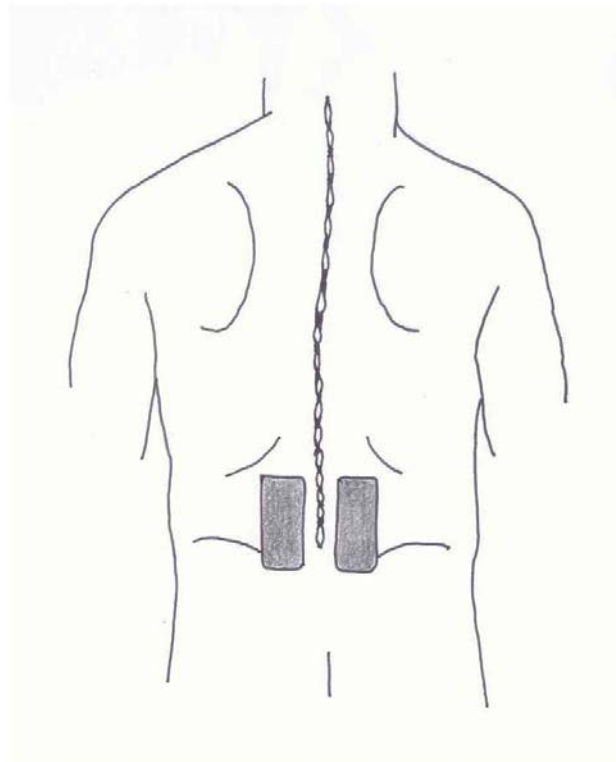


Figura 3. Colocación de electrodos paravertebral

I.2.2.5. Intensidad

La intensidad en electroterapia, también denominada amplitud del estímulo o dosis, es el flujo de carga por unidad de tiempo que recorre el circuito eléctrico sobre el paciente, causado por el movimiento de los electrones en el interior del cuerpo, y medido en miliamperios (mA) (Plaja 2003). Conocer los efectos de la variación de los niveles de intensidad en TENS es fundamental para que la aplicación de la dosis de estímulo eléctrico no se base en la elección empírica del fisioterapeuta (Barlas et al. 2006). A la hora de dosificar la intensidad, en la práctica clínica el fisioterapeuta se ha guiado por la percepción del paciente de la sensación producida al aplicar TENS (Tabla II).

Tabla II. Intensidades en TENS por nivel de estimulación

Nivel	Intensidad	Indicaciones al paciente
Elevada intensidad	Límite con el umbral de dolor	Debe referir la sensación como muy fuerte e incómoda, aunque soportable y no dolorosa
Baja intensidad	Por encima del umbral sensitivo	Debe referir la sensación como claramente perceptible, pero cómoda y en ningún caso desagradable
Muy baja intensidad	Levemente por encima/debajo umbral sensitivo	Debe referir la sensación como levemente perceptible o incluso imperceptible

En el nivel de muy baja intensidad, con sensaciones que no alcanzan el umbral de sensación, se ha afirmado que puede llegar a producir cierta estimulación neuronal y derivada de ella posiblemente analgesia; esta modalidad entraría dentro de un campo diferenciado de la electroterapia, conocido como de microcorrientes (Plaja 2003, Johnson 2001). Los niveles más habituales en la práctica clínica son de intensidad elevada e intensidad baja (Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001, Johnson 1998, Barlas et al.

2006). No obstante, ha habido pocos estudios investigando sistemáticamente los efectos de la aplicación de diferentes niveles de intensidad. La evidencia que se desprende de los pocos estudios sistemáticos sobre la intensidad (Bjordal et al. 2003, Chesterton et al. 2002, Chesterton et al. 2003) indica que puede ser un parámetro clave a la hora de alcanzar efectos analgésicos óptimos; de forma que la aplicación de intensidades elevadas es más eficaz que las intensidades bajas, independientemente de los otros parámetros de aplicación de TENS. En un estudio sobre dolor experimental en sujetos sanos de Johnson et al. (1991), el empleo de TENS de elevada intensidad a 80 Hz fue comparado con otras combinaciones de parámetros; se constató que el uso de TENS a elevada intensidad producía un rápido y potente efecto analgésico, mayor que el de los otros grupos, durante los periodos de estimulación. En un estudio doble ciego con 240 sujetos sanos se comparó el efecto de la variación de distintos parámetros de estimulación con TENS, resultando que TENS de alta frecuencia (110 Hz) aplicado a intensidades elevadas era la combinación que producía la mayor analgesia durante la estimulación, y también un mayor efecto post-estimulación (Chesterton et al. 2003). En otro estudio con 48 sujetos sanos se comparó la aplicación de TENS sobre puntos de acupuntura en cuatro grupos: control, placebo, elevada intensidad y baja intensidad, valorándose la variación del umbral de dolor producido por presión. El grupo al que se aplicó TENS a intensidad elevada fue el que presentó un aumento significativo en el umbral de dolor, comparado con los otros grupos (Barlas et al. 2006). Claydon, en un estudio en 2008, investigó el efecto analgésico de diferentes combinaciones de parámetros TENS sobre el umbral de dolor a la presión en 208 sujetos sanos. Los sujetos aleatoriamente fueron distribuidos en ocho grupos: seis con diferentes combinaciones de parámetros, un grupo placebo y un grupo control. La intensidad aplicada en los grupos que recibían TENS podía ser elevada o baja. El mayor efecto analgésico se asoció al uso de las intensidades elevadas, independientemente de la frecuencia empleada, confirmando la importancia fundamental del empleo de dosis elevadas para una correcta administración de TENS (Claydon et al. 2008).

El hecho de que las intensidades mayores produzcan mayores efectos puede deberse, en el caso de TENS, a que para producir un óptimo efecto analgésico la aplicación de impulsos debe tener la suficiente intensidad como para alcanzar y activar las terminaciones nerviosas de los tejidos profundos (Radhakrishnan y Sluka 2005). La corriente eléctrica, para su conducción, busca las zonas de menor impedancia en el cuerpo humano. Los tejidos que tienen mayores concentraciones de agua e iones son los que mejor conducen la electricidad. Sin embargo, la epidermis que cubre la piel tiene un contenido de agua bajo, células muertas y otros detritos que dificultan el paso de la corriente eléctrica hacia el interior del cuerpo humano. Tras atravesar la piel, la corriente debe atravesar la capa de grasa, que contiene sólo un 14% de agua, siendo así también un mal conductor. Una vez atravesada la piel y la grasa, la corriente podrá alcanzar músculo, nervio o vasos, que ya contienen porcentajes altos de agua (70-75%) siendo buenos conductores de la electricidad (Miller et al. 2008). Es por ello, que un impulso debe aplicarse a una intensidad suficiente para superar la barrera de piel y grasa, y así poder ejercer su efecto.

I.2.2.6. Modos de estimulación

En la práctica clínica existe la idea ampliamente difundida de que los diferentes parámetros de programación de TENS deben ajustarse en razón del confort que la estimulación pueda producir en el paciente, por encima de las posibles consideraciones fisiológicas respecto a las diferentes posibilidades de programación (Chen et al. 2008, Johnson et al. 1991, King y Sluka 2001). No obstante, según los parámetros (anchura de impulso, frecuencia), técnica de aplicación (intensidad) y modo de actuación (periférico, medular, central) se han definido diferentes modalidades básicas de TENS (Bélanger 2003, Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001, Johnson 2001):

- TENS convencional, o de alta frecuencia y baja intensidad (*conventional, high-rate, HiTENS*): es la modalidad más

utilizada al ser la que se tolera mejor por los pacientes, siendo habitualmente la primera opción de tratamiento. Se caracteriza por estimular mediante impulsos de corta duración, frecuencia elevada y una intensidad baja (Tabla III).

- TENS de baja frecuencia, o de baja frecuencia y alta intensidad, también llamado TENS de acupuntura (*low-rate, acupuncture-like, AL-TENS, LoTENS*): los impulsos utilizados tienen larga duración, frecuencia baja y una intensidad que, si se emplea sobre un músculo, debe producir contracciones rítmicas no tetanizantes (umbral motor) (Tabla III). Esta modalidad también se conoce como TENS de acupuntura, ya que se utilizaba para la estimulación eléctrica con agujas de acupuntura.
- Estimulación a ráfagas (*burst*): con las mismas características que la modalidad TENS de baja frecuencia excepto que los impulsos no son de larga duración, sino de corta, agrupados en ráfagas o salvas. Esta característica se introdujo con el objetivo de hacer más agradable para el paciente la estimulación de baja frecuencia.
- TENS intenso, o breve e intenso (*intense, brief intense*): emplea impulsos de larga duración, alta frecuencia e intensidad muy elevada, siendo desagradable aunque sin superar el umbral de dolor (Tabla III). Es la menos confortable de las modalidades TENS y por ello en el ámbito clínico las aplicaciones no tenían una duración prolongada siendo, por tanto, también conocido como TENS breve e intenso.

Tabla III. Modalidades básicas de TENS (Bélanger 2003, Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001, Johnson 2001)

Característica	TENS convencional	TENS baja frecuencia	TENS intenso
Duración impulsos	Cortos (< 150 μ s)	Largos (> 150 μ s)	Largos (> 150 μ s)
Frecuencia	Alta (> 80 Hz)	Baja (< 10 Hz)	Alta (> 80 Hz)
Intensidad	Intensidad baja, sensación comfortable	Intensidad moderada, si se aplica sobre músculo, contracción rítmica	Intensidad máxima soportable, no dolor
Analgesia	Instauración rápida (< 30 min); duración corta tras la aplicación (< 30 min)	Instauración tardía (> 30 min); duración prolongada tras la aplicación > 1 h)	Instauración rápida (< 30 min); duración prolongada tras la aplicación > 1 h)
Mecanismo de acción propuesto	Medular	Central	Periférico y central

Tradicionalmente, las modalidades básicas de TENS se han definido desde la concepción de que activaban diferentes mecanismos analgésicos. La evidencia proveniente de estudios sobre estimulación axonal in vitro sugiere que la excitabilidad de las fibras nerviosas, y consecuentemente la activación de los mecanismos analgésicos endógenos, dependen de las características del patrón de estimulación (Johnson 2001). Así, la modalidad de TENS convencional estaría diseñada con el fin de activar selectivamente las fibras nerviosas eferentes cutáneas A β (gran diámetro) sin activar al mismo tiempo las nociceptivas A δ y C (pequeño diámetro). La actividad A β inducida por la aplicación de TENS convencional inhibiría la transmisión aferente nociceptiva en la médula espinal (Garrison y Foreman 1994, Johnson et al. 1991, Johnson y Tabasam 1999). Respecto a la modalidad de TENS de baja frecuencia, su propósito sería estimular los aferentes musculares no nociceptivos de pequeño diámetro, mediante la producción de contracciones musculares, estimulando la actividad de las vías centrales descendentes inhibitoras del dolor (Walsh et al. 1995, Sjolund 1988). Por último, el mecanismo de acción de la modalidad TENS

intenso, propuesto por Melzack (1975), se llevaría a cabo por la estimulación de las fibras nociceptivas de pequeño diámetro A δ . La actividad de las fibras A δ ha demostrado bloquear la transmisión de la información nociceptiva en los nervios periféricos, así como activar mecanismos centrales antinociceptivos (Ignelzi y Nyquist 1976, Chung et al. 1984, Woolf et al. 1980).

Como se ha descrito, la clasificación de las diferentes modalidades de TENS pretende estandarizar la estimulación más eficaz para obtener analgesia, mediante diferentes mecanismos de acción, estando ampliamente difundidas entre los profesionales responsables de la aplicación de TENS. No obstante, el uso de estas denominaciones simplifica en demasía el modo de acción de la aplicación de TENS. La teórica relación entre las distintas modalidades de programación y la activación selectiva de diferentes fibras nerviosas no ha podido quedar demostrada de forma consistente en los estudios experimentales (Garrison y Foreman 1994); posiblemente porque esta relación puede verse alterada en la práctica debido a la naturaleza no homogénea de los tejidos situados bajo de los electrodos (Johnson 2001). No obstante, más allá de esta clasificación, en los últimos tiempos ha habido un mayor esfuerzo investigador en la dirección de clarificar qué efectos fisiológicos son los que se producen al aplicar TENS.

I.2.3. Efectos fisiológicos de TENS

La teoría más extendida para explicar los efectos fisiológicos de TENS es la conocida como teoría de la puerta (Melzack y Wall 1965). Según la misma, la estimulación de las fibras aferentes de gran diámetro producida por el uso de TENS, inhibiría la respuesta evocada de las fibras nociceptivas, al producirse la activación de interneuronas situadas en la sustancia gelatinosa del asta posterior de la médula espinal. Numerosos estudios avalan que el efecto analgésico de TENS se produce por una inhibición a nivel espinal (Garrison y Foreman 1994, Sandkühler et al. 1997, Somers y Clemente, Sluka et al. 1999, Sluka 2001, Radhakrishnan y

Sluka 2003). Además de a nivel espinal, la teoría de la puerta sugería la implicación de vías supraespinales descendentes inhibitorias que modularían a las neuronas espinales. Ya en 1980, Woolf estudiando el efecto analgésico de la aplicación de TENS de alta frecuencia en ratas, comprobó que tras una sección medular completa, por tanto sin influencias de vías descendentes supraespinales, aunque la estimulación TENS continuaba parcialmente produciendo analgesia, se había producido una disminución considerable de su efecto; sugiriendo que TENS produciría su efecto inhibitorio en ambos niveles, espinal y supraespinal (Woolf et al. 1980). Posteriormente, numerosos estudios avalan la participación de estructuras supraespinales en el mecanismo fisiológico de acción de TENS (Law y Cheing 2004, Radhakrishnan y Sluka 2005, Kalra et al. 2001, Zhang et al. 2002, Bajd et al. 2002, Radhakrishnan et al. 2003, Tinazzi et al. 2005, Ainsworth et al. 2006, Vance et al. 2007).

En relación al tipo de aferencias que son estimuladas por una aplicación de TENS, la interpretación más extendida apunta a que la técnica TENS produciría su efecto analgésico por la activación de las fibras nerviosas aferentes cutáneas superficiales en el emplazamiento de la aplicación. Sin embargo, en un estudio de 2005 empleando anestésicos locales para bloquear selectivamente diferentes fibras aferentes, Radhakrishnan, demostró el papel fundamental de las aferencias de los tejidos profundos en la analgesia producida por TENS (Radhakrishnan y Sluka 2005). En este estudio, realizado sobre ratas a las que se les producían una inflamación en una rodilla, al aplicarse una crema anestésica para bloquear las aferencias cutáneas, no se produjo ninguna disminución en el efecto analgésico producido por las dos modalidades más habituales de TENS, alta y baja frecuencia. Sin embargo, al inyectarse un anestésico (lidocaína al 2%) el efecto analgésico de la aplicación de TENS fue anulado completamente. Así, en este caso se concluyó que se requiere la participación de las aferencias articulares para que TENS produzca un efecto analgésico, no siendo suficiente con la activación de las fibras aferentes cutáneas.

Otro aspecto ampliamente difundido sobre el efecto fisiológico de TENS apunta a que existe una especificidad en cuanto a la activación de distintos tipos de fibras aferentes según la modalidad TENS empleada. De este modo, como ya se ha mencionado, tradicionalmente se ha creído que la modalidad TENS de alta frecuencia activaría selectivamente las fibras aferentes de mayor diámetro A β , mientras que la modalidad TENS de baja frecuencia, aplicada a intensidades por encima del umbral motor, activaría selectivamente las fibras A δ . No obstante, estudios recientes mediante la evaluación de potenciales de acción en la médula espinal han demostrado que sólo las fibras aferentes primarias de gran diámetro A β , situadas en los tejidos profundos, se activan al aplicar TENS, tanto de alta como de baja frecuencia, con intensidades por encima del umbral sensitivo, e incluso también al aplicar intensidades claramente por encima del umbral motor (DeSantana et al. 2008), siendo que éstas son las intensidades empleadas en TENS durante la práctica clínica habitual. Sólo en el caso de emplearse una intensidad del doble del umbral motor, se ha constatado que se recluten las fibras aferentes A δ (Radhakrishnan y Sluka 2005). Por tanto, sólo con una intensidad muy elevada, potencialmente molesta para el paciente, TENS activaría a las fibras de menor diámetro. De esto se deduce que en la práctica clínica, al emplearse intensidades no tan elevadas, la analgesia producida por TENS estaría mediada únicamente por la activación de las fibras de mayor diámetro (A β), independientemente de la frecuencia o la intensidad empleada.

La secreción de opioides endógenos es otro de los efectos fisiológicos que se ha empleado para explicar los efectos analgésicos de la técnica TENS; en concreto, tradicionalmente, el de baja frecuencia (Walsh et al. 1995, Sjolund 1988). No obstante, la evidencia disponible más recientemente confirma este mecanismo de acción no sólo para TENS de baja frecuencia, sino también para TENS de alta frecuencia (Sluka et al. 2005, Maeda et al. 2007, Radhakrishnan y Sluka 2003, Kalra et al. 2001, Zhang et al. 2002, Tinazzi et al. 2005, Motta et al. 2002, Sluka y Chandran 2002, Somers y Clemente 2003, Somers y Clemente 2009). Existen tres tipos de receptores opioides, μ , δ , κ , que están situados periféricamente, en

la médula espinal y en áreas supraespinales relacionadas con las vías de inhibición descendente (DeSantana et al. 2008, Sluka y Walsh 2003, Kalra et al. 2001). En cada uno de estos tres niveles la técnica TENS presenta mecanismos de acción fisiológicos diferenciados (Fig. 4).

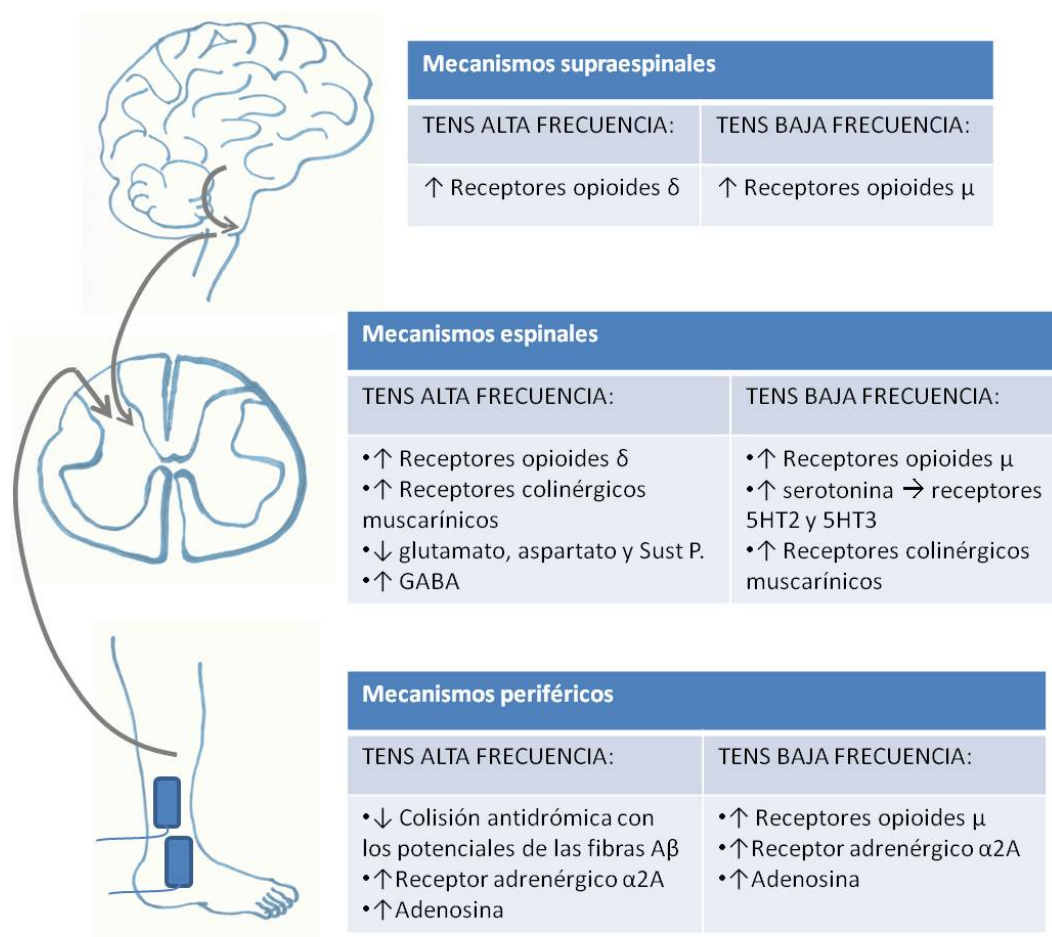


Figura 4. Mecanismos fisiológicos relacionados con el dolor activados por el TENS

I.2.3.1. Efectos fisiológicos periféricos

A nivel periférico, en un principio se sugirió que TENS, particularmente la modalidad de alta frecuencia, podía fatigar o incluso interrumpir la conducción nerviosa de las fibras aferentes A δ (Campbell y Taub 1973). A partir de los años 80 se obtuvieron resultados que señalaban

que las aferencias producidas por un estímulo doloroso no disminuían, ni durante, ni tras la aplicación de TENS (Lee et al. 1985). No obstante, recientemente en un estudio con sujetos sanos a los que se les aplicó anestesia cutánea local en la zona de aplicación de TENS sobre el nervio radial -asegurándose así de que la estimulación era selectiva del tronco nervioso periférico- se valoraron los potenciales de acción evocados y los umbrales de sensación en el dorso de la mano. Se constató una disminución de la amplitud de los potenciales evocados, así como de los umbrales de percepción provocados por la excitación de la gran mayoría de las fibras A β del nervio radial. Los autores afirman que esta disminución es debida a la colisión antidrómica de los potenciales de acción evocados por TENS en las fibras A β , que bloquean las aferencias procedentes del dorso de la mano (Ristic et al. 2008). No obstante, con la aplicación de TENS se consigue una duración del efecto analgésico posterior a su aplicación, estimado entre 8 y 24 horas, señalando hacia mecanismos de acción distintos al simple bloqueo sensorial periférico (DeSantana et al. 2008).

En un estudio de 2005, King et al. comprobaron en ratas que tanto la modalidad TENS de alta frecuencia, como la de baja frecuencia, veían disminuido su efecto analgésico en aquellos animales manipulados genéticamente a los que les faltaba el receptor adrenérgico α 2A. Existen diversas localizaciones para los receptores adrenérgicos α 2A. En periferia: terminales del sistema nervioso simpático, neuronas primarias aferentes, en la proximidad de los nervios periféricos dañados, así como en las células inflamatorias. A nivel medular: en el asta posterior de la médula espinal. Finalmente, a nivel supraespinal: en la bulbo raquídeo y en el locus coeruleus. Pues bien, en los ratones no manipulados la administración de un antagonista del receptor adrenérgico α 2A, revertía el efecto analgésico de TENS si era administrado periféricamente e intraarticularmente, no produciéndose este efecto al ser administrado de forma intratecal o supraespinal. Este resultado sugiere la contribución de los mecanismos periféricos en la eficacia analgésica de la estimulación TENS (King et al. 2005).

Los receptores opioides periféricos juegan un papel importante en la analgesia producida por TENS de baja frecuencia. Sabino et al. demostraron, en un estudio en ratas, que los receptores opioides μ situados periféricamente en el lugar de la aplicación mediaban en el efecto analgésico producido por la aplicación de TENS de baja frecuencia, no siendo así en el de alta frecuencia. Los autores sugieren que esta diferencia vendría a confirmar el diferente mecanismo de acción analgésico estimulado por ambas modalidades de TENS (Sabino et al. 2008).

Por otro lado, también la adenosina puede estar implicada en el mecanismo de acción de la técnica TENS, ya que en un estudio en humanos se demostró que la administración de cafeína (que bloquea a los receptores de adenosina) en una cantidad de 200 mg, previamente a la aplicación del TENS, reducía significativamente la analgesia, al compararse con un placebo (Marchand et al. 1995). No obstante, en un reciente estudio se constató que la administración de 100 mg de cafeína (cantidad equivalente a una taza de café) no produce diferencias significativas detectable sobre los efectos de TENS al compararse con el café descafeinado (Dickie et al. en prensa).

La contribución exacta de los mecanismos fisiológicos centrales y de los periféricos en el efecto analgésico de TENS no ha quedado determinada, y debe ser objeto de futuras investigaciones (Ristic et al. 2008).

I.2.3.2. Efectos fisiológicos espinales

A nivel medular se ha constatado que los efectos de la aplicación de TENS están asociados a la activación de receptores, al menos, de cuatro tipos: opioides, serotoninérgicos, colinérgicos y GABAérgicos (Maeda et al. 2007, Woolf et al. 1980, Sluka et al. 1999, Radhakrishnan y Sluka 2003, Kalra et al. 2001, Radhakrishnan et al. 2003).

La activación de distintos receptores opioides está asociada a la aplicación de TENS a distintas frecuencias. De este modo, según la

estimulación se produzca mediante TENS de alta o de baja frecuencia se activarán receptores opiodes distintos. En un estudio de 1991, Han et al. analizaron el fluido cerebroespinal de la zona lumbar en pacientes tras un tratamiento tanto con TENS de alta frecuencia, como de baja frecuencia (Han et al. 1991). Concretamente, al aplicar TENS de baja frecuencia se produjo un aumento en la concentración de metionina-enkefalina, un agonista de los receptores opiodes δ ; mientras que en el caso de TENS de alta frecuencia, se encontró aumentada la concentración de dinorfina A, agonista de los receptores κ . Posteriormente, en 1999 Sluka et al. investigaron el papel de los distintos receptores opioides, μ , δ y κ en el mecanismo de analgesia de la modalidad de TENS de alta (100 Hz) y baja (4 Hz) frecuencia (Sluka et al. 1999). Usando un modelo animal de inflamación, mediante la inyección de caolín y carragenina en la cápsula articular de la rodilla de ratas, se midió el tiempo de respuesta de retirada del miembro ante un estímulo térmico. Mediante microdiálisis se les administró en la médula espinal antagonistas para cada tipo de receptor opiode: naloxona (μ), naltrindol (δ) o norbinaltorfimina (κ). Dosis bajas de naloxona, específicas de los receptores μ , bloqueaban el efecto de la modalidad de TENS de baja frecuencia. Mientras que dosis elevadas de naloxona, que también bloquean a los receptores δ y κ , bloquearon el efecto de la modalidad de TENS de alta frecuencia. El bloqueo de los receptores opioides δ previno el efecto de la modalidad de TENS de alta frecuencia. Por contra, el bloqueo de los receptores opioides κ no produjo ningún efecto sobre la analgesia ni de TENS de alta, ni de baja frecuencia (Sluka et al. 1999). Así, se pudo constatar que a nivel de la médula espinal la modalidad de TENS de baja frecuencia produce su efecto mediado por los receptores opioides μ , mientras que los receptores opioides δ , median en el efecto fisiológico de la modalidad de TENS de alta frecuencia (Maeda et al. 2007, Sluka et al. 2006, Gopalkrishnan y Sluka 2000, Chen y Johnson 2009, Sluka et al. 1999, Kalra et al. 2001, Sluka y Chandran 2002, Sabino et al. 2008, Chandran y Sluka 2003). Por otro lado, en un estudio en 2005 de Sluka et al, se examinó si existía secreción de glutamato y aspartato en el asta posterior de la médula como respuesta a dos tipos de estímulos TENS, baja frecuencia (4 Hz) y alta frecuencia (100 Hz), aplicados en animales a

los que se les provocó una inflamación articular y a otros animales sanos (Sluka et al. 2005). Está demostrado que como consecuencia de una inflamación articular hay un aumento fisiológico en los niveles de glutamato y aspartato. Al mismo tiempo, es sabido que los opioides disminuyen la secreción de glutamato y aspartato. La modalidad de TENS de alta frecuencia, pero no la de baja frecuencia, redujo significativamente la secreción de glutamato y aspartato en los animales con inflamación articular, comparado con aquellos sin inflamación articular. La disminución de glutamato y aspartato por la aplicación de TENS de alta frecuencia no se produjo si previamente se había suministrado naltrindol, antagonista del receptor opioide δ . De todo esto se confirma que TENS tiene en los receptores opioides uno de sus sustratos fisiológicos de actuación.

En 2006 se llevó a cabo un estudio con el modelo de inflamación articular en ratas para determinar si la serotonina o la noradrenalina intervenían en el mecanismo de actuación de la técnica TENS (Sluka et al. 2006). En este estudio se comprobó que los niveles de serotonina en el asta posterior de la médula espinal aumentaban durante, e inmediatamente después, de una aplicación de TENS de baja frecuencia (4 Hz) aplicado sobre la rodilla inflamada; no variando los niveles cuando la aplicación era de alta frecuencia (100 Hz) (Sluka et al. 2006). Concordando con estos resultados, previamente se había comprobado que el bloqueo de los receptores serotoninérgicos 5-HT₂ Y 5-HT₃ evitaba el efecto analgésico de la modalidad de TENS de baja frecuencia, pero no el de alta frecuencia (Radhakrishnan et al. 2003). En el caso de los niveles de noradrenalina, no se han encontrado cambios en el asta posterior de la médula espinal asociados ni a la aplicación de TENS de alta frecuencia, ni a la de baja frecuencia (Sluka et al. 2006). Concordando con este resultado, se ha comprobado que los receptores noradrenérgicos no ejercen ningún papel en el mecanismo de acción de TENS (Radhakrishnan et al. 2003).

Otro de los tipos de receptores a nivel medular que están implicados en el mecanismo de acción de la técnica TENS son los colinérgicos. Estos receptores se localizan en el asta posterior de la médula y pueden ser de dos tipos: muscarínicos y nicotínicos (Doubell et al. 2003). En un estudio de

2003, Radhakrishnan et al, empleando el modelo de inflamación articular en ratas, comprobó que el efecto producido, tanto por el uso de TENS de alta como de baja frecuencia, estaba relacionado en gran medida con los receptores colinérgicos muscarínicos, ya que al administrarse intratecalmente un antagonista de este tipo de receptores (atropina) se producía una disminución en los efectos de ambas modalidades del TENS; no ocurriendo con los receptores nicotínicos (Radhakrishnan y Sluka 2003).

Recientemente se ha comprobado la implicación del ácido gamma-aminobutírico (GABA) -principal neurotransmisor inhibitorio cerebral- en la acción de TENS a nivel espinal. El GABA se segrega a nivel de la médula espinal por las células gabaérgicas, asimismo hay neuronas gabaérgicas en regiones supraespinales. Otro neurotransmisor situado en las interneuronas de la médula espinal es la glicina, que tiene una acción similar al GABA (Doubell et al. 2003). Pues bien, Maeda et al. demostraron en un estudio con animales que la aplicación de TENS de alta frecuencia incrementa las concentraciones de GABA en la médula espinal en ratas con y sin inflamación articular. El aumento de GABA no se produjo tras la aplicación de TENS de baja frecuencia. Sin embargo, si se bloqueaban en la médula los receptores GABA_A con un antagonista, la bicuculina, se producía una disminución del efecto tanto en TENS de baja como de alta frecuencia (Maeda et al. 2007). Más recientemente, Somers et al. realizaron un estudio para determinar el efecto de tres modalidades de TENS (alta frecuencia, baja frecuencia y una combinación de ambas) en un modelo de dolor neuropático en fase crónica en ratas tras una constricción del nervio ciático. El tratamiento de TENS se aplicó contralateralmente al nervio afectado y se valoró la concentración de neurotransmisores en el asta posterior de la médula. La aplicación de TENS de alta frecuencia produjo un aumento significativo de GABA en el asta posterior; la combinación de alta y baja frecuencia produjo un aumento de la concentración de aspartato, glutamato y glicina, no incrementándose la concentración de GABA, mientras que no hubo cambios significativos en la aplicación de TENS de baja frecuencia; confirmando la existencia de neurotransmisores diferentes

involucrados en el efecto fisiológico de la aplicación de TENS a distintas frecuencias (Somers y Clemente 2009).

Finalmente, se ha constatado la relación del uso de TENS con cambios en la concentración de sustancia P en el asta posterior de la médula espinal. La sustancia P endógena funciona como un neurotransmisor en las aferencias sensoriales primarias de la médula espinal. La sustancia P está relacionada con los mecanismos dolorosos y se ha comprobado que si se inyectan antagonistas de la sustancia P en la médula espinal sobreviene una acción analgésica (Doubell et al. 2003). Pues bien, en un estudio de 2002 se evidenció, empleando un modelo de inflamación en animales, cómo el uso de TENS de alta frecuencia reducía la sustancia P en los ganglios de las raíces dorsales y en el asta posterior medular (Rokugo et al. 2002).

I.2.3.3. Efectos fisiológicos supraespinales

Los primeros estudios señalando el posible efecto de la aplicación de TENS sobre estructuras supraespinales se remontan a los años 80; acreditándose un aumento de la concentración de β -endorfinas en el torrente sanguíneo y en el líquido cefalorraquídeo (Salar et al. 1981, Hughes et al. 1984).

Posteriormente, se estudió más específicamente el efecto de TENS sobre las vías inhibitorias descendentes, que incluyen el núcleo rafe magno, situado en el bulbo raquídeo, y la sustancia gris periacueductal en el mesencéfalo. La sustancia gris periacueductal envía proyecciones al bulbo raquídeo, que a su vez envía proyecciones a la médula espinal (Fields y Basbaum 2003). La estimulación de la sustancia gris periacueductal o del bulbo raquídeo produce inhibición de las neuronas del asta posterior medular, estando comúnmente aceptado que los efectos inhibidores de los opioides se producen por la activación de estas dos zonas (Fields y Basbaum 2003). Es por ello que se ha estudiado el efecto de la aplicación de TENS en los mecanismos fisiológicos de estas dos zonas. Así, en un estudio

sobre un modelo de inflamación articular en animales de 2001, en el que se emplearon microinyecciones en el bulbo raquídeo de diversos antagonistas de receptores opioides, se constató que los receptores opioides situados en el bulbo raquídeo mediaban en el efecto producido por TENS; concretamente los receptores opioides μ sobre la modalidad de TENS de baja frecuencia y los receptores opioides δ sobre la modalidad de TENS de alta frecuencia (Kalra et al. 2001). Estos datos sugieren que a nivel supraespinal, al igual que sucede a nivel medular, diferentes receptores opioides son activados específicamente por frecuencias distintas de TENS (Sluka y Walsh 2003).

Más recientemente, Desantana y Sluka han demostrado, en un estudio en el que se bloqueó la sustancia gris periacueductal, que ésta también contribuye al mecanismo fisiológico de TENS (DeSantana et al. 2008).

I.2.3.4. Efectos vasculares periféricos

Según algunos autores, la aplicación de TENS potencialmente podría tener un efecto local sobre el flujo sanguíneo y la resistencia vascular periférica. Impulsos eléctricos a intensidades capaces de estimular las fibras nerviosas aferentes tipo A δ consiguieron los mencionados efectos (Sato et al. 1997). Aplicado en sujetos sanos, TENS produjo un aumento del riego sanguíneo al ser aplicado sobre un nervio periférico, comparado con otras colocaciones de electrodos a distancia; con lo que los autores sugerían un efecto sobre las neuronas ganglionares encargadas de la vasoconstricción (Cramp et al. 2002). Sin embargo, en otro estudio de 2001 se consiguieron en sujetos sanos aumentos transitorios del riego sanguíneo y una disminución de la resistencia vascular al aplicar TENS de baja frecuencia (2 Hz) a ráfagas con una intensidad claramente (un 25%) por encima del umbral motor, pero no a intensidades levemente superiores e inferiores al umbral motor. Independientemente de la intensidad aplicada, no se obtuvieron cambios en la presión arterial (Sherry et al. 2001). Así,

parece desprenderse que los efectos de TENS sobre la circulación estarían asociados a una intensidad suficiente para conseguir contracciones musculares importantes, y no a un efecto sobre los nervios simpáticos postganglionares (Sherry et al. 2001). En un estudio con pacientes con patología vascular periférica afectados por claudicación intermitente, se les aplicó TENS (6 Hz), a un grupo con intensidad por encima del umbral motor y al otro por debajo del umbral motor; la aplicación se realizaba en la pantorrilla, tres veces al día, veinte minutos, durante cuatro semanas (Anderson et al. 2004). En el grupo a intensidad por encima del umbral motor se produjo una disminución de la claudicación intermitente, asociada a una posible optimización en la perfusión a nivel local; mientras que no hubo cambios significativos en el grupo al que se les aplicó una intensidad sensitiva pero por debajo del umbral motor. En ningún caso se produjeron cambios vasculares a nivel general, medidos a través de la presión sanguínea (Anderson et al. 2004). Concordando con este dato, en un estudio con 40 sujetos sanos a los que se les aplicó TENS de baja frecuencia (2 Hz) a distintas intensidades se constató que para cualquier nivel de intensidad no se producían cambios a nivel sistémico, medidos por la presión sanguínea a nivel de la arteria braquial (Lazarou et al. 2009). Más recientemente, se examinó el efecto de tres tipos de TENS sobre la circulación local del músculo trapecio y sobre la piel, en sujetos sanos, medido mediante fotopletismografía. Los sujetos se dividieron aleatoriamente en tres grupos: TENS de alta frecuencia (80Hz) aplicado a una intensidad sensitiva, TENS de baja frecuencia (2 Hz) aplicado a una intensidad por encima del umbral motor y TENS de alta frecuencia (80Hz) aplicado a una intensidad por debajo del umbral sensitivo. Los resultados mostraron que el riego sanguíneo del músculo trapecio, pero no el riego sanguíneo cutáneo, aumentó significativamente con TENS de 2 Hz sobre el umbral motor, mientras que no se produjo ningún cambio con las otras dos modalidades (Sandberg y Dahl 2007). En otro estudio con sujetos sanos se comprobó que aplicar TENS de baja frecuencia (4 Hz) a intensidades por debajo del umbral motor no producía, sin embargo, ningún cambio en el riego sanguíneo (Chen et al. 2007).

I.2.3.5. Efectos sobre la velocidad de conducción nerviosa

La posibilidad de que la aplicación de TENS induzca alteraciones en la conducción nerviosa ha sido objeto de numerosos estudios. En un estudio de 1998, Walsh et al, aplicaron TENS de alta frecuencia (110 Hz, 200 μ s) durante 15 minutos sobre el nervio radial, constatando un incremento en la latencia pico negativa, que es un indicador de disminución de la velocidad de conducción nerviosa (Walsh et al. 1998). Posteriormente, el mismo grupo de investigadores realizaron otro estudio, empleando otros parámetros (150 Hz, 125 μ s) sobre el nervio mediano, pero no encontraron cambios significativos en la latencia pico negativa, refiriéndose a la utilización de parámetro distintos como posible explicación de estos resultados (Alves-Guerreiro et al. 2001).

En un estudio en sujetos sanos, Chang et al. aplicaron diferentes tipos de TENS a nivel de un punto de acupuntura en la mano derecha y midieron el reflejo H a nivel del hueco poplíteo izquierdo. El reflejo H se genera al excitar eléctricamente las fibras aferentes Ia, que estimulan monosinápticamente a la motoneurona α ; considerándose que un aumento de la amplitud del reflejo H puede reflejar un aumento de la excitabilidad en las motoneuronas (Sica et al. 1971). Pues bien, tanto la modalidad de TENS de baja frecuencia (2 Hz), como la de alta frecuencia (100 Hz) aplicados en la mano, provocaron un aumento de la amplitud del reflejo H en el miembro inferior contralateral; siendo el efecto más prolongado en el caso de TENS de alta frecuencia (Chang et al. 2001). Sin embargo, en otro estudio aplicando TENS de alta frecuencia (150 Hz, 100 μ s) sobre la musculatura flexora del antebrazo, no produjo ninguna variación en el reflejo H (Tinazzi et al. 2005). En otro estudio en sujetos sanos, se aplicó TENS paravertebralmente, midiéndose el reflejo H en miembro inferior, y produciéndose, en este caso, una ligera disminución en su amplitud (Simorgh et al. 2008). Repetidas las mismas condiciones en otro estudio posteriormente se confirmó que aplicar TENS no produjo ningún cambio en el reflejo H (Fernandez-Del-Olmo et al. 2008).

I.2.3.6. Efectos sobre la actividad muscular

La aplicación de TENS, como ya hemos visto, es una forma de estimulación somatosensorial que ha sido ampliamente utilizado en el ámbito clínico con finalidad analgésica. También puede ser usado para estimulación neuromuscular con el objetivo de evocar eléctricamente contracciones musculares; conociéndose con el acrónimo NMES (*Neuromuscular Electrical Stimulation*) (Bélangier 2003). No obstante, de los estudios sobre TENS también parece deducirse que la aplicación a intensidades que no superan el umbral motor, es decir, sólo estímulos sensitivos, podría condicionar la respuesta motora. Los efectos de la estimulación somatosensorial aplicada de diversas formas sobre la excitabilidad neuromuscular y, por tanto, sobre la respuesta muscular ha sido objeto de estudio tanto en animales (Luft et al. 2005) como en humanos (Tinazzi et al. 2005, Dickstein y Kafri 2008, Wu et al. 2006). Dickstein et al. aplicaron TENS a nivel sensitivo durante quince minutos en la musculatura flexora de los dedos a sujetos sanos; midieron la actividad electromiográfica (EMG) y la fuerza mediante dinamometría antes y después de la aplicación de TENS a 100 Hz, encontrando un aumento tras la aplicación de TENS tanto de la actividad EMG como de la fuerza, independientemente de si la aplicación se hubiese aplicado unilateral o bilateralmente (Dickstein y Kafri 2008). Esos resultados contrastan con los de Tinazzi et al. que aplicando TENS a 150 Hz a nivel sensitivo, también a sujetos sanos, sobre el mismo grupo muscular (flexores de muñeca y dedos), refirieron que se producía inhibición; mientras que se producía facilitación recíproca sobre los músculos extensores (Tinazzi et al. 2005).

El hecho de que la estimulación somatosensorial pueda influir en la actividad muscular es especialmente importante en el ámbito de la rehabilitación de déficits motores en accidentes cerebrovasculares y otros desordenes neurológicos (Dickstein y Kafri 2008). En el caso de la rehabilitación motora de las secuelas en pacientes en fase crónica tras haber sufrido un ictus, Wu et al. aplicaron TENS en la mano parética de

hemipléjicos a una intensidad sensitiva, constatando una mejora de su funcionalidad motora (Wu et al. 2006). Más recientemente, Koesler et al, estudiando también la función motora de la mano afectada en pacientes en fase crónica tras un ictus, combinaron la realización de ejercicios funcionales para la mano afectada y la sana, añadiendo en un grupo una aplicación de estimulación eléctrica somatosensorial de dos horas sobre el nervio mediano. En el grupo al que se le había añadido la estimulación eléctrica se constató una mejora en la cinemática y la frecuencia del movimiento de la mano afectada; no produciéndose cambios de la actividad motora de la mano no afecta (Koesler et al. 2009). En el caso de pacientes en la fase aguda tras un ictus, Yan et al. asignaron aleatoriamente a 63 pacientes para recibir TENS, placebo, o únicamente el protocolo de fisioterapia estándar. Comparado con el resto, en el grupo TENS aumentó significativamente el número de sujetos con un tono muscular normalizado, aumentó la fuerza de la musculatura dorsiflexora, disminuyó la ratio de co-contracción de los antagonistas, así como hubo una tendencia a que los sujetos de este grupo iniciasen la marcha entre dos y cuatro días antes que en los otros dos grupos (Yan y Hui-Chan 2009).

Finalmente, fuera del campo neurológico, en un estudio realizado sobre el efecto de la aplicación de TENS tras cirugía cardiaca, se constató un aumento significativo de la actividad eléctrica del trapecio y pectoral mayor en el grupo TENS comparado con placebo (Cipriano et al. 2008).

I.2.4. Consideraciones para la aplicación de TENS

Una de las características primarias constatadas en las aplicaciones de TENS consiste en que, si se mantiene la intensidad de estimulación a un nivel constante durante un tiempo suficiente, se produce una disminución de la percepción que esa estimulación producía en el paciente (Nolan 1991). Algunos autores refieren que este fenómeno, conocido como acomodación, suele aparecer a partir de los 10 minutos de iniciada la aplicación (Nolan 1991). Estos cambios de percepción podrían ser atribuidos al efecto que

sobre los receptores cutáneos tiene una estimulación regular y repetitiva, que produciría un fenómeno de adaptación del sistema nervioso ante el citado estímulo (Johnson et al. 1991). Es por ello, que administrar una misma intensidad fija no producirá el mismo efecto sensitivo a lo largo de una misma aplicación, debido a este fenómeno de la acomodación. Por tanto, para mantener estable el nivel de percepción, la intensidad debe ir incrementándose a lo largo de la aplicación (Aarskog et al. 2007, Claydon et al. 2008, Miller et al. 2008, Sandberg et al. 2007). Estudios experimentales constatan la importancia de guiarse por la percepción subjetiva producida por TENS, referida por el paciente, como elemento de control para ajustar la intensidad de la estimulación, de forma que se consiga mantener la percepción del paciente durante toda la aplicación (Claydon et al. 2008). De hecho, es conocido que muchos estudios clínicos sobre la efectividad de las aplicaciones de TENS en su momento no tuvieron en cuenta el fenómeno de la acomodación, incurriendo así en la aplicación de intensidades de estimulación potencialmente inefectivas (Claydon et al. 2008, Barlas et al. 2006, Sandberg et al. 2007). Una alternativa de programación de TENS que puede ayudar a minimizar el fenómeno de la acomodación es el de la modulación de la frecuencia (Tong et al. 2007). En la práctica clínica, la técnica TENS se aplica habitualmente con un patrón de impulsos constante (frecuencia fija) (Johnson et al. 1991). No obstante, muchos equipos de TENS disponen de la posibilidad de programar la modulación de la frecuencia, o bien de frecuencia alternante (Fig. 5). La frecuencia modulada consiste en establecer fluctuaciones de frecuencia, de hercio en hercio, entre dos parámetros preestablecidos en un intervalo de tiempo previamente determinado (Bélanger 2003, Chen y Johnson 2009). Frecuencia alternante consiste en establecer dos frecuencias de estimulación que se van alternando, estando un tiempo determinado en cada una de ellas (Bélanger 2003, Chen y Johnson 2009).

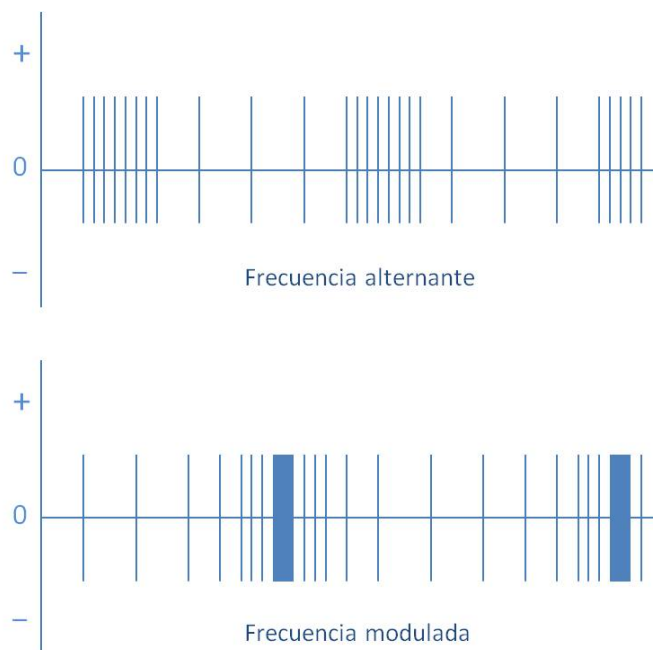


Figura 5. Variaciones programadas de la frecuencia

Se considera que el hecho de aplicar un estímulo con frecuencia modulada o alternante reduce la acomodación que sufre el sistema nervioso ante impulsos monótonos, ya que con la variación de frecuencias el estímulo que el paciente está recibiendo varía continuamente (Johnson 2001, Tong et al. 2007, Chen y Johnson 2009). Por otro lado, si los parámetros sobre los que va a variar la frecuencia abarcan la franja correspondiente a la baja y a la alta frecuencia, se cree que se activarían simultáneamente los mecanismos fisiológicos correspondientes a ambas modalidades, produciendo un efecto sinérgico que aumentaría la analgesia. (Chesterton et al. 2002, Han et al. 1991, Hamza et al. 1999, Ghoname et al. 1999, Rakel y Frantz 2003). Tong et al, en 2007, realizaron un estudio con 64 sujetos sanos con el objetivo de determinar si la modalidad de TENS de frecuencia alternada (2-100 Hz) tenía un mayor efecto analgésico sobre los umbrales de dolor mecánico y térmico que la modalidad de TENS a frecuencia fija de 2 Hz y 100 Hz respectivamente. La modalidad de TENS a frecuencia alternante fue la que produjo una elevación mayor en el umbral térmico, siendo el de 100 Hz el que elevó más el umbral mecánico (Tong et

al. 2007). Las diferencias respecto a ambos umbrales podían ser debidas a las diferentes aferencias empleadas por el dolor mecánico y térmico; así, el térmico estaría mediado por las fibras C, mientras que el mecánico por las A δ . De este modo, los autores concluyen que la modalidad de TENS a frecuencia alternante estaría más indicada en dolor mediado por fibras C (Ej. Dolor crónico), y el de 100 Hz en dolor mediado por las fibras A δ (Ej. Dolor agudo) (Tong et al. 2007). Más recientemente, se comparó el efecto sobre el umbral mecánico de la aplicación de TENS a frecuencia modulada (variando entre 20 y 100 Hz y de 100 a 20 Hz cada ocho segundos), respecto a la de frecuencia fija (80 Hz) y ambos respecto a placebo (Chen y Johnson 2009). Ambos tipos de TENS fueron superiores al placebo, pero no hubo diferencias en cuanto al efecto entre frecuencia modulada y constante.

Otro fenómeno importante que hay que tener en cuenta es la potencial aparición de tolerancia, ya que TENS se usa muy frecuentemente de forma repetida en el tratamiento de dolor crónico. Como ya se ha comentado en apartados anteriores, la analgesia proporcionada por TENS está relacionada con la secreción de péptidos opioides en el sistema nervioso (Sluka et al. 2005, Maeda et al. 2007, Walsh et al. 1995, Sjolund 1988, Radhakrishnan y Sluka 2003, Kalra et al. 2001, Zhang et al. 2002, Tinazzi et al. 2005, Motta et al. 2002, Sluka y Chandran 2002, Somers y Clemente 2003, Somers y Clemente 2009). Por otro lado, es conocido que la administración repetida de opioides desarrolla una disminución en su efecto analgésico que puede ser transitoria o crónica, y que es conocida como tolerancia. Asimismo, la tolerancia a un opioide disminuye la respuesta a otros opioides, un fenómeno conocido como tolerancia cruzada (Chandran y Sluka 2003). Así, como el efecto de TENS es de naturaleza opioide, se ha estudiado si la administración repetida de TENS conduce al desarrollo de tolerancia. En pacientes en tratamiento con dosis elevadas de fármacos opioides, o que recibieron tratamientos prolongados con este tipo de fármacos, se ha demostrado que no responden a los tratamientos con TENS (Solomon et al. 1980). En un estudio en ratas, en un modelo inflamatorio articular, se comprobó como la administración repetida de TENS durante seis días (tanto de alta como baja frecuencia) disminuía su

efecto analgésico a causa del desarrollo de tolerancia y también provocaba tolerancia cruzada a agonistas opioides μ y δ (Chandran y Sluka 2003). En el caso de estudios en humanos, Liebano et al. han constatado, comparando con un placebo, que la aplicación repetida diariamente de TENS con los mismos parámetros produce una disminución de la efectividad de la aplicación de TENS a partir del cuarto día de tratamiento (Liebano et al. 2009). Es por ello que a nivel clínico es importante tener presente la posible aparición de tolerancia a la hora de prescribir sesiones consecutivas de TENS, por ejemplo a pacientes con dolor crónico. Por otro lado, es conocido que el bloqueo del receptor N-Metil-D-Aspartato (NMDA) o del receptor CCK previenen la aparición de la tolerancia a los opioides. En relación a este punto, en dos estudios en ratas se demostró que administrando un antagonista del receptor NMDA se prevenía la aparición de la tolerancia a la administración diaria repetida de TENS (Hingne y Sluka 2008); así como el bloqueo tanto sistémico como intratecal de los receptores CCK prevenía la aparición de la tolerancia sobre el TENS, además de la tolerancia cruzada a agonistas de los receptores opioides (DeSantana et al. 2009). Desde una perspectiva clínica, se ha sugerido que la administración a dosis bajas de fármacos antagonistas del receptor NMDA (Ej. ketamina, dextrometorfano) podría servir para incrementar la eficacia de TENS (Hingne y Sluka 2008).

Respecto al tiempo de aparición de la analgesia de una aplicación de TENS, la opinión más extendida es que este tiempo es corto. Esto se ha demostrado tanto en modelos de experimentación en animales (Garrison y Foreman 1996), como en sujetos sanos (Chesterton et al. 2003, Dean et al. 2006, Johnson y Tabasam 2002), así como en pacientes con dolor (Johnson et al. 1991). No obstante, hay mucha variabilidad en los resultados; algunos autores hablan de que el efecto analgésico es relevante clínicamente a los 10 minutos de iniciada la aplicación (Chesterton et al. 2003), mientras que otros afirman que, con la combinación de parámetros adecuada, TENS reduce el dolor desde el primer minuto de aplicación (Johnson et al. 2002); mientras que con otras combinaciones de parámetros no se consiguieron efectos destacados tras cinco minutos de tratamiento (Brown et al. 2007).

Respecto a la duración del efecto analgésico tras finalizar una sesión de tratamiento, se ha estimado entre 8 y 24 horas (DeSantana et al. 2008). En un modelo animal de inflamación articular se comprobó que el efecto analgésico tras 20 minutos de aplicación se prolongaba durante 12 horas en el caso de la modalidad de TENS de baja frecuencia (4 Hz), mientras que en TENS de alta frecuencia (100 Hz) duró al menos 24 horas (Sluka et al. 1998). En humanos, Chesterton et al. demostraron que la modalidad de TENS de baja frecuencia a alta intensidad mantuvo su efecto al menos a los 30 minutos post estimulación, mientras que la modalidad de TENS de alta frecuencia, pero a una intensidad baja no mantuvo su efecto tras el tratamiento (Chesterton et al. 2002). Recientemente, se ha abundado en la importancia de emplear intensidades elevadas para conseguir una mayor duración del efecto TENS post tratamiento (Claydon et al. 2008). A igualdad en la intensidad aplicada, es la duración de la sesión lo que determinaría la duración del efecto post-sesión. En un estudio al respecto, 38 pacientes con dolor por artritis de rodilla recibieron TENS en sesiones de 20, 40 ó 60 minutos, diariamente durante dos semanas (Cheing et al. 2003). En este estudio los pacientes no llegaban al nivel de dolor pre estimulación para la siguiente sesión realizada a las 24 horas. Las mayores duraciones de efecto se produjeron en los grupos con 40 y 60 minutos de estimulación. Los autores sugerían, al no encontrarse diferencias significativas entre estos dos tiempos, que los tratamientos de TENS en pacientes con artritis de rodilla no sería necesario que durasen más de 40 minutos, ya que mayores tiempos no se produjeron mayores efectos analgésicos (Cheing et al. 2003).

Respecto a posibles diferencias en los efectos de TENS entre sexos, aunque existen diferencias en cuanto a los umbrales y la tolerancia al dolor entre hombres y mujeres (Johnson y Tabasam 1999, Lund et al. 2005, Quiton y Greenspan 2007), no se han encontrado diferencias en cuanto al grado de respuesta a la aplicación de TENS (Johnson et al. 1991, Johansson et al. 1980).

En cuanto a la edad de los pacientes, se han descrito tratamientos con TENS a partir de los cuatro años de edad (Merkel et al. 1999), no encontrándose en la edad adulta diferencias en el grado de efectividad de

TENS entre los distintos grupos de edades (Johnson et al. 1991, Johansson et al. 1980).

Finalmente, en un estudio sobre TENS en dolor experimental en sujetos sanos, se compararon los umbrales y el nivel de dolor entre dos grupos étnicos, un grupo de asiáticos y un grupo de caucásicos. Al encontrarse diferencias significativas entre los dos grupos los autores concluyeron que los factores etnoculturales podrían influir en la respuesta a la terapia TENS, y que por tanto deberían ser tenidos en cuenta a la hora de la distribución de sujetos entre los distintos grupos en los ensayos clínicos sobre TENS (Johnson, Din 1997).

I.2.5. Indicaciones de TENS

La técnica TENS ha sido ampliamente empleada, tanto para el tratamiento del dolor crónico (Johnson y Martinson 2007, Carroll et al. 2001) como del agudo (Walsh et al. 2009, Bjordal et al. 2003, DeSantana et al. 2009, DeSantana et al. 2008), incluso también del dolor de origen visceral (DeSantana et al. 2007, De Angelis et al. 2003). Actualmente, el uso de TENS en el ámbito clínico, junto con las interferenciales, constituye la técnica de estimulación eléctrica más empleada como alternativa a los tratamientos analgésicos tradicionales, tales como los farmacológicos o quirúrgicos (Johnson y Tabasam 1999). Su popularidad se basa, entre otros aspectos, en que se trata de una técnica no invasiva, fácil de administrar, tiene pocos efectos secundarios e interacciones con otros fármacos, no puede producir sobredosis, es una técnica muy económica, y tras un periodo de entrenamiento del propio paciente es adecuada para el tratamiento domiciliario (Johnson 2001).

Los listados clásicos de indicaciones de TENS se han basado en la literatura publicada sobre investigaciones en humanos a lo largo de los años 80 y 90 del siglo pasado (Bélanger 2003). No obstante, las investigaciones iniciales en las que se basaban estos listados tendían a presentar numerosas deficiencias: bajo número de sujetos, falta de

aleatorización, o de grupo placebo, o falta de cegado de los participantes; además, aparecía poca o ninguna información sobre los parámetros empleados o la colocación de los electrodos, imposibilitando la replicación de los estudios y, por todo ello, sobrestimando los efectos de TENS (Walsh et al. 2009, Johnson 2001). Como ejemplo, Carroll et al.(1996), en una revisión sistemática sobre el efecto del uso de TENS en pacientes postoperatorios, encontró que en 15 de 17 estudios controlados aleatorios TENS no probó efecto analgésico superior al placebo; no obstante, de los 19 estudios excluidos por errores en el diseño, en 17 los resultados fueron positivos. Por todo ello, se hace necesario un replanteamiento de los listados de indicaciones de TENS, basándose en la revisión crítica de los estudios realizados y tras analizar la calidad de los mismos, tomando en consideración únicamente aquellos estudios clínicos aleatorizados y con grupo control, que cuiden, en la medida de lo posible, el cegado de los participantes, con suficiente poder estadístico y una clara metodología. De esta necesidad surgen las revisiones sistemáticas de los estudios publicados sobre la técnica TENS. En ellas se analizan todas las publicaciones relacionadas con el tema, excluyendo todas aquellas publicaciones que no cumplan con unos criterios de inclusión sobre calidad metodológica. Como ejemplo, para una patología tan común como es la lumbalgia -de la que cabría esperar que en una revisión sistemática se incluyesen un gran número de estudios-, nos encontramos que los errores metodológicos de la mayoría de los estudios publicados al respecto han hecho que, en una revisión del año 2008, sólo dos estudios fueran incluidos, al ser los únicos que cumplían con los requisitos mínimos estandarizados de calidad para ser tenidos en cuenta (Khadilkar et al. 2008). De este modo, un listado de indicaciones actualizado debería necesariamente basarse en datos contrastados provenientes de las revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados, así como de los estudios clínicos aleatorizados publicados más recientemente (Tabla IV).

Tabla IV. Evidencia publicada respecto a TENS

Condición	Revisiones sistemáticas	Estudios clínicos publicados tras la última revisión	Resultados
Dolor agudo	Reeve et al.1996, Walsh 2009	No se han publicado	No concluyentes
Dolor postoperatorio	Carroll et al.1996, Bjordal et al.2003, Freynet y Falcoz 2010	Unterrainer et al.2010, Platon et al.2010	TENS es efectivo
Dolor en el parto	Carroll et al.1997, Dowswell et al.2009, Bedwell et al. en prensa	No se han publicado	No concluyentes
Dismenorrea primaria	Proctor et al.2002	Schiøtz et al.2007	TENS es efectivo
Cervicalgia	Kroeling et al.2009	No se han publicado	TENS es efectivo
Dolor crónico	Carroll et al.2001, Johnson y Martinson 2007, Nnoaham y Kumbang 2008	Sikuru et al.2008, Sang-Hun y Byung-Cheol 2009.	TENS es efectivo
Artritis reumatoide en la mano	Brosseau et al.2003	No se han publicado	No concluyentes
Dolor lumbar crónico	Milne et al 2002, Khadilkar et al.2008, Dubinsky y Miyasaki 2010	No se han publicado	No concluyentes
Artrosis de rodilla	Osisri et al.2000, Rutjes et al.2009	No se han publicado	No concluyentes
Hombro doloroso en hemiplejía	Price y Pandyan 2001	No se han publicado	No concluyentes
Demencia	Cameron et al.2003	No se han publicado	No concluyentes
Dolor oncológico	Robb et al.2009	No se han publicado	No concluyentes
Dolor en polineuropatía diabética	Dubinsky y Miyasaki 2010	No se han publicado	TENS es efectivo
Litotricia	No se han publicado	Karamaz et al.2004	TENS es efectivo
Claudicación intermitente	No se han publicado	Anderson et al.2004	TENS es efectivo
Espasticidad	No se han publicado	Aydin et al.2005, Yan y Hui-Chan 2009	TENS es efectivo
Funcionalidad en personas con ictus	No se han publicado	Koesler et al.2009, Yan y Hui-Chan 2009, Ng y Hui-Chan 2009	TENS es efectivo
Necrosis	No se han publicado	Atalay y Yilmaz 2009	TENS es efectivo
Tratamientos de desintoxicación	No se han publicado	Meade et al.2010	TENS es efectivo

Dolor agudo:

En 1996 Reeve et al. llevaron a cabo una primera revisión sistemática, incluyendo 14 estudios controlados aleatorizados sobre distintas condiciones (dismenorrea, dolor dental, cervicalgia y dolor orofacial). TENS produjo mejores resultados que el grupo control en la mitad de los estudios. Los autores concluían que no disponían de suficientes elementos para proclamar una conclusión debido a la poca calidad metodológica de los estudios analizados (Reeve et al. 1996). Recientemente, se ha publicado una revisión Cochrane sobre TENS para dolor agudo (Walsh et al. 2009). Se incluyeron estudios controlados aleatorizados en adultos con dolor agudo (menos de 3 meses) en los que se examinaba el uso de TENS como único tratamiento, y debían compararse con TENS placebo, o grupo control sin tratamiento, o tratamiento farmacológico o de otro tipo. Fueron excluidos los estudios con dolor experimental en sujetos sanos, casos clínicos, estudios observacionales, cartas, resúmenes y revisiones. Fueron excluidos estudios sobre TENS en dolor de parto, dental y dismenorrea. Si la estimulación TENS era administrada junto con otros tratamientos también se excluyeron. En la búsqueda bibliográfica realizada se identificaron 1479 estudios, de los cuales 132 se consideraron relevantes. Sólo 12 cumplieron los criterios de inclusión, no siendo posible realizar un metaanálisis debido a la falta de datos, concluyendo los autores que no se podía dar una conclusión definitiva sobre la efectividad de la aplicación de TENS como tratamiento aislado del dolor agudo en adultos (Walsh et al. 2009).

Dolor postoperatorio:

En una revisión sistemática sobre TENS en dolor agudo postoperatorio (Carroll et al. 1996) se constató que en 15 de 17 estudios (786 pacientes) que cumplieron con los criterios de inclusión, refirieron que el uso de TENS no era efectivo. Posteriormente, incluyendo nuevos estudios controlados aleatorizados, Bjordal et al. revisaron la efectividad del TENS para reducir el consumo de analgésicos postoperatorio. Cumplieron con los criterios de calidad 21 estudios controlados aleatorizados, sumando un total de 1350 pacientes. La reducción media del consumo de analgésicos

tras la aplicación de TENS fue del 26.5% mejor que con placebo. En 11 de los estudios controlados aleatorizados se aplicaron intensidades elevadas y frecuencias adecuadas (1-8 Hz para TENS de baja frecuencia y 25-150 Hz para TENS de alta frecuencia), siendo la reducción del consumo de analgésicos del 35.5%; mientras que en el resto de estudios en los que no se especificaba la aplicación de intensidades elevadas o frecuencias adecuadas, la media de la reducción del consumo de analgésicos fue únicamente del 4.1%. Los autores concluían que aplicado a una intensidad elevada y con una frecuencia de impulsos adecuada la aplicación de TENS reduce significativamente el consumo postoperatorio de analgésicos (Bjordal et al. 2003). Estos resultados concuerdan con una revisión más reciente en la que se señala que aunque la evidencia está limitada por el escaso número de estudios calificados de alta calidad estos estudios muestran claramente los resultados positivos del uso de TENS en el control del dolor postoperatorio (Meissner 2009). Finalmente, en 2010 se ha publicado una revisión respecto al uso de TENS para el caso concreto del dolor post-toracotomía; en ella se revisaron 74 artículos de los que 9 fueron ensayos clínicos controlados aleatorizados, siendo tres doble ciego (Freynet, Falcoz 2010). La conclusión es que los resultados de la gran mayoría refieren que TENS es una terapia analgésica efectiva tras la cirugía torácica como coadyuvante del tratamiento farmacológico (menor puntuación en las escalas de dolor, así como menor requerimiento farmacológico, en los grupos TENS comparados con placebo); además, con su uso, disminuye la duración en la sala de recuperación tras la cirugía, así como tiene efectos positivos sobre la función ventilatoria y la capacidad vital. Como tratamiento único TENS no ha demostrado su eficacia ante el dolor tras toracotomía en el caso de ser severo, pero sí en aquellos pacientes con dolor moderado (Freynet y Falcoz 2010).

Posteriormente a la más reciente revisión han aparecido dos publicaciones de ensayos clínicos respecto al uso de TENS para el control del dolor posoperatorio. En la primera, Unterrainer et al. investigan el efecto del uso de TENS en pacientes intervenidos de artrodesis vertebral lumbar. Treinta y ocho pacientes fueron aleatoriamente distribuidos en tres grupos:

grupo TENS pre y post intervención quirúrgica, grupo TENS únicamente post intervención quirúrgica y grupo placebo como control. El requerimiento de piritramida (analgésico opioide) fue significativamente menor en el grupo TENS pre y post intervención quirúrgica respecto al grupo TENS únicamente post intervención quirúrgica ($p < 0.05$) y respecto al grupo placebo ($p < 0.05$); a su vez el requerimiento de piritramida fue significativamente menor en el grupo TENS únicamente post intervención respecto al grupo placebo ($p < 0.05$); no se encontró ningún efecto secundario (Unterrainer et al. 2010). El último ensayo clínico publicado sobre postoperatorio trata del uso de TENS tras aborto quirúrgico (Platon et al. 2010). Doscientas mujeres fueron aleatoriamente distribuidas en dos grupos: grupo TENS de alta frecuencia (80 Hz) y alta intensidad (20-60 mA) aplicado durante un minuto en una o dos ocasiones y grupo con tratamiento farmacológico convencional (20-100 μg de fentanil). Ambos grupos presentaron niveles de alivio del dolor significativos (escala visual analógica: grupo TENS 5.6-1.3, $p < 0.0001$; grupo farmacológico 5.8-1.6, $p < 0.0001$), no encontrándose diferencias significativas entre ambos grupos. Tampoco hubo diferencias significativas entre el grado de dolor presentado tras los tratamientos (escala visual analógica: grupo TENS 1.3 vs grupo farmacológico 1.6; $p < 0.09$). Sin embargo, hubo más pacientes en el grupo TENS que en el de tratamiento farmacológico que refirieron un alivio completo del dolor (escala visual analógica 0) (37 vs 23, $p < 0.05$). Los pacientes en el grupo TENS estuvieron menos tiempo en la sala de recuperación posquirúrgica (grupo TENS 44 min vs grupo farmacológico 62 min; $p < 0.0001$). Aun no siendo estadísticamente significativo, cabe añadir que el doble de pacientes en el grupo de tratamiento farmacológico convencional necesitaron posteriormente de analgésicos adicionales respecto al grupo TENS (grupo TENS $n=8$ vs grupo farmacológico $n=16$; $p < 0.064$) (Platon et al. 2010).

Dolor en el parto:

La primera revisión sistemática fue realizada por Carroll et al. en 1997, incluyendo ocho estudios controlados aleatorizados, sumando 712 mujeres (352 recibieron TENS y 360 actuaron como controles). En ninguno

de ellos la utilización de TENS produjo una disminución del dolor significativa comparado con tratamientos placebo o grupos control sin tratamiento (Carroll et al. 1997). Más recientemente, en otra revisión se recopilaron 19 estudios, incluyendo 1671 mujeres. La aplicación de TENS se localizó en quince de estos estudios sobre la zona dorsal, en dos sobre puntos de acupuntura y en dos sobre el cráneo. En conjunto, hay pocas diferencias en las valoraciones del dolor entre TENS y los grupos control, aunque las mujeres que reciben TENS es menos probable que refieran dolor severo y la mayoría desearían usarlo de nuevo en futuros partos. No hay evidencia de que la aplicación de TENS produzca ningún impacto sobre el desarrollo del parto y las constantes de las madres y los bebés, no refiriéndose ningún suceso adverso. La conclusión de los autores es que las mujeres deberían tener la opción de usar TENS durante el parto (Dowswell et al. 2009). Estas mismas conclusiones, surgidas tras la revisión de 14 estudios que incluyen 1256 mujeres, se destacan en la última revisión sobre el dolor en el parto de la que se tiene noticia (Bedwell et al. en prensa).

Dismenorrea primaria:

En una revisión sistemática se incluyeron ocho estudios controlados aleatorizados con TENS como tratamiento de la dismenorrea primaria. Los resultados en conjunto señalan que el uso de TENS de alta frecuencia ha demostrado ser más efectivo que el placebo para reducir el dolor; mientras que el uso de TENS de baja frecuencia no consigue mejores resultados que el placebo (Proctor et al. 2002).

Más recientemente, se publicó un estudio en el que se suministró una unidad TENS portátil a 21 mujeres. Hubo una disminución significativa en la media de la puntuación sobre la escala visual analógica del dolor tras cuatro ciclos menstruales (6.73 vs 5.18, $p=0.0009$), así como en la ingesta de analgésicos ($p=0.03$) y siete mujeres suspendieron completamente la toma de analgésicos ($p=0.02$) (Schjøtz et al. 2007).

Cervicalgia:

En una reciente revisión Cochrane sobre el tratamiento de cervicalgias mediante electroterapia se incluyeron 18 estudios, sumando únicamente 1043 pacientes, siendo el análisis limitado debido a la distinta calidad de los estudios y lo heterogéneo de los tratamientos. La conclusión de los autores es que TENS puede ser más efectivo que el placebo en el tratamiento de las cervicalgias (Kroeling et al. 2009). En el caso de la cervicalgia tanto aguda como crónica, TENS puede ser más efectivo que la estimulación eléctrica neuromuscular, no tanto como la combinación de ejercicio e infrarrojos y estar al mismo nivel que la combinación de terapia manual y ultrasonido. Añadir TENS no produce mayor eficacia a los tratamientos de infrarrojos, *hot packs* y ejercicio, fisioterapia o una combinación de collarín, ejercicio y medicación analgésica. En el caso del síndrome de dolor cervical miofascial, el uso de TENS podría disminuir el dolor mejor que un tratamiento placebo (Kroeling et al. 2009).

Dolor crónico:

En una primera revisión, Carroll et al incluyeron 19 estudios, provenientes de 18 artículos, que cumplieron con los criterios de calidad para incluidos. Los resultados de esta revisión no fueron concluyentes; en 10 de 15 estudios con controles sin tratamiento hubo resultados favorables para TENS, mientras que únicamente en tres de siete estudios en los que todos los pacientes recibían tratamiento farmacológico el uso de TENS produjo un efecto positivo (Carroll et al. 2001). Más recientemente, se publicó una revisión Cochrane sobre TENS en dolor crónico (Nnoaham y Kumbang 2008). De 124 estudios potenciales sobre el tema sólo 25 cumplieron los criterios de inclusión, sumando 1281 pacientes. No fue posible realizar un metaanálisis debido a la variedad de diseños, variables y tipos de pacientes. En conjunto, en 13 de 22 estudios en los que el grupo control no recibía tratamiento aparece una acción positiva a favor de TENS. En siete de nueve estudios en los que se comparaba TENS de alta frecuencia con baja frecuencia para este tipo de pacientes no se encontraron diferencias en el grado de analgesia alcanzada entre las dos

modalidades (Nnoaham y Kumbang 2008). En un estudio de Johnson y Martinson sobre estimulación eléctrica en dolor crónico sí se pudo realizar un metaanálisis (Johnson y Martinson 2007). De un total de 29 artículos, se identificaron un total de 38 estudios, incluyendo 335 pacientes recibiendo placebo, 474 TENS o estimulación eléctrica percutánea (PENS), y 418 pacientes recibiendo tratamientos cruzados (placebo y al menos una técnica de estimulación eléctrica). Los resultados muestran una disminución significativa del dolor debida al uso de TENS y PENS, siendo mayor el efecto en PENS que en TENS. Según los autores este resultado avala la conclusión de que la estimulación eléctrica es efectiva, ya que en PENS, al utilizarse agujas, se estimula más directamente las terminaciones nerviosas, siendo menos disipada la corriente eléctrica que en TENS (Johnson y Martinson 2007).

Recientemente se han publicado dos estudios respecto a la aplicación de TENS para el dolor producido por prostatitis crónica/síndrome de dolor pélvico crónico. En el primero, 24 pacientes se aleatorizaron en tres grupos: grupo TENS (60 Hz, 100 μ s, 25 mA, 20 minutos, diariamente durante 4 semanas), grupo con tratamiento farmacológico analgésico (ibuprofeno 400 mg) y grupo control placebo. La media de la valoración de dolor tras los tratamientos fue significativamente menor en el grupo TENS (grupo TENS 9.00 ± 0.93 vs grupo farmacológico 13.38 ± 1.50 vs grupo placebo 15.88 ± 1.55 ; $p < 0.05$) (Sikiru et al. 2008). En el segundo estudio, 39 hombres a los que se les indicaban una serie de ejercicios más unas recomendaciones se aleatorizaron en tres grupos: TENS, placebo TENS y control. Los índices de dolor fueron significativamente menores en el grupo TENS respecto a los otros dos grupos ($p < 0.001$). A su vez, se realizaron análisis de los niveles de prostaglandina E_2 (producida en las inflamaciones locales, y esencial en el inicio y mantenimiento de la hiperalgesia inflamatoria), encontrándose una disminución significativa de sus niveles en el grupo TENS (Lee y Lee 2009).

Dolor de la mano en artritis reumatoide:

En una revisión sistemática realizada en 2003, únicamente tres artículos (78 pacientes) fueron tenidos en cuenta al cumplir con los

estándares de calidad mínima exigidos. La conclusión de esta revisión fue que el empleo de TENS de alta frecuencia no alcanzaba un nivel de analgesia suficiente respecto a placebo para ser relevante clínicamente. Por otro lado, la aplicación de TENS de alta frecuencia sí proporcionó un beneficio clínico medido por la percepción del paciente de su enfermedad, siendo éste superior al proporcionado por la modalidad de TENS de baja frecuencia (Brosseau et al. 2003).

Dolor lumbar crónico:

Milne et al, en 2002, realizaron una revisión sistemática de los estudios realizados con TENS en el tratamiento de pacientes con dolor lumbar crónico. Se incluyeron finalmente para su análisis cinco estudios, sumando 170 pacientes aleatoriamente asignados para recibir un tratamiento TENS placebo, 251 pacientes tratados con TENS de alta frecuencia y 98 con TENS de baja frecuencia. No se encontró evidencia que avalase el uso de TENS, en sus dos modalidades, en pacientes diagnosticados de dolor lumbar crónico (Milne et al. 2001). En 2009 se publicó una revisión Cochrane sobre el tema, en la que se incluyeron únicamente cuatro estudios, que cumplieron con los criterios de inclusión (585 pacientes), con diseños muy diferentes que impidieron realizar un metaanálisis (Khadilkar et al. 2008). Los resultados no señalan que TENS pudiera disminuir el dolor lumbar; lo que sí señalan dos estudios (410 pacientes) es que el uso de TENS no mejora la funcionalidad de la zona lumbar. Tampoco hay una evidencia clara de que el uso de TENS disminuya los requerimientos de asistencia sanitaria o social (Ej. días de baja); o de que haya diferencias entre el uso de TENS de alta frecuencia o de baja frecuencia. Sin embargo, los autores de la revisión señalan que en dos de los cuatro estudios se emplearon intensidades de TENS claramente insuficientes, pudiendo claramente influir en los resultados negativos referidos (Khadilkar et al. 2008). La última revisión sobre el tema de la que se tiene referencia es de 2010 (Dubinsky y Miyasaki 2010). En ella los autores afirman que hay evidencias contrapuestas para el tratamiento del dolor lumbar crónico con TENS. De los 263 artículos localizados sólo cinco cumplieron con los criterios de calidad para ser incluidos en la revisión. De

los cinco artículos incluidos los dos de mayor calidad no refirieron beneficio derivado del uso de TENS, mientras que de los otros tres, en dos de ellos el beneficio era modesto y en uno no se demostró beneficio. De este modo los autores concluyen que no se puede calificar al TENS como una técnica indicada en el tratamiento del dolor lumbar crónico debido a la falta de eficacia demostrada (Dubinsky y Miyasaki 2010).

Artrosis de rodilla:

En una primera revisión sistemática del tema en 2000 fueron incluidos 7 estudios, seis con TENS de alta frecuencia y uno con TENS de baja frecuencia, sumando 148 pacientes en tratamiento activo y 146 pacientes bajo tratamiento placebo. Los autores llegan a la conclusión de que la modalidad de TENS de alta frecuencia, así como la de baja frecuencia, conseguía mejores resultados que un placebo a la hora de disminuir el dolor (Osiri et al. 2000). No obstante, en una revisión de 2009 se incluyeron 18 estudios (813 pacientes), no pudiendo confirmar que la técnica TENS es un método analgésico efectivo en la artrosis de rodilla. Los autores de esta revisión, no obstante, afirman que los resultados no son concluyentes, debido al pequeño tamaño muestral de los estudios analizados, así como a su pobre calidad metodológica (Rutjes et al. 2009).

Hombro doloroso en hemipléjicos

Una única revisión se ha publicado hasta la fecha respecto a la eficacia de TENS en la prevención y/o tratamiento del dolor de la zona del hombro en pacientes afectados por un ictus. Se localizaron cuatro estudios, incluyendo un total de 170 sujetos que cumplieran con los criterios de calidad requeridos. Los resultados no confirman ni refutan que el uso de TENS en estos pacientes disminuya la valoración sobre el dolor. No obstante, parece desprenderse que el uso de TENS puede reducir la severidad de la subluxación glenohumeral y mejorar el rango de movimiento pasivo a la rotación libre de dolor (Price y Pandyan 2001).

Dolor oncológico

La técnica TENS viene siendo cada vez más utilizada en oncología y en cuidados paliativos debido a su seguridad y sus mínimos efectos secundarios (Robb et al. 2009). No obstante, su efectividad en la práctica clínica no ha quedado determinada. En una revisión sistemática sobre la efectividad de TENS sobre el dolor producido por el cáncer los resultados no han sido concluyentes. Sólo dos estudios controlados aleatorizados (64 pacientes) superaron los criterios de inclusión, pero la disparidad entre las poblaciones estudiadas, modalidades de TENS, duraciones de tratamiento y variables empleadas impidieron realizar su meta-análisis. En uno de los estudios no hubo diferencias significativas entre TENS y placebo en mujeres con dolor crónico causado por el tratamiento por cáncer de pecho. En el otro estudio no hubo diferencias significativas entre TENS de baja frecuencia y el placebo en pacientes de la unidad de cuidados paliativos (Robb et al. 2009).

Dolor en polineuropatía diabética.

Se tiene referencia de una única revisión sobre el tema. En ella se realizó una búsqueda sistemática de la literatura sobre dolor neurológico en diabetes aparecida hasta abril de 2009. Sólo tres artículos cumplieron con los criterios de calidad mínimos. En dos de ellos se comparó TENS con placebo TENS y en el tercero se comparó TENS de alta frecuencia con TENS de baja frecuencia. Se constató una modesta reducción en el registro de la escala visual analógica del dolor en el grupo TENS comparado con placebo, así como mayor analgesia producida por la modalidad de TENS de alta frecuencia. De este modo, los autores concluyen que el uso de TENS probablemente sea efectivo para reducir el dolor producido por neuropatía periférica diabética (Dubinsky, Miyasaki 2010).

Dolor durante litotricia

En un estudio aleatorizado y controlado con placebo se comparó el efecto de la modalidad de TENS de alta frecuencia respecto a la de TENS de baja frecuencia durante litotricia extracorpórea por ondas de choque, como

tratamiento analgésico complementario (Kararmaz et al. 2004). Los pacientes se distribuyeron aleatoriamente en tres grupos de 22 sujetos: TENS de alta frecuencia (250 μ s, 80 Hz, 10-30 mA), TENS de baja frecuencia (150 μ s, ráfagas de 2 Hz, 10-50 mA) y grupo control placebo (150 μ s, ráfagas de 2 Hz, intensidad muy baja, máximo 10 mA). Todos los pacientes recibían a su vez alfentanil (analgésico opioide) a demanda. El consumo de alfentanil ($p < 0.0001$), el dolor ($p < 0.05$) y el grado de satisfacción ($p < 0.05$) fueron significativamente menores en el grupo TENS de alta frecuencia respecto a los otros dos (Kararmaz et al. 2004).

Además de las indicaciones ya mencionadas, relacionadas con el dolor; sobre la técnica TENS se han realizado ensayos clínicos aleatorios y controlados de calidad en otros ámbitos no relacionadas con el efecto analgésico con resultados significativos: desordenes del sueño asociados con la demencia (Cameron et al. 2003), claudicación intermitente (Anderson et al. 2004), espasticidad (Yan y Hui-Chan 2009, Aydin et al. 2005), mejora de la funcionalidad en pacientes tras haber sufrido un ictus (Yan y Hui-Chan 2009, Koesler et al. 2009, Ng y Hui-Chan 2009), disminución de la posibilidad de que aparezca necrosis necrosis de colgajos cutáneos en mastectomías (Atalay y Yilmaz 2009), y como tratamiento coadyuvante para pacientes en tratamientos de desintoxicación en los que se empleara opioides (Meade et al. 2010).

I.2.6. Peligros y precauciones en la aplicación de TENS

La técnica TENS ha sido usada en un número importantísimo de pacientes durante décadas para el tratamiento de muy diversas condiciones. Existe un consenso general en que es una técnica muy segura y libre de efectos secundarios significativos (Rushton DN 2002). No obstante, hay algunas circunstancias que deben ser tenidas en cuenta y que pueden condicionar su uso. La más importante es la controversia respecto a su uso en pacientes usuarios de marcapasos.

Históricamente, se ha considerado que el uso de TENS estaba contraindicado en pacientes con marcapasos (Eriksson et al. 1978). No obstante, en la actualidad la evidencia sugiere que, aunque su uso en pacientes con marcapasos pueda considerarse la fuente de peligro más importante del uso de TENS, no debe considerarse una contraindicación absoluta, en la medida que se tomen unas precauciones básicas (Bélanger 2003). El posible efecto de la aplicación de TENS sobre un marcapasos viene dado por la interferencia causada por potenciales generados en el cuerpo por el equipo TENS y que serían captadas por el marcapasos que, al confundirlas por señales cardiacas, produciría la reprogramación o inhibición de la función del marcapasos (Rushton 2002, Philbin et al. 1998). No obstante, en un estudio de 1998, Rasmussen et al estudiaron el uso de TENS en 51 pacientes usuarios de 20 modelos diferentes de marcapasos. Aplicaron TENS en cuatro localizaciones anatómicas: área lumbar, columna cervical, pierna izquierda y zona distal del brazo izquierdo. No se refirió ningún episodio de interferencia, inhibición o reprogramación en ninguna de las localizaciones, ni en ningún modelo de marcapasos. Los autores concluían que TENS podía ser usado de forma segura en las localizaciones estudiadas en pacientes con marcapasos. No obstante, recomendaban que la aplicación de TENS en la zona torácica debiera ser evitada por precaución, ante la proximidad al marcapasos, mientras no hubiese estudios al respecto (Rasmussen et al. 1988). No fue hasta 2008 cuando se realizó la valoración de la compatibilidad del uso de TENS en el área torácica en pacientes con marcapasos. A 27 pacientes con marcapasos se les aplicó TENS de alta frecuencia (80 Hz) y de baja frecuencia (2 Hz) con los electrodos situados sobre cada mama, a la máxima intensidad tolerable durante 30 segundos o hasta que el electrocardiograma revelase signos de interferencia. Se detectaron interferencias en 22 de 27 pacientes, siendo más frecuentes en TENS de baja que en alta frecuencia (Carlson et al. en prensa). Es por ello que habría que establecer una pauta de precaución general para el uso de TENS en pacientes con marcapasos, primordialmente si la aplicación es sobre el tórax, consistente en realizar una revisión electrocardiográfica de cada paciente durante la primera aplicación de TENS (Carlson et al. en prensa), e incluso si el uso de TENS se va a realizar

de forma ambulatoria se debiera realizar un monitorización cardiaca con Holter durante 24 horas (Chen et al. 1990).

Se han descrito en la literatura sobre TENS otras interacciones de su uso, como es el caso de pacientes con desfibrilador automático implantado (Philbin et al. 1998, Curwin et al. 1999). En este caso, el uso de TENS podría producir una interferencia electromagnética que activaría el desfibrilador automático implantado, provocando arritmias y/o descargas dolorosas (Crevenna et al. 2003). Es por ello que en estos pacientes se deben realizar pruebas electrocardiográficas previas al uso continuado de TENS (Bélanger 2003, Crevenna et al. 2003). Se ha descrito también que el uso de TENS puede producir artefactos en la realización de electrocardiogramas (Bélanger 2003, Rushton 2002, Marples 2000, Mann 1996).

Se ha descrito un único caso en el que al aplicar TENS anteroposteriormente sobre la pared costal para el tratamiento del dolor agudo por un paciente que acudió a un centro hospitalario por una angina de pecho produjo una crisis respiratoria por bloqueo del movimiento torácico. El autor concluye que debido a una intensidad muy elevada del equipo TENS se produjo una contracción tetánica de la musculatura intercostal que causó finalmente el bloqueo respiratorio, siendo que tras desconectar el TENS inmediatamente se reanudó el movimiento respiratorio (Mann 1996).

Otro de los peligros de la aplicación de TENS en algunos pacientes es la aparición de reacciones alérgicas de la piel ante el contacto prolongado con los materiales con los que están fabricados los electrodos, que pueden llegar a producir dermatitis de contacto (Nolan 1991, Dwyer et al. 1994, Meuleman et al. 1996, Weber-Muller et al. 2004). La aparición de irritación en la piel puede ser abordada con éxito en la mayoría de los casos variando la colocación de los electrodos (Rushton 2002), o en caso de ser persistente, cambiando el tipo de electrodo por otro con distinta composición de la superficie de contacto del electrodo con la piel (Bélanger 2003, Rushton 2002).

Finalmente, hay una serie de prevenciones sobre el uso de TENS compartidas por numerosos autores (Bélanger 2003, Plaja 2003, Walsh 1997, Johnson 2001) y muy difundidas en el ámbito clínico, pero que están a la espera de confirmación mediante estudios específicos. Se trata de la contraindicación de la aplicación de TENS sobre la cara anterior del cuello, ya que se supone que podría producir graves reacciones por una posible estimulación de los nervios vago y frénico, así como del seno carotideo. Al igual que la contraindicación de aplicar TENS sobre la zona precordial, ya que se supone que podría estimular el corazón provocándole arritmias o fibrilación. Finalmente, se desaconseja el uso de TENS sobre zonas con sensibilidad alterada, ya que lógicamente no se tendría una referencia fiable de la sensación producida por el equipo TENS.

I.3. TENS EN COLONOSCOPIAS: PROPUESTA PARA SU APLICACIÓN

La colonoscopia es una técnica de exploración digestiva de primer orden que, a pesar de que está asociada a un claro beneficio clínico y suscita un amplísimo consenso científico, ha visto su aplicación limitada por el dolor provocado por las tracciones y distensiones producidas por el endoscopio. El dolor debe ser reducido significativamente durante las colonoscopias y así aumentar la adherencia de los pacientes al tratamiento. Con el objetivo de eliminar o disminuir el dolor asociado a las colonoscopias, la sedación y la premedicación farmacológica se ha convertido en un procedimiento rutinario. El empleo de la sedación no está exento de riesgos ni de efectos secundarios, especialmente en ancianos y en pacientes afectados por patología cardiorrespiratoria; así pues, los métodos que pudieran conseguir analgesia durante la realización de las colonoscopias sin emplear la sedación farmacológica deberían ser explorados con el fin de valorar su pertinencia. Como se ha descrito en párrafos anteriores, en un estudio reciente en animales se ha comprobado que la aplicación de estimulación eléctrica tipo TENS disminuía significativamente la respuesta nociceptiva ante un estímulo de distensión colorrectal. Por ello, podría pensarse que la técnica TENS pudiera ser una

alternativa en humanos para disminuir el dolor visceral producido por las tracciones y distensiones que el endoscopio provoca durante la realización de una colonoscopia. Tras realizarse una búsqueda bibliográfica de la literatura relacionada con colonoscopias y estimulación eléctrica, se comprobó que la técnica TENS no había conseguido resultados analgésicos significativos, siendo por ello, como hemos visto, que actualmente la técnica TENS no está considerada como una modalidad alternativa a la farmacológica para reducir el dolor en colonoscopias. Una posible explicación a estos resultados negativos del uso de TENS en colonoscopias puede radicar en que en los estudios previos se han empleado parámetros de programación y colocaciones de electrodos no adecuados. Es por ello, que cabe pensar que una variación en la selección de los parámetros y colocación de la aplicación de TENS, basados en la más reciente evidencia científica, produciría resultados clínicos distintos a los hasta ahora obtenidos en colonoscopias.

Una posible propuesta de aplicación de TENS en colonoscopias basada en la actual evidencia científica sería la siguiente:

- Forma de impulso bifásica pulsada compensada simétrica, ya que de todas las posibles sería la más respaldada por la evidencia científica;
- Duración del impulso mayor a 250 μ s, ya que produce una mayor inhibición de la actividad neuronal del asta posterior medular;
- Frecuencia alta (mayor a 80 Hz), ya que numerosos estudios avalan su mayor efectividad respecto a la frecuencia baja. La frecuencia se programaría modulada (Ej. 80-100 Hz) para ayudar a minimizar el fenómeno de la acomodación que el sistema nervioso sufre ante impulsos monótonos;
- Utilización de electrodos adhesivos, ya que se evita el uso de gel o de esponja mojada, así como del esparadrapo o el velcro, garantizándose que no van a moverse durante la aplicación;

- Tamaño de los electrodos grande, ya que a mayor tamaño de los electrodos, mayor área en la que distribuirse la corriente y, por tanto, menor densidad, produciéndose menos molestias y unos efectos más uniformes;
- Electrodo situado sobre los dermatomas correspondientes a la zona de dolor, basándose la aplicación en una colocación paravertebral, ya que se relaciona con una mejor respuesta al tratamiento;
- La intensidad del estímulo eléctrico elevada al máximo, sin producir dolor, ya que el mayor efecto analgésico está asociado al uso de las intensidades elevadas, independientemente de la frecuencia empleada. La intensidad debería ser incrementada a lo largo de la aplicación para mantener el nivel de percepción del paciente;
- La estimulación se iniciaría al mismo tiempo que la prueba, no con un tiempo de antelación a su inicio, ya que parece haber un consenso respecto a que el tiempo de aparición de la analgesia durante una aplicación de TENS es corto.

Hipótesis y objetivos

II. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis evaluada en el presente estudio fue que la aplicación de TENS durante la realización de colonoscopias, con una forma de impulso bifásica pulsada compensada simétrica, de alta frecuencia modulada (80-100 Hz), de anchura de impulso grande (400 μ s), intensidad individualmente ajustada durante todo el procedimiento a un nivel sensitivo máximo sin superar el umbral de dolor y aplicada con electrodos grandes (rectangulares de 7cm x 13 cm) paravertebralmente a nivel lumbosacro, comparada con una aplicación placebo de TENS y comparada con un grupo control sin tratamiento complementario:

- Conseguiría una disminución clínicamente significativa del dolor durante todo el procedimiento.
- Produciría una instauración rápida del efecto analgésico de TENS que se mantendría a lo largo del procedimiento.
- Tendría un efecto específico sobre el dolor, no produciendo cambios respecto a la sensación de hinchazón producida por el aire perfundido por el colonoscopio durante la realización de la colonoscopia.
- No aumentaría el riesgo de complicaciones derivadas de la realización de la colonoscopia.
- No variaría la realización y desarrollo de la colonoscopia por el médico endoscopista.

El objetivo principal del presente estudio fue valorar el efecto de una aplicación concreta de TENS, acreditada por la actual evidencia científica, respecto a la valoración del dolor percibido durante la colonoscopia sin sedación farmacológica.

Los objetivos secundarios del presente estudio fueron investigar el efecto de una aplicación concreta de TENS durante la colonoscopia sin sedación farmacológica sobre:

- Tiempo de instauración y desarrollo del efecto analgésico del TENS durante el procedimiento.
- Valoración global de la sensación de hinchazón producida por el aire perfundido durante la realización de la colonoscopia.
- Aparición de efectos indeseados durante la realización de colonoscopias (nausea, taquicardia, sangrado).
- Desarrollo global de la colonoscopia (duración, grado de cumplimentación).
- Valoración del procedimiento por el médico endoscopista encargado de realizar la colonoscopia.

Material y métodos

III. MATERIAL Y MÉTODOS

III.1. SUJETOS

En el presente estudio se incluyeron 90 pacientes seleccionados consecutivamente de entre las personas citadas para someterse a una colonoscopia diagnóstica en el Hospital Virgen del Castillo de Yecla (Murcia) entre los meses de mayo de 2007 hasta junio de 2008. El protocolo de realización de colonoscopias en el citado hospital establece que todas se realicen en primer término sin sedación. La elegibilidad de todos los pacientes fue evaluada por medio de su historia médica, contándose con la previa autorización de su médico endoscopista. Los criterios de inclusión para participar en el estudio fueron:

- Tener programada una colonoscopia diagnóstica sin sedación.
- Presentar un grado de estatus físico ASA I (paciente normal y saludable) o ASA II (paciente con patología sistémica leve que no le produce limitaciones) de la *American Society of Anesthesiology* (Fanti et al. 2003).
- Ser mayor de 18 años (Fanti et al. 2003).
- No presentar ninguna deficiencia visual o auditiva.
- No presentar ningún desorden neuropsiquiátrico (Fanti et al. 2003).

Los criterios de exclusión de este estudio fueron:

- No firmar el documento de consentimiento informado.
- No hablar el español.
- Haber sufrido resecciones previas de colon y presencia o sospecha de estenosis en el colon (Fanti et al. 2003).

- Tener experiencia previa con la técnica TENS (De Angelis et al. 2003, Robinson et al. 2001).
- Presentar lesiones cutáneas en la zona de aplicación de los electrodos de TENS (Limoges y Rickabaugh 2004).
- Presentar marcapasos o desfibriladores automáticos implantados (Limoges y Rickabaugh 2004)
- Estar bajo tratamiento habitual, o previo al procedimiento, con opioides u otros fármacos psicoactivos (Hruby et al. 2006).

El estudio se llevó a cabo siguiendo los requerimientos éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de 1975. El estudio contó con la aprobación del Comité Ético del Hospital Virgen del Castillo de Yecla. Todos los pacientes estudiados fueron convenientemente informados sobre la naturaleza de su participación en el estudio y firmaron un documento de consentimiento informado.

III.2. DISEÑO

El estudio realizado fue un ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado y con grupo placebo. Tras ser incluidos en el estudio, los pacientes se fueron asignando a uno de los siguientes grupos: grupo TENS activo (n=30), grupo TENS placebo (n=30) o grupo control (n=30) mediante un procedimiento de aleatorización generado por ordenador. Para obtener una distribución equilibrada entre los grupos se realizó una aleatorización por bloques, con estratificación de género, cada 6 pacientes. Ni el equipo sanitario encargado de realizar las colonoscopias ni los propios pacientes supieron a qué grupo era asignado cada sujeto. En el diseño del estudio se incluyó la evaluación de un tratamiento placebo. Para que los sujetos del grupo placebo permaneciesen ciegos al desarrollo del estudio, se les informó que los tratamientos con TENS podían conseguir analgesia sin producir ninguna sensación y fueron conectados al equipo TENS exactamente de la

misma forma que los sujetos del grupo de TENS activo. Durante el desarrollo de la prueba el equipo emitió sonidos y tuvo el indicador luminoso encendido, pero no suministró a los sujetos ningún impulso eléctrico. En el caso del cegado del investigador, en el presente estudio dos fisioterapeutas fueron los encargados de los distintos cometidos: el investigador número 1 colocaba los electrodos sobre el paciente, programaba el equipo TENS y era el único que era conocedor de si el TENS era activo o placebo; el investigador número 2 era el responsable de la valoración del paciente, entrando en la sala donde se realizaba la colonoscopia únicamente para recoger las variables, no pudiendo discernir qué tipo de intervención estaban recibiendo los pacientes. Los pacientes eran instruidos para que no dijese nada al investigador número 2 respecto a cualquier sensación relacionada con el TENS, en caso de que las tuviesen, con el objetivo de evitar sesgos.

Los pacientes asignados al grupo control recibieron el protocolo estándar del hospital Virgen del Castillo de Yecla para colonoscopias sin sedación, llevándose a cabo la colonoscopia sin aplicar ningún tipo de sedación o analgesia.

El cálculo del tamaño muestral fue realizado por un investigador externo no implicado en el procedimiento, y de esa forma ciego a la intervención. El cálculo se basó en la media y la desviación estándar de la intensidad del dolor de los 20 primeros sujetos que participaron del estudio. Una disminución del dolor medido por la escala visual analógica (EVA) \geq 50% respecto a la del grupo control fue considerada como significativa. Para alcanzar un $\alpha = 0.05$, con un poder = 95%, se requirió un tamaño de 30 sujetos por grupo.

III.3. PROCEDIMIENTO

III.3.1. Instrumentos

Todas las colonoscopias se realizaron, usando un mismo colonoscopio de diámetro estándar marca Fujinon modelo EC-250HL5 (Fig. 6). Las características principales de este modelo de video-colonoscopio son: campo de visión 140°, profundidad de campo (rango) 5mm, diámetro externo distal 12,8mm, diámetro canal de trabajo 3,8mm, longitud de trabajo 1,690mm, sumergible para desinfección/esterilización con agentes químicos, definición 410000 píxeles.

Todas las colonoscopias fueron llevadas a cabo por un mismo médico endoscopista experimentado (entre 400 y 450 colonoscopias anuales).



Figura 6. Colonoscopio

El equipo de electroterapia con el que se aplicó el TENS utilizado en el presente estudio fue el Intellect Advance, Chattanooga Group, Hixson, EEUU (Fig. 7). Las características técnicas de este sistema de electroterapia de dos canales son: energía de entrada 100 - 240 V - 1.0 A, 50/60 Hz, energía de salida +24 V, 7,3 A, clase Eléctrica I, tipo eléctrico BF. El equipo cumplía con las normativas de fabricación y seguridad: UL/IEC/EN 60601-1, IEC/EN 60601-1-2, IEC 60601-2-5, IEC 60601-2-10. Respecto a los rangos de ajuste de parámetros, son los siguientes:

- Intensidad de salida, 0-80 mA.
- Duración de fase regulable 20-1.000 μ s.
- Frecuencia, 1-250 Hz.
- Modulación de frecuencia, 0-250 Hz



Figura 7. Equipo de electroterapia empleado

III.3.2. Aplicación de TENS

Los parámetros escogidos para aplicar a los sujetos del grupo TENS activo fueron: impulso continuo de forma de rectangular bifásica compensada simétrica, frecuencia modulada aleatoriamente entre 80 y 100 Hz y duración del impulso de 400 μ s. La aplicación de TENS se inició al mismo tiempo que la colonoscopia y se prolongó durante toda la duración de misma. Se aplicaron dos electrodos autoadhesivos rectangulares de 7cm x 13 cm. Los electrodos se colocaron paravertebralmente a la médula espinal lumbosacra (L1-S3), nivel correspondiente a las inervaciones pélvicas, lumbares, colónicas e hipogástricas correspondientes al colon (Limoges y Rickabaugh 2004, Gebhart 2000) (Fig. 8).



Figura 8. Colocación de los electrodos

Las intensidades (mA) de las estimulaciones de TENS fueron ajustadas individualmente a cada paciente según su nivel sensitivo máximo (máxima sensación de hormigueo sin producir dolor o contracción muscular) (Radhakrishnan y Sluka 2005, Ristic et al. 2008). Respecto a la

evolución del umbral sensitivo, previamente al inicio del tratamiento a los pacientes se les advertía de la aparición del fenómeno de la acomodación; siendo también informados de la importancia de mantener la sensación de estimulación en su nivel máximo, aunque no doloroso, durante toda la duración del procedimiento. De este modo, la intensidad fue aumentada cada vez que el paciente se acomodaba a los estímulos eléctricos durante el tratamiento.

III.4. REGISTROS Y VARIABLES DEL ESTUDIO

La variable principal del estudio fue la valoración global del dolor percibido por el paciente durante la colonoscopia. Para su medición se empleó la escala visual analógica (EVA) representada en una línea horizontal continua de 0–100 mm (Fig. 9). En ella el punto 0 representaba “No Dolor” y 100 “Peor Dolor Posible”. A los sujetos se les pedía que marcaran entre los dos extremos de la línea el punto que mejor reflejara el nivel de su sensación de dolor.

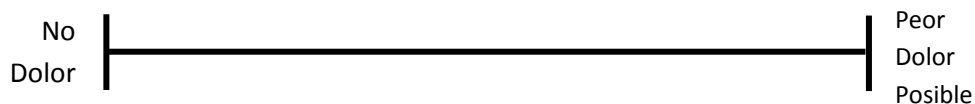


Figura 9. EVA de la sensación de dolor

Para la valorar la consistencia interna del registro del dolor en el estudio se empleó una segunda medida; en este caso, se trató de una escala verbal, discreta, de cinco puntos, tipo Likert (Bolognese et al. 2003) (Fig. 10). En esta escala, el sujeto debía elegir entre las siguientes cinco alternativas: No Dolor, Dolor Mínimo, Dolor Moderado, Dolor Severo y Peor Dolor Posible. La escala se presentaba a los pacientes en una hoja tamaño A4 con los descriptores impresos en letras grandes para facilitar su visión.

Los sujetos podían marcar ellos mismos su alternativa tras leer descripciones del dolor o podían pedir que el investigador número 2 las leyese en voz alta. A los sujetos se les pidió que marcasen o respondiesen cuál de los descriptores reflejaba con mayor exactitud su nivel de dolor. El uso de descriptores en cada nivel de respuesta en este tipo de escala verbal es preferible respecto a utilizar únicamente descriptores de referencia de los extremos, ya que esta última forma tiende a aumentar la variabilidad, al distribuir las respuestas hacia los extremos de la escala. Para el análisis de esta escala, a cada descriptor se le dio un valor numérico entre 0 y 4 respectivamente (Bolognese et al. 2003).



Figura 10. Escala verbal, discreta, de cinco puntos, tipo Likert

Las dos escalas empleadas para el registro del dolor fueron categorizadas con los mismos extremos “No Dolor” y “Peor Dolor Posible” con el objetivo de permitir al sujeto que centrarse su atención en valorar su percepción del dolor más que en comparar escalas con descriptores distintos (Kremer et al. 1981).

Para este estudio también se valoró la sensación de hinchazón abdominal que se produce durante una colonoscopia a causa del aire insuflado por el colonoscopio. Para ello se empleó otra escala visual analógica (EVA) en una línea horizontal y continua de 0–100 mm, en cuyos extremos representaban “No Hinchado” e “Hinchazón Máxima” (Limoges y Rickabaugh 2004, Xing et al. 2004) (Fig. 11).



Figura 11. EVA de la sensación de hinchazón

El investigador número 2 fue el encargado de realizar el registro de estas escalas, siendo ciego respecto al grupo al que pertenecía cada paciente. Con el objetivo de evitar sesgos por distracción de los pacientes, los registros se recogieron puntualmente sólo en dos momentos del procedimiento: a los cinco minutos de iniciada la colonoscopia y al final de la misma. En la valoración final de la colonoscopia, realizada mientras el equipo TENS continuaba en funcionamiento, a los pacientes se les pidió que marcaran su valoración global del procedimiento (Redelmeier et al. 2003).

Durante todas las colonoscopias realizadas para este estudio se registró cualquier situación inusual o complicación, tales como náusea, taquicardia, reacciones alérgicas o sensación de quemazón en la piel donde se situaban los electrodos. Estos datos fueron recogidos por el equipo médico endoscopista que realizaba la colonoscopia, al igual que la duración y el grado de cumplimentación del procedimiento. Por último el médico endoscopista encargado de realizar la colonoscopia también valoró el desarrollo general del procedimiento mediante una escala verbal, discreta, de cuatro puntos, tipo Likert. En esta escala se debía elegir entre las siguientes alternativas para valorar cómo le había resultado la realización de la colonoscopia: Muy Fácil, Fácil, Dificultosa y Muy Dificultosa.

El objetivo buscado sobre la variable principal del estudio fue el descenso $\geq 50\%$ en la escala visual analógica del dolor del grupo de TENS activo respecto a grupo control. Las variables secundarias fueron:

- La valoración de los sujetos respecto al dolor en la escala verbal de 5 puntos tipo Likert.
- La sensación de hinchazón medida mediante escala visual analógica.
- El efecto sobre el desarrollo del procedimiento medido por la duración total de la colonoscopia, el grado de cumplimentación de la misma y la valoración médica de su realización.

III.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico fue realizado de acuerdo a la intención de tratar. Las variables analizadas se clasifican del siguiente modo (Tabla V):

Tabla V. Variables del estudio

Variables dependientes	Variables independientes		
		Niveles	Naturaleza
Dolor medido por EVA	Grupo	3 (TENS activo, TENS placebo y control)	Entre-sujetos
Dolor medido por escala Likert de 5 puntos			
Hinchazón			
Duración del procedimiento	Sexo	2 (Hombres y mujeres)	Entre-sujetos
Porcentaje de colonoscopias no completadas	Tiempo	2 (5' y Final)	Intra-sujetos
Valoración del procedimiento por el médico			

Los datos procedentes de las variables de estudio fueron analizados individualmente en busca de posibles valores extremos o dispares, no encontrándose ninguno. El método estadístico empleado para calcular las diferencias intergrupo e intragrupo, así como las asociaciones entre las distintas variables fue, para las variables continuas, un modelo de dos

factores con medidas repetidas en un factor (modelo mixto o Split-plot). No obstante, en el caso de los valores obtenidos de la escala visual analógica la naturaleza y el método de análisis estadístico apropiado son asuntos sujetos a controversia. Una limitación de la misma puede ser que la escala asume que el dolor es una experiencia unidimensional y, así, no consigue representar adecuadamente todos los aspectos que influyen en la percepción del dolor. Por otro lado, en cuanto a los métodos estadísticos requeridos para su análisis, está ampliamente aceptado que la escala visual analógica, como otras escalas psicológicas, aporta más información que una simple escala ordinal, y que representa datos cuyo análisis es más apropiado que se realice con técnicas paramétricas (Akhtar-Danesh 2001). En el presente estudio, de acuerdo con autores previos (Akhtar-Danesh 2001, Myles et al. 1999), se realizó el análisis estadístico empleando técnicas paramétricas, tras haber alcanzado un tamaño muestral suficiente en cada grupo, así como haberse comprobado para cada variable dependiente el cumplimiento de los supuestos de normalidad de la muestra (prueba de Kolmogorov-Smirnov), homogeneidad de varianzas (prueba de Levene) e igualdad de las matrices de covarianzas (estadístico de Box).

Al cumplirse la homogeneidad de varianzas, la prueba post-hoc empleada fue el test de Tukey. Para evitar una inflación del error tipo I al realizarse varios análisis sobre una misma muestra se aplicó una corrección de Bonferroni. Para las variables categóricas (dolor medido mediante escala Likert de 5 puntos, porcentaje de colonoscopias no completadas y valoración del procedimiento por el médico) se empleó el test X^2 . Para valorar la consistencia de la relación entre la escala visual analógica del dolor y la escala categórica tipo Likert se empleó el coeficiente de correlación de Spearman. La significatividad para todos los casos se situó en $P < 0.05$. En un primer momento, se analizaron los datos buscando diferencias entre géneros, mediante un modelo de dos factores entre-sujetos (grupo, con 3 niveles y sexo, con dos niveles) al no encontrarse diferencias ($P > 0.05$) todos los datos fueron agrupados. Para llevar a cabo los cálculos estadísticos se utilizó el programa SPSS versión 15.0 para Windows (SPSS Inc, Chicago, IL, EEUU).

Resultados

IV. RESULTADOS

IV.1. SUJETOS DEL ESTUDIO

Un total de 93 pacientes aceptaron voluntariamente participar en el estudio. Tras la evaluación inicial, 3 sujetos fueron excluidos del estudio debido a:

- Experiencia previa con el uso de TENS (n = 1).
- Cicatrices postquirúrgicas en el lugar de colocación de los electrodos (n = 1).
- Incapacidad para entender el consentimiento informado por no entender el español (n = 1).

Finalmente 90 sujetos fueron aleatoriamente asignados a uno de los siguientes tres grupos: TENS activo, TENS placebo o control (Fig. 12).

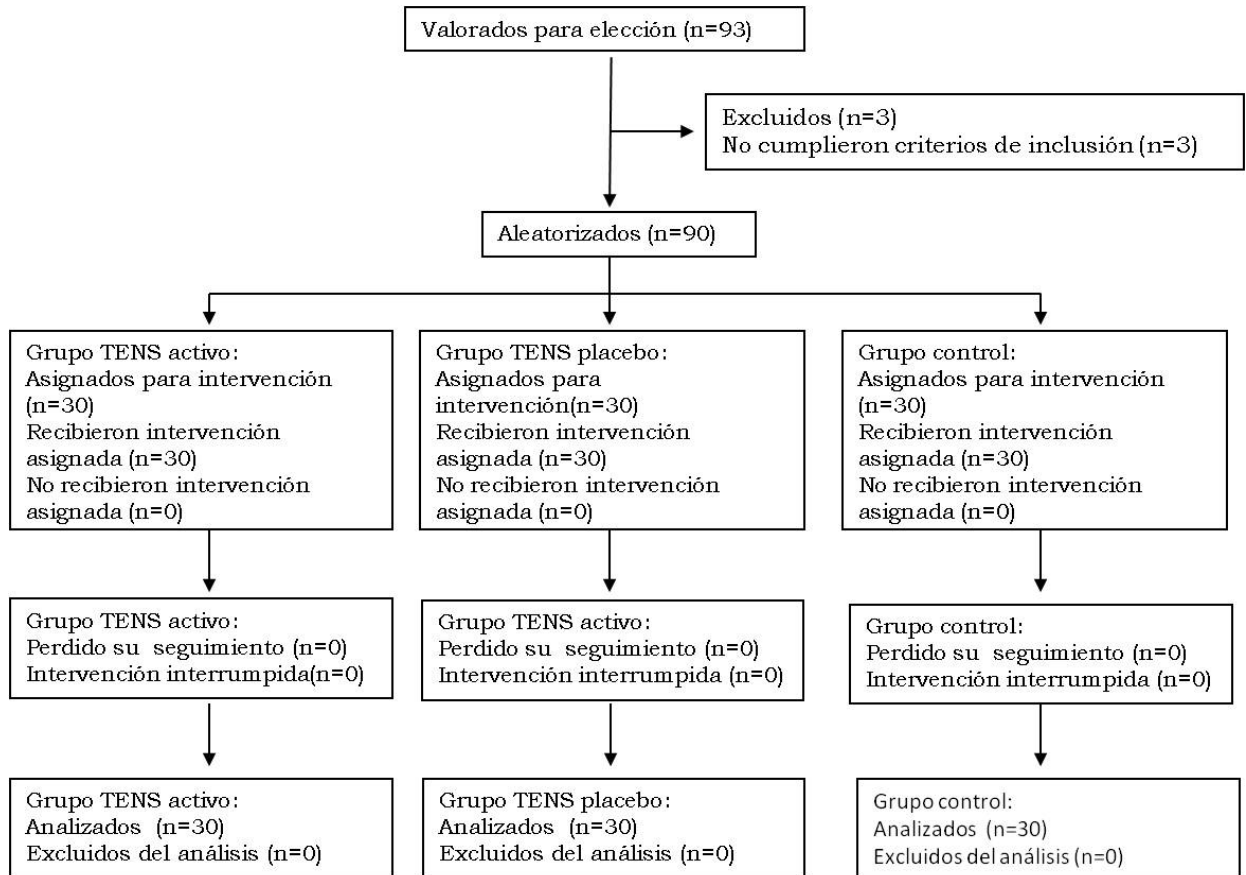


Figura 12. Diagrama de flujo de los sujetos del estudio

Tras el análisis de los datos recogidos durante el estudio no se encontraron diferencias significativas entre los tres grupos respecto a la edad, género, peso, índice de masa corporal y experiencia previa en colonoscopias (Tabla VI).

Tabla VI. Características de los sujetos

Variable	Grupo			P
	TENS activo (n=30)	Placebo TENS (n=30)	Control (n=30)	
Edad (años)	49.5 ± 2.4	51.3 ± 2.5	49.9 ± 2.4	0.86
Género (hombres/mujeres)	14/16	19/11	17/13	0.42
Peso (Kg)	75 ± 15	73 ± 17	67 ± 11	0.12
Altura (cm)	166 ± 9	162 ± 9	165 ± 6	0.11
Índice masa corporal (normal/sobrepeso)	10/20	13/17	16/14	0.32
Experiencia previa en colonoscopias (sí/no)	5/25	6/24	9/21	0.36

Valores presentados como media ± desviación estándar

IV.2. DOLOR

El resultado del análisis de la variable del dolor medido por EVA mediante el modelo de dos factores (grupo y tiempo) con medidas repetidas en un factor (tiempo) fue el siguiente: efectos principales factor tiempo ($F = 2.888$, $P = 0.093$), efectos principales interacción grupo-tiempo ($F = 1.147$, $P = 0.864$) y efectos principales factor grupo ($F = 16.075$, $P = 0.000$).

Analizados por grupos, los resultados de la escala visual analógica del dolor medida a los cinco minutos de iniciada la colonoscopia muestran que, mientras que la media de la intensidad no fue significativamente diferente entre el grupo de TENS placebo y el grupo control (media ± desviación estándar, 5 min, TENS placebo vs control: 57.3 [±27.9] vs 49.1 [±31.6], $P = 0.482$), la media de los sujetos del grupo TENS activo se situó un 50% por debajo de la de los grupos TENS placebo y control (5 min, 24.6 [±24.6], TENS activo vs TENS placebo $P < 0.001$, TENS activo vs control $P < 0.001$). En número absolutos, el número de sujetos que alcanzó el objetivo principal del estudio sobre la variable principal (>50% disminución del dolor) a los 5 minutos de iniciada la colonoscopia fue: TENS activo 19/30, TENS placebo 5/30, control 7/30 ($P < 0.001$).

En la medida tomada al finalizar la colonoscopia, el grupo TENS activo también presentó una reducción > 50% en la media del valor de la escala visual analógica del dolor comparado con los grupos TENS placebo y control (final, TENS activo: 26.5 [\pm 24.7], TENS placebo: 61.9 [\pm 23.2], control: 54.7 [\pm 30.1], TENS activo vs. TENS placebo $P < 0.001$, TENS activo vs control $P < 0.001$). Las diferencias de las medias de la escala visual analógica del dolor al final del procedimiento continuaron sin ser significativas entre los grupos TENS placebo y control (final, TENS placebo vs. control $P < 0.533$). El número de sujetos que alcanzó el objetivo primario de la variable principal (>50% disminución del dolor) al final del procedimiento fue: TENS activo 17/30, TENS placebo 3/30, control 6/30 ($P < 0.001$). La figura 13 muestra las diferencias en los resultados en los dos momentos de medición de la escala visual analógica del dolor.

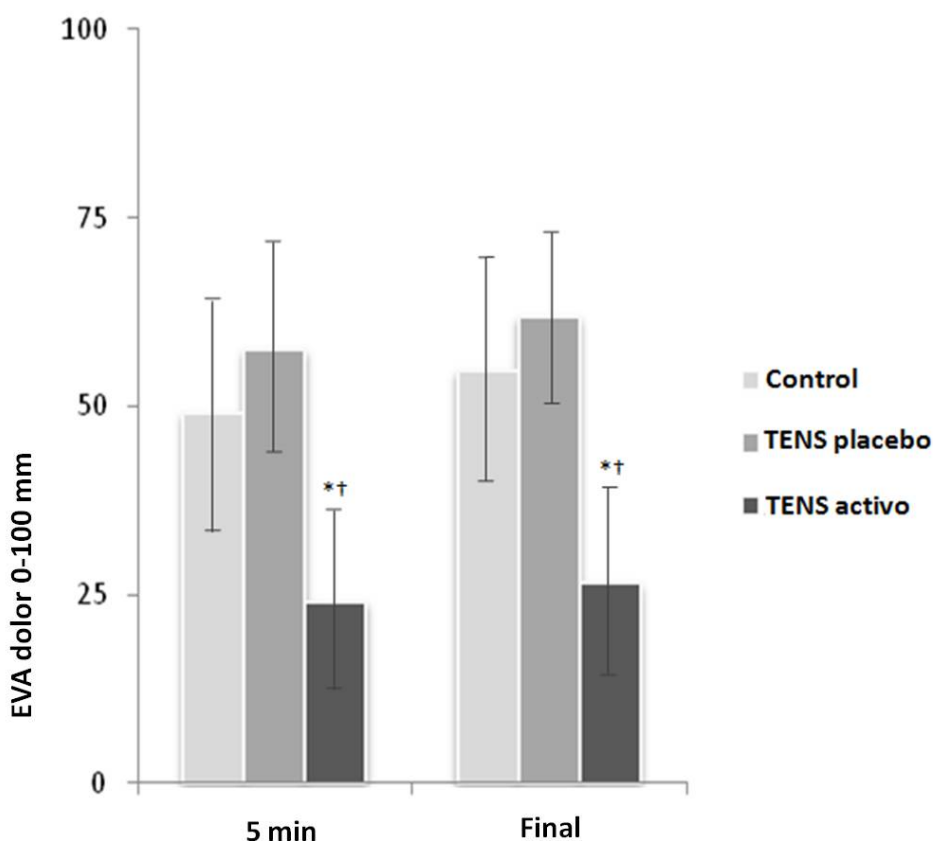


Figura 13. Las barras representan la media \pm desviación estándar de la EVA del dolor medida de los pacientes sometidos a colonoscopia sin sedación (gris claro), colonoscopia sin sedación con TENS placebo (gris oscuro) o con TENS activo (barra negra), al inicio del procedimiento (5 min) y al final. * $P < 0.001$: TENS activo vs. TENS placebo. † $P < 0.01$: TENS activo vs. control.

Respecto a los resultados del dolor medido mediante la escala Likert de 5 puntos, hubo también diferencias significativas entre el grupo TENS activo comparado con los grupos TENS placebo y control ($P = 0.009$). Los datos del dolor de la escala Likert de 5 puntos aparecen reflejados en la Tabla VII.

Tabla VII. Resultados de la escala Likert de 5 puntos del dolor

Valor ^a	Grupo TENS activo		Grupo TENS placebo		Grupo control	
	5 min	Final	5 min	Final	5 min	Final
0	4/30 (13%)	2/30 (7%)	2/30 (7%)	0/30 (0%)	2/30 (7%)	2/30 (7%)
1	12/30 (40%)	10/30 (33%)	3/30 (10%)	3/30 (10%)	3/30 (10%)	1/30 (3%)
2	11/30 (37%)	15/30 (50%)	9/30 (30%)	7/30 (23%)	12/30 (40%)	13/30 (43%)
3	3/30 (10%)	3/30 (10%)	15/30 (50%)	18/30 (60%)	13/30 (43%)	12/30 (40%)
4	0/30 (0%)	0/30 (0%)	1/30 (3%)	2/30 (7%)	0/30 (0%)	2/30 (7%)

^a Opciones de repuesta para la escala Likert, 0 = No Dolor, 1 = Dolor Mínimo, 2 = Dolor Moderado, 3 = Dolor Severo, 4 = Peor Dolor Posible

El número de pacientes que puntuaron en la escala Likert el dolor > 2 (Dolor Severo o Peor Dolor Posible) en el grupo TENS activo fue únicamente de 3, tanto a los 5 minutos de haberse iniciado como al final (3/30 [10%]), mientras que en los grupos TENS placebo y control este número fue significativamente más elevado ($P = 0.009$). Por otro lado, el número de pacientes que puntuaron el dolor < 2 (Dolor Mínimo, Dolor Moderado) fue significativamente más alto ($P = 0.009$) en el grupo TENS activo (5 min: 16/30 [53%], final: 12/30 [40%]) que los grupos TENS placebo y control (5 min: 5/30 [17%], final 3/30 [10%]; $p = 0.431$).

Finalmente, quedó constatada la fuerte correlación en cuanto a su medición del dolor entre la escala visual analógica y la escala Likert de 5 puntos. El coeficiente de correlación de Spearman para la escala visual analógica y la escala Likert fue de 0.803, $P < 0.001$, en la medición de los

cinco minutos y de 0.781, $P < 0.001$ en la medición tomada al final del procedimiento.

Respecto a la evolución del efecto de cada intervención sobre la escala visual analógica del dolor a lo largo de todo el procedimiento (Fig. 14), las diferencias intragrupos de las medias de las valoraciones no fueron significativamente diferentes desde el inicio al fin del procedimiento en los tres grupos ($P = 0.093$).

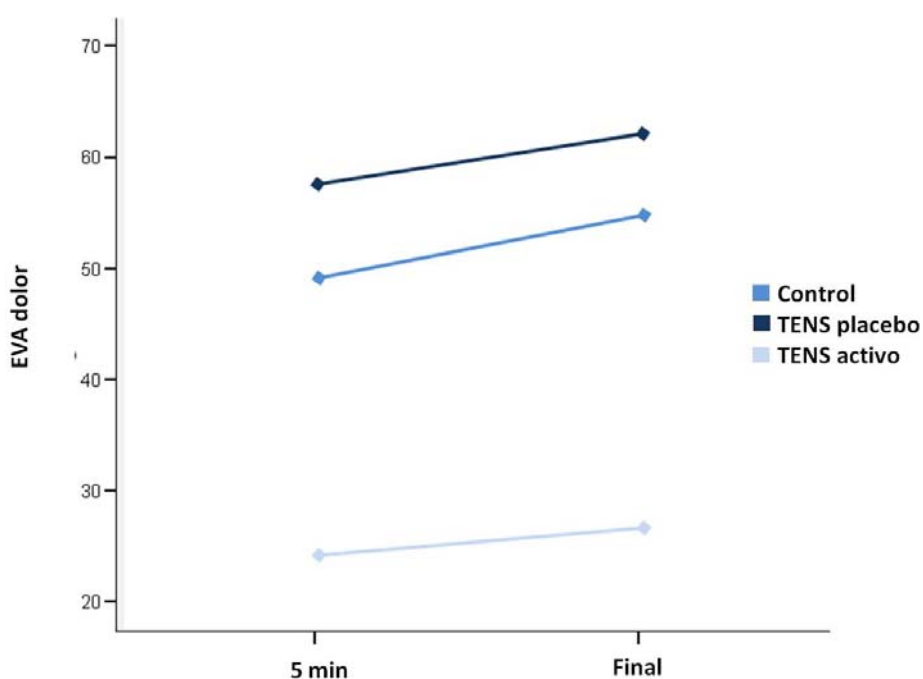


Figura 14. Evolución de la EVA intragrupos durante el procedimiento

IV.3. HINCHAZÓN

No se encontraron diferencias significativas entre los grupos de estudio en relación a la sensación de hinchazón producida por el colonoscopia (Tabla VIII). En las mediciones de los dos tiempos de valoración, los sujetos incluidos en el grupo TENS activo reflejaron una

puntuación más baja, aunque no significativa, en la escala visual analógica de la hinchazón respecto a los grupos placebo TENS y control.

Tabla VIII. Resultados de la EVA hinchazón 0-100 mm.

Variable	Grupo			P
	TENS	TENS placebo	Control	
EVA hinchazón a los 5 minutos del inicio	34.00 ±23.40	51.33 ± 25.37	35.97 ± 27.38	0.056
EVA hinchazón al final del procedimiento	42.40 ± 27.15	55.17 ± 23.51	49.70 ± 29.15	0.159

Valores presentados como media ± desviación estándar. P valor correspondiente a las diferencias intergrupos.

IV.4. DESARROLLO DE LA COLONOSCOPIA

Ninguno de los pacientes incluidos en el presente estudio sufrió complicaciones derivadas de la realización de la colonoscopia (nausea, taquicardia, sangrado).

Ninguno de los pacientes incluidos en los grupos TENS activo y TENS placebo refirieron ninguna circunstancia adversa, tales como alergia cutánea o quemazón en la zona de aplicación de los electrodos.

En el grupo TENS activo la media de la intensidad de la estimulación eléctrica a los 5 minutos de iniciada la colonoscopia era de 18 mA (rango 10-39), mientras que al final de la colonoscopia la intensidad media aumentó a 60 mA (rango 30-80).

La aplicación de la técnica TENS durante la colonoscopia no supuso un cambio significativo de la duración del procedimiento (duración total en minutos ± desviación estándar, TENS activo: 17 [±6], TENS placebo: 17 [±8], control: 20 [±8], P = 0.354). La aplicación de TENS tampoco supuso un cambio en la tasa de cumplimentación del procedimiento, entendido como el completar la exploración alcanzando el ciego. El porcentaje de

colonoscopias que no pudieron completarse respecto al total de las realizadas no fue significativamente distinto entre los tres grupos (TENS activo [10.6%], TENS placebo [16.5%], y control [10.9%]; (P = 0.431).

Por último (Tabla IX), no hubo diferencias significativas entre los grupos respecto a la valoración del desarrollo general del procedimiento medido por el médico endoscopista encargado de realizar la colonoscopia (P = 0.348).

Tabla IX. Escala Likert de 4 puntos sobre el desarrollo general del procedimiento

Valor ^a	Grupo TENS activo	Grupo TENS placebo	Grupo control
0	5/30 (20%)	2/30 (7%)	1/30 (3%)
1	12/30 (40%)	14/30 (46%)	13/30 (43%)
2	12/30 (40%)	12/30 (40%)	11/30 (37%)
3	1/30 (3%)	2/30 (7%)	5/30 (20%)

^a Opciones de repuesta para la escala Likert, 0 = Muy Fácil, 1 = Fácil, 2 = Dificultosa, 3 = Muy Dificultosa

Discusión

V. DISCUSIÓN

El propósito del presente estudio fue el investigar el efecto analgésico de la aplicación de TENS durante la realización de colonoscopias sin sedación. La técnica TENS aplicada consistió en una programación de alta frecuencia modulada (80-100 Hz), 400 μ s de duración de impulso, e intensidad ajustada individualmente al máximo sin producir dolor; los electrodos fueron colocados paravertebralmente a nivel lumbosacro. Los resultados del estudio demuestran una reducción significativa en el dolor referido durante la colonoscopia sin sedación en el grupo de TENS activo, al ser comparado con el grupo control y grupo TENS placebo.

En un esfuerzo por reducir la morbilidad y mortalidad de la población en riesgo de sufrir cáncer colorrectal se deben realizar las oportunas revisiones periódicas (Levin et al. 2006a). La colonoscopia es el procedimiento diagnóstico asociado al mayor beneficio clínico y respaldado por la mayor evidencia científica para el cribado del cáncer colorrectal (Winawer et al. 2003). El control del dolor en las colonoscopias es un tema muy relevante, ya que se trata de un procedimiento altamente invasivo. Las tracciones y distensiones, incluso los espasmos musculares reflejos producidos por el colonoscopio, estimulan a los neuroreceptores situados en el colon originando el dolor visceral (Bielefeldt y Gebhart 2005). Una consecuencia directa del dolor es que los pacientes cuando perciben una prueba como más desagradable es menos probable que acudan a su realización (Salmon et al. 1994). Así, si los recuerdos que tienen los pacientes sobre un procedimiento médico doloroso influyen en su futura decisión respecto a realizarse una prueba (Erskine et al. 1990), se comprende la necesidad de un manejo efectivo del dolor en un procedimiento de la importancia preventiva de la colonoscopia. Si el dolor puede ser reducido significativamente durante la colonoscopia puede derivarse una mejora en la predisposición de los pacientes a repetir la prueba en futuras revisiones o bien cuando surja algún nuevo problema de

salud (Redelmeier et al. 2003, Frazier et al. 2000). Es por este motivo que la sedación farmacológica se ha convertido en un procedimiento rutinario en las colonoscopias en la mayoría de centros médicos de los países más avanzados. En un estudio observacional sobre 21 centros de 11 países distintos, Harris constató que en 19 centros (>85%) la mayor parte de los pacientes recibían distintas combinaciones de sedantes de forma previa a la realización de la colonoscopia (Harris et al. 2007). Sin embargo, el uso de la sedación no está exento de efectos secundarios, especialmente en pacientes ancianos o con problemas cardiorrespiratorios; el coste económico y el tiempo de recuperación del paciente también se ven aumentados por el uso de la sedación farmacológica (Gasparovic et al. 2003, Takahashi et al. 2005b, Leung et al. 2007). Aunque algunos autores han sugerido que la colonoscopia sin sedación o anestesia podría ser satisfactoria (Takahashi et al. 2005b, Leung et al. 2008, Tsai et al. 2008), la anatomía particular, el umbral de dolor y la sensibilidad del colon de cada paciente pueden producir molestias insoportables en muchos pacientes (Gasparovic et al. 2003, Fanti et al. 2003). Por este motivo, se necesitan investigar métodos para optimizar la realización de colonoscopias sin emplear sedación farmacológica estándar (Leung 2009). En este sentido, se han realizado estudios sobre diferentes opciones para minimizar el dolor durante las colonoscopias, tales como hipnosis (Cadranel et al. 1994, Elkins et al. 2006), empleo de colonoscopios de diámetro pequeño (Horiuchi y Nakayama 2006), distraer la atención del paciente escuchando audios (Leung 2008), insuflar dióxido de carbono para facilitar el avance de la sonda (Yau et al. 2007) o insuflar agua caliente intermitentemente (Leung et al. 2009). Todos los estudios que emplearon estas opciones presentaron resultados inconsistentes. La técnica TENS también se estudió en un pasado como método analgésico durante las colonoscopias, pero presentando resultados negativos (Fanti et al. 2003, Robinson et al. 2001); consecuentemente, el uso de TENS no ha estado considerado hasta el momento como una alternativa para disminuir el dolor en las colonoscopias (Leung 2008).

Hasta el momento, el presente estudio ha sido el primero en demostrar la efectividad del uso de TENS a la hora de reducir el dolor

durante las colonoscopias. En un estudio anterior en colonoscopias con sedación farmacológica estándar, Robinson empleó TENS aplicado a 80 Hz, con una duración de impulso de 80 μ s, una intensidad suave y fija durante todo el procedimiento y los electrodos situados sobre la pared abdominal anterior (lugar de mayor dolor en colonoscopias) y sobre un punto de acupuntura paralelo a L4 (Robinson et al. 2001). En este estudio no se encontraron diferencias significativas en el nivel de dolor entre los grupos TENS activo, TENS placebo y control. De forma similar, en otro estudio, Fanti no encontró diferencias estadísticamente significativas al aplicar TENS de 100 Hz sobre diferentes puntos de acupuntura a la intensidad máxima soportable (Fanti et al. 2003).

Para el diseño del presente estudio se tuvo presente la necesidad de incluir la evaluación de un tratamiento placebo ya que esto es esencial para discernir la eficacia real de los tratamientos con TENS. Esto es debido a que en algunos estudios la modalidad de TENS placebo ha alcanzado resultados muy similares a los de la modalidad de TENS activo (Oosterhof et al. 2008, Razavi y Jansen 2004). Para que los sujetos del grupo placebo permaneciesen ciegos al desarrollo del estudio se les aplicó la misma estrategia de cegado que en estudios previos (Limoges y Rickabaugh 2004, DeSantana et al. 2008), informándoles de que los tratamientos con TENS podían conseguir analgesia sin producir ninguna sensación y conectándolos al equipo TENS exactamente de la misma forma que a los sujetos del grupo de TENS activo. Durante el desarrollo de la prueba, aunque el equipo no suministraba ningún impulso eléctrico, sí emitía sonidos y permanecía con el indicador luminoso encendido. En el caso del cegado del investigador, en los estudios sobre TENS se ha descrito que se puede conseguir separando a los investigadores que suministran el tratamiento de aquellos que recogen las variables (Rakel et al. en prensa). Así, en el presente estudio dos fisioterapeutas fueron los encargados de los distintos cometidos: el investigador número 1 realizaba la intervención pero no recogía las variables, mientras que el investigador número 2 era el responsable de la valoración del paciente, entrando en la sala donde se realizaba la colonoscopia únicamente para recoger las variables, no pudiendo discernir

qué tipo de intervención estaban recibiendo los pacientes. Los pacientes eran instruidos para que no dijese nada al investigador número 2 respecto a cualquier sensación relacionada con la aplicación de TENS, en caso de que las tuviesen, con el objetivo de evitar sesgos. La efectividad de la estrategia de cegado en el presente estudio no es conocida, no obstante no se detectó durante todo el procedimiento ningún indicio que sugiriese la presencia de sesgo por parte de los pacientes o del investigador que recogía los datos de las variables.

En este estudio, a diferencia de los estudios anteriores sobre el tema de Fanti y Robinson, la aplicación de TENS produjo una reducción $\geq 50\%$ del dolor medido por la escala visual analógica respecto a los grupos control y placebo. Respecto al cálculo del tamaño muestral, en ninguno de estos dos estudios previos los autores refieren el cálculo del tamaño muestral, siendo el total de cada muestra de 30 y 33 pacientes, respectivamente. Esto podría explicar la falta de resultados estadísticamente significativos. En el presente estudio se incluyeron 90 pacientes, proporcionando un poder estadístico del 95%. Sin embargo, sugerimos que la diferencia entre los resultados presentados en el presente estudio respecto a los publicados anteriormente podría estar relacionada básicamente con el empleo de una metodología de aplicación de TENS diferente.

Tal y como afirman los estudios más recientes, la eficacia de una aplicación de TENS viene determinada por una correcta selección de los siguientes parámetros: colocación de los electrodos, forma de impulso, duración de impulso, frecuencia e intensidad. La colocación de los electrodos determina la efectividad de la respuesta inmediata al dolor incluso al usar un mismo impulso eléctrico (White et al. 2001). La mayor disminución del dolor se produce cuando los electrodos se sitúan en el dermatoma correspondiente al de los nervios responsables de llevar la información nociceptiva al asta posterior de la médula espinal (Sluka y Walsh 2003, White et al. 2001, Somers y Somers 1999). En este estudio se emplearon dos electrodos rectangulares (7cm x 13 cm) situados paravertebralmente a la médula espinal lumbosacra a nivel L1-S3 con la finalidad de estimular las terminaciones nerviosas del dermatoma

correspondiente al colon. Esta colocación difiere de la empleada en los estudios anteriores sobre el tema, que en dos casos fueron sobre unos puntos en miembros inferiores y superiores considerados como de acupuntura (Fanti et al. 2003, Robinson et al. 2001) y en uno directamente sobre la zona donde el paciente siente el dolor durante la colonoscopia (Robinson et al. 2001).

La forma del impulso eléctrico empleada fue rectangular bifásica simétrica compensada. Los modelos comerciales más habituales de TENS emplean formas de impulso bifásicas que pueden ser simétricas o asimétricas (Bélanger 2003). Aunque la forma del impulso no es una característica que influya sobre la eficacia como analgésico de la modalidad de TENS de alta frecuencia, la forma bifásica simétrica compensada tiene una carga eléctrica neta cero, lo cual previene las reacciones químicas en los tejidos situados bajo los electrodos, evitando así posibles molestias y riesgos (Hingne y Sluka 2007). Otra característica importante de la estimulación eléctrica TENS es la duración del impulso. En la mayor parte de los equipos TENS la duración del impulso varía entre 50 y 400 μ s (Bélanger 2003). Se requieren anchuras de impulso mayores a 100 μ s para la liberación de serotonina en aplicaciones con frecuencia mayores a 10 Hz (Sluka et al. 2006). En nuestro estudio se escogió la mayor duración posible, 400 μ s, ya que se ha comprobado que tal y como aumenta la duración del impulso, aumenta la inhibición de la actividad neuronal en el asta posterior de la médula espinal (Walsh et al. 1995, Sluka y Walsh 2003). En cuanto a la frecuencia, como ya se ha comentado anteriormente, en la práctica clínica se divide en dos grupos denominados como alta frecuencia (> 50 Hz) y baja frecuencia (<10 Hz). Numerosos estudios apuntan una mayor efectividad de la modalidad de TENS de alta frecuencia respecto al de baja frecuencia (Garrison y Foreman 1994, Walsh et al. 1995, Gopalkrishnan y Sluka 2000, Tong et al. 2007). La modalidad de TENS de alta frecuencia produce analgesia por mediación de mecanismos fisiológicos periféricos, espinales y centrales. En primer lugar, la modalidad de TENS de alta frecuencia activa los receptores opiáceos δ en la médula espinal (Kalra et al. 2001), sistema serotoninérgico (Motta et al. 2002), noradrenérgico,

muscarínico, y por mediación del ácido gamma-aminobutírico (GABA) (DeSantana et al. 2008). Es por ello que la técnica TENS se usa como terapia coadyuvante de los fármacos analgésicos, disminuyendo su requerimiento (Johnson y Martinson 2007, Nayak et al. 2008, Sluka y Chandran 2002, Emmiler et al. 2008). En este estudio se aplicó TENS de alta frecuencia modulada aleatoriamente entre 80-100 Hz, basándonos en estudios que sugieren que estimulando con frecuencias moduladas aleatorias se alcanza un mayor nivel de analgesia comparado con las aplicaciones habituales a frecuencia fija (Rakel y Frantz 2003, Bloodworth et al.). En relación a la intensidad de aplicación de la modalidad de TENS de alta frecuencia, a mayor intensidad de la estimulación, mayor analgesia se ha observado (Chesterton et al. 2002, Chesterton et al. 2003, Claydon et al. 2008, Barlas et al. 2006). Los niveles de intensidad situados simplemente por encima del umbral sensitivo se han demostrado insuficientes para conseguir efectos analgésicos en la aplicación de TENS (Bjordal et al. 2003, Aarskog et al. 2007). Es necesario aplicar un nivel de intensidad elevado para estimular las fibras aferentes primarias situadas en los tejidos profundos, para que la técnica TENS pueda producir su efecto hipotalgésico (Radhakrishnan y Sluka 2005, Ristic et al. 2008). Por otro lado, suministrar un mismo nivel de intensidad no puede tener el mismo efecto sensitivo en todos los sujetos (Claydon et al. 2008). Si mantenemos fija la intensidad durante una misma sesión el sistema nervioso sufrirá acomodación al estímulo y se necesitaría una mayor intensidad para mantener la misma respuesta. En nuestro estudio los pacientes fueron instruidos acerca de la importancia de mantener la intensidad del estímulo en su nivel máximo, aunque no doloroso, y a su vez aleccionados a que avisasen de cada descenso en la percepción del estímulo. De este modo, la intensidad se ajustó individualmente durante el tratamiento cada vez que el paciente refería un descenso de su percepción de la estimulación. Prueba de este ajuste es que la media de la intensidad aplicada en el grupo TENS activo aumentó de 18 mA (rango 10-39) al inicio de la aplicación a 60 mA (rango 30-80) al finalizar la misma. Aunque este método de determinar la intensidad de aplicación de TENS produce diferencias entre los sujetos respecto a la cantidad de estímulo eléctrico recibido, el mismo ha sido el

empleado en estudios previos sobre TENS, siendo también el método habitual en la práctica clínica (Bjordal et al. 2003, Claydon et al. 2008, Tong et al. 2007, Radhakrishnan y Sluka 2005, Ristic et al. 2008). Otra posible limitación de este tipo de estudios sobre TENS podría ser que, al contrario que los sujetos de los grupos placebo y control, los sujetos del grupo TENS activo pudieran haber visto modificada su percepción del dolor por el potencial efecto de distracción del hecho de tener que estar, durante todo el procedimiento, adaptando continuamente la intensidad de la estimulación. En el caso de que existiese, este potencial efecto de distracción no ha sido referido en ninguna publicación anterior sobre el tema. El ajuste de la intensidad al nivel máximo, no doloroso, individualmente y el empleo de frecuencias variables son los factores determinantes a la hora de determinar la efectividad de la aplicación de TENS y disminuir la acomodación (Tong et al. 2007).

En estudios previos sobre colonoscopias, empleando parámetros diferentes, la aplicación se iniciaba 5 minutos (Robinson et al. 2001) y 20 minutos (Fanti et al. 2003) antes de iniciarse la colonoscopia, sin que estos estudios obtuvieran resultados significativos. La evidencia publicada indica que con una adecuada selección de los parámetros la técnica TENS consigue su efecto analgésico incluso desde el primer minuto de aplicación (Dean et al. 2006, Johnson y Tabasam 2002). En el presente estudio, aplicando los parámetros referidos anteriormente, la aplicación de TENS demostró un efecto analgésico de rápida instauración durante las colonoscopias. Los resultados de la escala visual analógica del dolor medida a los 5 minutos de iniciado el procedimiento se obtuvieron con la finalidad de valorar la instauración del efecto de la aplicación de TENS en los primeros momentos de la colonoscopia, ya que en el presente estudio, al contrario que en los estudios previos con TENS (Fanti et al. 2003, Robinson et al. 2001), no se aplicó la estimulación TENS previamente al inicio de la colonoscopia. Los resultados demuestran ya a los 5 minutos un descenso significativo en la intensidad del dolor, que sugiere que no se necesita de un periodo de estimulación previo al inicio de la colonoscopia para obtener

analgesia desde los primeros momentos de la misma. Además, el efecto analgésico se mantuvo durante todo el procedimiento.

Los resultados de este estudio también demuestran un efecto selectivo de la aplicación de TENS respecto al dolor. De este modo, cuando los pacientes valoraron la sensación de hinchazón que les producía el procedimiento no hubo diferencias significativas entre los tres grupos. En este sentido, nuestros resultados concuerdan con estudios previos que determinan que los efectos en TENS no se deben a un mero efecto de distracción. Marchand demostró que la aplicación de TENS aumentaba el umbral de dolor, pero no tenía ningún efecto sobre estímulos no dolorosos (Marchand et al. 1991). En esta línea, en el presente estudio TENS no produjo efecto significativo sobre la sensación de hinchazón y, sin embargo, produjo una reducción $\geq 50\%$ del dolor medido por la escala visual analógica en el grupo TENS activo respecto a los grupos TENS placebo y control.

En el presente estudio ninguno de los participantes refirió dolor o sensación de quemazón debajo de la zona de los electrodos. La aplicación de TENS durante las colonoscopias no supuso un aumento de la duración de todo el procedimiento y no influyó en el desarrollo del procedimiento por el médico endoscopista, medido éste por la tasa de cumplimentación y la valoración de la prueba. De este modo, TENS se ha comportado como una técnica de fácil y cómoda aplicación en colonoscopias, no interferente con el procedimiento, segura, agradable para el paciente y sin efectos secundarios. Este comportamiento positivo de la estimulación TENS durante su aplicación clínica se ha constatado en otras muchas aplicaciones distintas (Bennett et al. en prensa, Lazarou et al. 2009, Kroeling et al. 2009, Atalay y Yilmaz 2009, Bakhtiary et al. 2009), explicándose por ello, el hecho de que la técnica TENS sea la forma de electroterapia analgésica más empleada (Johnson y Tabasam 1999).

En este estudio la variable principal empleada fue la escala visual analógica representada en una línea horizontal y continua (0–100 mm). Para la valorar la consistencia interna del registro del dolor en el estudio se

empleó una segunda medida; en este caso, se trató de una escala verbal, discreta, de cinco puntos, tipo Likert (Bolognese et al. 2003). La escala visual analógica y las escalas tipo Likert han sido ampliamente utilizadas para evaluar la intensidad del dolor, y en muchos estudios han demostrado que ambas son escalas válidas y repetibles (Briggs y Closs 1999, Price et al. 1994). Las respuestas que ambas obtienen están muy correlacionadas, y ambas son escalas que poseen una precisión similar a la hora de comparar tratamientos activos con placebos (Bolognese et al. 2003). En el presente estudio ambas escalas apuntan hacia los mismos resultados significativos respecto al dolor, constatándose una fuerte correlación entre ellas.

Este estudio constata el hecho de que una adecuada selección de parámetros de aplicación hace de TENS un procedimiento terapéutico eficaz y seguro. En este ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado y con grupo placebo aplicando TENS de alta frecuencia, modulada aleatoriamente entre 80-100 Hz, duración de impulso de 400 μ s, intensidad individualmente ajustada al nivel máximo, no doloroso, y electrodos situados paravertebralmente a la médula lumbosacra, ha demostrado una disminución significativa del dolor, comparado con una aplicación de TENS placebo y con un grupo control, en colonoscopias realizadas sin sedación. La aplicación de TENS puede ser una opción válida y segura de analgesia en colonoscopias sin sedación para todo tipo de pacientes, pero especialmente en ancianos o pacientes con problemas cardiorrespiratorios, en los que la sedación farmacológica puede ser peligrosa o estar contraindicada. Este estudio demuestra que la técnica TENS puede ser usada como método analgésico en colonoscopias diagnósticas sin sedación. Son necesarios futuros estudios con tamaños muestrales adecuados y una selección actualizada de los parámetros de aplicación para clarificar si, tal y como ha sido demostrado en colonoscopias, TENS produce mejores resultados en otros procedimientos, donde la aplicación de parámetros erróneos produjo que los estudios no tuviesen resultados significativos.

Conclusiones

VI. CONCLUSIONES

1. La aplicación de la técnica TENS en colonoscopias sin sedación produce una disminución estadísticamente y clínicamente significativa del dolor producido durante toda la duración del procedimiento.
2. La aplicación de la técnica TENS en colonoscopias sin sedación produce una instauración rápida de su efecto analgésico que se mantiene a lo largo de toda la duración del procedimiento.
3. La aplicación de la técnica TENS en colonoscopias sin sedación no produce cambios estadísticamente significativos respecto a la sensación de hinchazón producida por el aire perfundido por el colonoscopio durante la realización de la colonoscopia.
4. La aplicación de la técnica TENS en colonoscopias sin sedación no produce cambios estadísticamente significativos respecto a las condiciones de realización y desarrollo del procedimiento, así como respecto al riesgo de complicaciones derivadas de la realización de la colonoscopia.

Agradecimientos

VII. AGRADECIMIENTOS

A mis hijos, Joan y Marc, y a mi mujer, Mari, por su paciencia, por su comprensión y por su amor incondicional. Ellos han sido los que más directamente han sufrido las consecuencias de este trabajo de investigación. Gracias el tiempo que me habéis dado para realizarme profesionalmente.

A mis padres, M^a Eva y Juan, y a mi hermana Eva. De ellos provienen mis valores, y mi forma de afrontar la vida. Con su ejemplo me han enseñado, siempre con alegría y amor, a encarar las adversidades y a no olvidar el valor de la dignidad humana.

A mis directores, los doctores D. Juan Fco. Lisón y D. Carlos Goicoechea, su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas han sido un aporte incalculable, no solamente en el desarrollo de esta tesis, sino también en mi formación como investigador.

A Alfonso Girona y Gregorio Martínez, de la Unidad de Fisioterapia, y a Rosa Palao y Jaime Andreu, de la Unidad de Medicina Interna, del Hospital Virgen del Castillo de Yecla, Murcia, por su confianza a la hora de embarcarse en este proyecto, y también por su inmenso entusiasmo y profesionalidad a la hora de desarrollarlo. Sin ellos nunca hubiese sido posible esta investigación.

A mis compañeros del Departamento de Fisioterapia CEU-UCH. Ellos son, tanto en la vertiente profesional como en la personal, un grupo

excepcional y un referente para mí. Es una suerte formar parte de este equipo.

Finalmente, quiero dar público tributo de gratitud a José Cuenca Sarrió (*in memoriam*), Josep Sanz Argent, Pedro Rosado Calatayud, Tina Girbés Llopis y Sebastián Vilalta Bertrán (*in memoriam*). Ellos, aún sin pretenderlo, me han mostrado metas a las que se debe aspirar en la vida: dignidad, coherencia, lealtad, cercanía y bondad. Para mí son espejos en los que mirarme y ejemplos de los que aprender. Gracias a la vida por haberme dado la oportunidad de tenerlos como maestros.

A todos ellos,

muchas gracias de todo corazón.

Referencias bibliográficas

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarskog, R., Johnson, M.I., Demmink, J.H., Lofthus, A., Iversen, V., *et al* 2007, "Is mechanical pain threshold after transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increased locally and unilaterally? A randomized placebo-controlled trial in healthy subjects", *Physiotherapy Research International*, vol. 12, no. 4, pp. 251-263.
- Abelson, K., Langley, G.B., Sheppard, H., Vlieg, M. y Wigley, R.D. 1983, "Transcutaneous electrical nerve stimulation in rheumatoid arthritis", *The New Zealand Medical Journal*, vol. 96, no. 727, pp. 156-158.
- Ainsworth, L., Budelier, K., Clinesmith, M., Fiedler, A., Landstrom, R., *et al* 2006, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) reduces chronic hyperalgesia induced by muscle inflammation", *Pain*, vol. 120, no. 1-2, pp. 182-187.
- Akhtar-Danesh, N. 2001, "A review of statistical methods for analysing pain measurements", *European Journal of Pain*, vol. 5, no. 4, pp. 457-463.
- Alves-Guerreiro J, Noble JG, Lowe AS y Walsh DM 2001, "The effect of three electrotherapeutic modalities upon peripheral nerve conduction and mechanical pain threshold", *Clinical Physiology*, vol. 21, no. 6, pp. 704-711.
- Anderson, S.I., Whatling, P., Hudlicka, O., Gosling, P., Simms, M. *et al* 2004, "Chronic transcutaneous electrical stimulation of calf muscles improves functional capacity without inducing systemic inflammation in claudicants", *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, vol. 27, no. 2, pp. 201-209.
- Appenzeller, O. y Atkinson, R. 1975, "Transcutaneous nerve stimulation for the treatment of migraine and other head pain", *Munchener Medizinische Wochenschrift*, vol. 117, no. 49, pp. 1953-1954.

- Atalay, C. y Yilmaz, K.B. 2009, "The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on postmastectomy skin flap necrosis", *Breast Cancer Research and Treatment*, vol. 117, no. 3, pp. 611-614.
- Augustinsson, L.E., Bohlin, P., Bundsen, P., Carlsson, C.A., Forssman, L., *et al* 1977, "Pain relief during delivery by transcutaneous electrical nerve stimulation", *Pain*, vol. 4, no. 1, pp. 59-65.
- Aydin, G., Tomruk, S., Keles, I., Demir, S.O. y Orkun, S. 2005, "Transcutaneous electrical nerve stimulation versus baclofen in spasticity: clinical and electrophysiologic comparison", *American Journal of Physical Medicine y Rehabilitation*, vol. 84, no. 8, pp. 584-592.
- Bajd T, Munih M, Savrin R, Benko H y Cikajlo I 2002, "Dermatome electrical stimulation as a therapeutic ambulatory aid for incomplete spinal cord injured patients", *Artificial Organs*, vol. 26, no. 3, pp. 260-262.
- Bakhtiary, A.H., Asgari, M.R. y Ebrahimian, A.A. 2009, "885 transcutaneous electrical nerve stimulations may reduce acute pain during intravenous catheterization", *European Journal of Pain*, vol. 13, no. Supplement 1, pp. S251-S252.
- Barlas, P., Ting, S.L., Chesterton, L.S., Jones, P.W. y Sim, J. 2006, "Effects of intensity of electroacupuncture upon experimental pain in healthy human volunteers: a randomized, double-blind, placebo-controlled study", *Pain*, vol. 122, no. 1-2, pp. 81-89.
- Baudet, J., Borque, P., Borja, E., Alarcón-Fernández, O., Sánchez-del-Río, *et al* 2009, "Use of sedation in gastrointestinal endoscopy: a nationwide survey in Spain", *European Journal of Gastroenterology and Hepatology*, vol. 21, no. 8, pp. 882-888.

- Bedwell, C., Dowswell, T., Neilson, J.P. y Lavender, T. 2010, "The use of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for pain relief in labour: a review of the evidence", *Midwifery*, [en prensa].
- Bélanger, A.Y. 2003, "Tanscutaneous Electrical Nerve Stimulation" in *Evidence-based guide to therapeutic physical agents* Lippincott Williams y Wilkins, Baltimore, MD, pp. 26-65.
- Bell, G.D., McCloy, R.F., Charlton, J.E., Campbell, D., Dent, N.A., *et al* 1991, "Recommendations for standards of sedation and patient monitoring during gastrointestinal endoscopy", *Gut*, vol. 32, no. 7, pp. 823-827.
- Bennett, M.I., Johnson, M.I., Brown, S.R., Radford, H., Brown, J.M. *et al*. "Feasibility study of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) for Cancer Bone Pain", *The Journal of Pain*, vol. [en prensa].
- Bielefeldt, K. y Gebhart, G.F. 2005, "Visceral pain: basic mechanisms". En *Wall and Melzack's Textbook of Pain* (S. McMahon y M. Koltzenburg eds.), Churchill Livingstone, Oxford, pp. 741.
- Bjordal, J.M., Johnson, M.I. y Ljunggreen, A.E. 2003, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain", *European Journal of Pain*, vol. 7, no. 2, pp. 181-188.
- Bloodworth DM, Nguyen, B.N., Garver, W., Moss, F., Pedroza, C., *et al* 2004, "Comparison of stochastic vs. conventional transcutaneous electrical stimulation for pain modulation in patients with electromyographically documented radiculopathy.", - *American Journal of Physical Medicine Rehabilitation*, vol 83, no. 8, pp. 584-91.
- Bolfe, V.J. y Guirro, R.R. 2009, "Electrical resistance of gels and liquids used in electrotherapy for electrode-skin coupling", *Revista Brasileira Fisioterapia*, vol. 13, no. 6, pp. 499-505.

- Bolognese, J.A., Schnitzer, T.J. y Ehrich, E.W. 2003, "Response relationship of VAS and Likert scales in osteoarthritis efficacy measurement", *Osteoarthritis and cartilage*, vol. 11, no. 7, pp. 499-507.
- Bowman, B.R. y Baker, L.L. 1985, "Effects of waveform parameters on comfort during transcutaneous neuromuscular electrical stimulation", *Annals of Biomedical Engineering*, vol. 13, no. 1, pp. 59-74.
- Bretthauer, M., Lynge, A.B., Thiis-Evensen, E., Hoff, G., Fausa, O. *et al.* 2005, "Carbon dioxide insufflation in colonoscopy: safe and effective in sedated patients", *Endoscopy*, vol. 37, no. 8, pp. 706-709.
- Briggs, M. y Closs, J.S. 1999, "A descriptive study of the use of visual analogue scales and verbal rating scales for the assessment of postoperative pain in orthopedic patients", *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 18, no. 6, pp. 438-446.
- Brosseau, L., Judd, M.G., Marchand, S., Robinson, V.A., Tugwell, P., *et al.* 2003, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for the treatment of rheumatoid arthritis in the hand", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 3, no. 3, pp. CD004377.
- Brown, L., Tabasam, G., Bjordal, J.M. y Johnson, M.I. 2007, "An investigation into the effect of electrode placement of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimentally induced ischemic pain in healthy human participants", *The Clinical Journal of Pain*, vol. 23, no. 9, pp. 735-743.
- Bundsen, P., Ericson, K., Peterson, L.E. y Thiringer, K. 1982, "Pain relief in labor by transcutaneous electrical nerve stimulation. Testing of a modified stimulation technique and evaluation of the neurological and biochemical condition of the newborn infant", *Acta Obstetrica et Gynecologica Scandinavica*, vol. 61, no. 2, pp. 129-136.
- Cacho, G., Dueñas, C., Pérez de las Vacas, J., Robledo, P. y Rosado, J.L. 2000, "Viabilidad de la colonoscopia sin analgesia y sedación

- consciente", *Gastroenterología y Hepatología*, vol. 23, no. 9, pp. 407-411.
- Cadranel, J.F., Benhamou, Y., Zylberberg, P., Novello, P., Luciani, F., *et al* 1994, "Hypnotic relaxation: a new sedative tool for colonoscopy?", *Journal of Clinical Gastroenterology*, vol. 18, no. 2, pp. 127-129.
- Cameron, M., Lonergan, E. y Lee, H. 2003, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for dementia", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 3, no. 3, pp. CD004032.
- Campbell, J.N. y Taub, A. 1973, "Local analgesia from percutaneous electrical stimulation. A peripheral mechanism", *Archives of Neurology*, vol. 28, no. 5, pp. 347-350.
- Carabelli, R.A. y Kellerman, W.C. 1985, "Phantom limb pain: relief by application of TENS to contralateral extremity", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 66, no. 7, pp. 466-467.
- Carlson, T., Andrell, P., Ekre, O., Edvardsson, N., Holmgren, C., *et al* 2008, "Interference of transcutaneous electrical nerve stimulation with permanent ventricular stimulation: a new clinical problem?", *Europace*, [en prensa].
- Carroll, D., Moore, R.A., McQuay, H.J., Fairman, F., Tramer, M. *et al* 2001, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 3, no. 3, pp. CD003222.
- Carroll, D., Tramer, M., McQuay, H., Nye, B. y Moore, A. 1997, "Transcutaneous electrical nerve stimulation in labour pain: a systematic review", *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, vol. 104, no. 2, pp. 169-175.
- Carroll, D., Tramer, M., McQuay, H., Nye, B. y Moore, A. 1996, "Randomization is important in studies with pain outcomes: systematic review of transcutaneous electrical nerve stimulation in acute

postoperative pain", *British Journal of Anaesthesia*, vol. 77, no. 6, pp. 798-803.

Chandran, P. y Sluka, K.A. 2003, "Development of opioid tolerance with repeated transcutaneous electrical nerve stimulation administration", *Pain*, vol. 102, no. 1-2, pp. 195-201.

Chang QY, Lin JG y Hsieh CL 2001, "Effect of manual acupuncture and transcutaneous electrical nerve stimulation on the H-reflex", *Acupuncture y Electro-Therapeutics Research*, vol. 26, no. 4, pp. 239-251.

Chao, A.S., Chao, A., Wang, T.H., Chang, Y.C., Peng, H.H., *et al* 2007, "Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on acupuncture points during the first stage of labor: a randomized double-blind placebo-controlled trial", *Pain*, vol. 127, no. 3, pp. 214-220.

Cheing GL, Tsui AY, Lo SK y Hui-Chan CW 2003, "Optimal stimulation duration of tens in the management of osteoarthritic knee pain", *Journal Of Rehabilitation Medicine*, vol. 35, no. 2, pp. 62-68.

Chen, C.C., Tabasarn, G. y Johnson, M.I. 2008, "Does the pulse frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) influence hypoalgesia? A systematic review of studies using experimental pain and healthy human participants", *Physiotherapy*, vol. 94, no. 1, pp. 11-20.

Chen, C. y Johnson, M.I. 2009, "An investigation into the effects of frequency-modulated Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on experimentally-induced pressure pain in healthy human participants", *The Journal of Pain*, vol. 10, no. 10, pp. 1029-1037.

Chen, C., Johnson, M.I., McDonough, S. y Cramp, F. 2007, "The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on local and distal cutaneous blood flow following a prolonged heat stimulus in healthy

- subjects", *Clinical Physiology and Functional Imaging*, vol. 27, no. 3, pp. 154-161.
- Chen, D., Philip, M., Philip, P.A. y Monga, T.N. 1990, "Cardiac pacemaker inhibition by transcutaneous electrical nerve stimulation", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 71, no. 1, pp. 27-30.
- Chesterton, L.S., Barlas, P., Foster, N.E., Lundeberg, T., Wright, C.C. *et al* 2002, "Sensory stimulation (TENS): effects of parameter manipulation on mechanical pain thresholds in healthy human subjects", *Pain*, vol. 99, no. 1-2, pp. 253-262.
- Chesterton, L.S., Foster, N.E., Wright, C.C., Baxter, G.D. y Barlas, P. 2003, "Effects of TENS frequency, intensity and stimulation site parameter manipulation on pressure pain thresholds in healthy human subjects", *Pain*, vol. 106, no. 1-2, pp. 73-80.
- Chung, J.M., Fang, Z.R., Hori, Y., Lee, K.H. y Willis, W.D. 1984, "Prolonged inhibition of primate spinothalamic tract cells by peripheral nerve stimulation", *Pain*, vol. 19, no. 3, pp. 259-275.
- Cipriano G Jr, de Camargo Carvalho AC, Bernardelli GF y Tayar Peres PA 2008, "Short-term transcutaneous electrical nerve stimulation after cardiac surgery: effect on pain, pulmonary function and electrical muscle activity", *Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery*, vol. 7, no. 4, pp. 539-543.
- Claydon, L.S., Chesterton, L.S., Barlas, P. y Sim, J. 2008, "Effects of simultaneous dual-site TENS stimulation on experimental pain", *European Journal of Pain*, vol. 12, no. 6, pp. 696-704.
- Coffin, B., Azpiroz, F. y Malagelada, J.R. 1994, "Somatic stimulation reduces perception of gut distention in humans", *Gastroenterology*, vol. 107, no. 6, pp. 1636-1642.
- Conn, I.G., Marshall, A.H., Yadav, S.N., Daly, J.C. y Jaffer, M. 1986, "Transcutaneous electrical nerve stimulation following appendicectomy:

the placebo effect", *Annals of the Royal College of Surgeons of England*, vol. 68, no. 4, pp. 191-192.

Cramp AF, Gilsenan C, Lowe AS y Walsh DM 2000, "The effect of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation upon cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects", *Clinical Physiology*, vol. 20, no. 2, pp. 150-157.

Cramp FL, McCullough GR, Lowe AS y Walsh DM 2002, "Transcutaneous electric nerve stimulation: the effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 83, no. 1, pp. 5-9.

Crevenna R, Stix G, Pleiner J, Pezawas T, Schmidinger H, *et al* 2003, "Electromagnetic interference by transcutaneous neuromuscular electrical stimulation in patients with bipolar sensing implantable cardioverter defibrillators: a pilot safety study", *Pacing and Clinical Electrophysiology*, vol. 26, no. 2, pp. 626-629.

Curwin JH, Coyne RF y Winters SL 1999, "Inappropriate defibrillator (ICD) shocks caused by transcutaneous electronic nerve stimulation (TENS) units", *Pacing and Clinical Electrophysiology*, vol. 22, no. 4, pp. 692-693.

Davila, R.E., Rajan, E., Baron, T.H., Adler, D.G., Egan, J.V., *et al* 2006, "ASGE guideline: colorectal cancer screening and surveillance", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 63, no. 4, pp. 546-557.

De Angelis, C., Perrone, G., Santoro, G., Nofroni, I. y Zichella, L. 2003, "Suppression of pelvic pain during hysteroscopy with a transcutaneous electrical nerve stimulation device", *Fertility and Sterility*, vol. 79, no. 6, pp. 1422-1427.

Dean, J., Bowsher, D. y Johnson, M.I. 2006, "The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on

- bilateral somatosensory thresholds", *Clinical Physiology and Functional Imaging*, vol. 26, no. 5, pp. 314-318.
- DeSantana, J. y Lauretti, G. 2007, "(800): Both high and low frequency TENS reduce postoperative visceral pain", *The Journal of Pain*, vol. 8, no. 4, Suplemento 1, pp. S51-S51.
- DeSantana, J., Sluka, K. y Silva, L. 2009, "Blockade of spinal CCK receptors prevents analgesic tolerance to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and cross tolerance at spinal opioid receptors", *The Journal of Pain*, vol. 10, no. 4, Suplemento 1, pp. S28-S28.
- DeSantana, J.M., Santana-Filho, V.J., Guerra, D.R., Sluka, K.A., Gurgel, R.Q. *et al* 2008, "Hypoalgesic effect of the transcutaneous electrical nerve stimulation following inguinal herniorrhaphy: a randomized, controlled trial", *The Journal Of Pain*, vol. 9, no. 7, pp. 623-629.
- Desantana, J.M., Sluka, K.A. y Lauretti, G.R. 2009, "High and low frequency TENS reduce postoperative pain intensity after laparoscopic tubal ligation: a randomized controlled trial", *The Clinical Journal of Pain*, vol. 25, no. 1, pp. 12-19.
- DeSantana, J.M., Santana-Filho, V.J. y Sluka, K.A. 2008, "Modulation between high- and low-frequency transcutaneous electric nerve stimulation delays the development of analgesic tolerance in arthritic rats", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 89, no. 4, pp. 754-760.
- DeSantana, J.M., Walsh, D.M., Vance, C., Rakel, B.A. y Sluka, K.A. 2008, "Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of hyperalgesia and pain", *Current Rheumatology Reports*, vol. 10, no. 6, pp. 492-499.
- Dickie, A., Tabasam, G., Tashani, O., Marchant, P. y Johnson, M.I. 2009, "A preliminary investigation into the effect of coffee on hypolagesia

associated with transcutaneous electrical nerve stimulation", *Clinical Physiology and Functional Imaging*, [en prensa].

Dickstein, R. y Kafri, M. 2008, "Effects of antecedent TENS on EMG activity of the finger flexor muscles and on grip force", *Somatosensory and Motor Research*, vol. 25, no. 2, pp. 139-146.

Doubell, T.P., Mannion, R.J. y Woolf, C.J. 2003, "The dorsal horn: state-dependent sensory processing, plasticity and the generation of pain". En *Textbook of Pain* (P.D. Wall y R. Melzack eds.), Churchill Livingstone, Filadelfia, pp. 165-182.

Dowswell, T., Bedwell, C., Lavender, T. y Neilson, J.P. 2009, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for pain relief in labour", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 2, no. 2, pp. CD007214.

Dubinsky, R.M. y Miyasaki, J. 2010, "Assessment: efficacy of transcutaneous electric nerve stimulation in the treatment of pain in neurologic disorders (an evidence-based review): report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology", *Neurology*, vol. 74, no. 2, pp. 173-176.

Dwyer, C.M., Chapman, R.S. y Forsyth, A. 1994, "Allergic contact dermatitis from TENS gel", *Contact dermatitis*, vol. 30, no. 5, pp. 305.

Eisen, G.M., Baron, T.H., Dominitz, J.A., Faigel, D.O., Goldstein, J.L., *et al* 2002, "Guideline on the management of anticoagulation and antiplatelet therapy for endoscopic procedures", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 55, no. 7, pp. 775-779.

Elkins, G., White, J., Patel, P., Marcus, J., Perfect, M.M. *et al* 2006, "Hypnosis to manage anxiety and pain associated with colonoscopy for colorectal cancer screening: Case studies and possible benefits", *The*

- International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis*, vol. 54, no. 4, pp. 416-431.
- Emmiler, M., Solak, O., Kocogullari, C., Dundar, U., Ayva, E., *et al* 2008, "Control of acute postoperative pain by transcutaneous electrical nerve stimulation after open cardiac operations: a randomized placebo-controlled prospective study", *The Heart Surgery Forum*, vol. 11, no. 5, pp. 300-303.
- Eriksson, M., Schuller, H. y Sjolund, B. 1978, "Hazard from transcutaneous nerve stimulation in patients with pacemakers", *Lancet*, vol. 1, no. 8077, pp. 1319.
- Erskine, A., Morley, S. y Pearce, S. 1990, "Memory for pain: a review", *Pain*, vol. 41, no. 3, pp. 255-265.
- Fanti, L., Gemma, M., Passaretti, S., Guslandi, M., Testoni, P.A., *et al* 2003, "Electroacupuncture analgesia for colonoscopy. a prospective, randomized, placebo-controlled study", *The American Journal of Gastroenterology*, vol. 98, no. 2, pp. 312-316.
- Fernandez-Del-Olmo M, Alvarez-Sauco M, Koch G, Franca M, Marquez G, *et al* 2008, "How repeatable are the physiological effects of TENS?", *Clinical Neurophysiology*, vol. 119, no. 8, pp. 1834-1839.
- Fields, H.L. y Basbaum, A.L. 2003, "Central nervous system mechanisms of pain modulation". En *Textbook of Pain* (P.D. Wall y R. Melzack eds.), Churchill Livingstone, Filadelfia, pp. 243-257.
- Frazier, A.L., Colditz, G.A., Fuchs, C.S. y Kuntz, K.M. 2000, "Cost-effectiveness of screening for colorectal cancer in the general population", *Journal of the American Medical Association*, vol. 284, no. 15, pp. 1954-1961.
- Freyne, A. y Falcoz, P.E. 2010, "Is transcutaneous electrical nerve stimulation effective in relieving postoperative pain after thoracotomy?",

Interactive Cardiovascular and Thoracic Surgery, vol. 10, no. 2, pp. 283-288.

Froehlich, F., Harris, J.K., Wietlisbach, V., Burnand, B., Vader, J. *et al* 2006, "Current sedation and monitoring practice for colonoscopy: an international observational study (EPAGE)", *Endoscopy*, vol. 38, no. 5, pp. 461-469.

Gadsby, J.G. y Flowerdew, M.W. 2000, "Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation for chronic low back pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 2, no. 2, pp. CD000210.

Garrison, D.W. y Foreman, R.D. 1996, "Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cell activity in cats with transected spinal cords", *Neuroscience Letters*, vol. 216, no. 2, pp. 125-128.

Garrison, D.W. y Foreman, R.D. 1994, "Decreased activity of spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cells during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)", *Pain*, vol. 58, no. 3, pp. 309-315.

Gasparovic, S., Rustemovic, N., Opacic, M., Bates, M. y Petroveckii, M. 2003, "Comparison of colonoscopies performed under sedation with propofol or with midazolam or without sedation", *Acta Medica Austriaca*, vol. 30, no. 1, pp. 13-16.

Gebhart, G.F. 2000, "Visceral pain-peripheral sensitisation", *Gut*, vol. 47 Suppl 4, pp. 54.

Ghoname, E.S., Craig, W.F., White, P.F., Ahmed, H.E., Hamza, M.A., *et al* 1999, "The effect of stimulus frequency on the analgesic response to percutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic low back pain", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 88, no. 4, pp. 841-846.

Gopalkrishnan, P. y Sluka, K.A. 2000, "Effect of varying frequency, intensity, and pulse duration of transcutaneous electrical nerve

- stimulation on primary hyperalgesia in inflamed rats", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 81, no. 7, pp. 984-990.
- Hafner, M. 2007, "Conventional colonoscopy: technique, indications, limits", *European Journal of Radiology*, vol. 61, no. 3, pp. 409-414.
- Hamza, M.A., White, P.F., Ahmed, H.E. y Ghoname, E.A. 1999, "Effect of the frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on the postoperative opioid analgesic requirement and recovery profile", *Anesthesiology*, vol. 91, no. 5, pp. 1232-1238.
- Han, J.S., Chen, X.H., Sun, S.L., Xu, X.J., Yuan, Y., *et al* 1991, "Effect of low- and high-frequency TENS on met-enkephalin-Arg-Phe and dynorphin A immunoreactivity in human lumbar CSF", *Pain*, vol. 47, no. 3, pp. 295-298.
- Harewood, G.C., Wiersema, M.J. y Melton, L.J.,3rd 2002, "A prospective, controlled assessment of factors influencing acceptance of screening colonoscopy", *The American Journal of Gastroenterology*, vol. 97, no. 12, pp. 3186-3194.
- Harris, J.K., Vader, J., Wietlisbach1, V., Burnand, B., Gonvers, J. *et al* 2007, "Variations in colonoscopy practice in Europe: a multicentre descriptive study (EPAGE)", *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, vol. 42, no. 1, pp. 126-134.
- Harrison, R.F., Woods, T., Shore, M., Mathews, G. y Unwin, A. 1986, "Pain relief in labour using transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). A TENS/TENS placebo controlled study in two parity groups", *British Journal of Obstetrics and Gynaecology*, vol. 93, no. 7, pp. 739-746.
- Heldwein, W., Dollhopf, M., Rosch, T., Meining, A., Schmidtsdorff, G., *et al* 2005 "The Munich Polypectomy Study (MUPS): prospective analysis of complications and risk factors in 4000 colonic snare polypectomies", *Endoscopy*, vol. 37, no. 11, pp. 1116-1122.

- Hingne, P.M. y Sluka, K.A. 2008, "Blockade of NMDA receptors prevents analgesic tolerance to repeated transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in rats", *The Journal of Pain*, vol. 9, no. 3, pp. 217-225.
- Hingne, P.M. y Sluka, K.A. 2007, "Differences in waveform characteristics have no effect on the anti-hyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in rats with joint inflammation", *The Journal of Pain*, vol. 8, no. 3, pp. 251-255.
- Holzer, P. 2006, "Efferent-like roles of afferent neurons in the gut: Blood flow regulation and tissue protection", *Autonomic Neuroscience : Basic and Clinical*, vol. 125, no. 1-2, pp. 70-75.
- Horiuchi, A. y Nakayama, Y. 2006, "Unsedated ultrathin EGD by using a 5.2-mm-diameter videoscope: evaluation of acceptability and diagnostic accuracy", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 64, no. 6, pp. 868-873.
- Horn, E. y Nesbit, S.A. 2004, "Pharmacology and pharmacokinetics of sedatives and analgesics", *Gastrointestinal Endoscopy Clinics of North America*, vol. 14, no. 2, pp. 247-268.
- Hruby, G., Ames, C., Chen, C., Yan, Y., Sagar, J., *et al* 2006, "Assessment of efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation for pain management during office-based flexible cystoscopy", *Urology*, vol. 67, no. 5, pp. 914-917.
- Hughes, G.S., Jr, Lichstein, P.R., Whitlock, D. y Harker, C. 1984, "Response of plasma beta-endorphins to transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects", *Physical Therapy*, vol. 64, no. 7, pp. 1062-1066.
- Hull, T. y Church, J.M. 1994, "Colonoscopy--how difficult, how painful?", *Surgical Endoscopy*, vol. 8, no. 7, pp. 784-787.

- Ignelzi, R.J. y Nyquist, J.K. 1976, "Direct effect of electrical stimulation on peripheral nerve evoked activity: implications in pain relief", *Journal of Neurosurgery*, vol. 45, no. 2, pp. 159-165.
- Iqbal, C.W., Chun, Y.S. y Farley, D.R. 2005, "Colonoscopic perforations: a retrospective review", *Journal of Gastrointestinal Surgery*, vol. 9, no. 9, pp. 1229-35.
- Johansson, F., Almay, B.G., Von Knorring, L. y Terenius, L. 1980, "Predictors for the outcome of treatment with high frequency transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic pain", *Pain*, vol. 9, no. 1, pp. 55-61.
- Johnson, M.I., Hajela, V.K., Ashton, C.H. y Thompson, J.W. 1991, "The effects of auricular transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimental pain threshold and autonomic function in healthy subjects", *Pain*, vol. 46, no. 3, pp. 337-342.
- Johnson, M. 2001, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)". En *Electrotherapy: evidence-based practice* (S. Kitchen ed.), Churchill Livingstone, Edinburgo, pp. 259-286.
- Johnson, M. y Din, A. 1997, "Ethnocultural differences in the analgesic effects of placebo transcutaneous electrical nerve stimulation on cold-induced pain in healthy subjects: a preliminary study", *Complementary Therapies in Medicine*, vol. 5, no. 2, pp. 74-79.
- Johnson, M.I., Ashton, C.H., Bousfield, D.R. y Thompson, J.W. 1991, "Analgesic effects of different pulse patterns of transcutaneous electrical nerve stimulation on cold-induced pain in normal subjects", *Journal of Psychosomatic Research*, vol. 35, no. 2-3, pp. 313-321.
- Johnson, M.I., Ashton, C.H. y Thompson, J.W. 1991, "An in-depth study of long-term users of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). Implications for clinical use of TENS", *Pain*, vol. 44, no. 3, pp. 221-229.

- Johnson, M.I. y Tabasam, G. 2002, "A single-blind placebo-controlled investigation into the analgesic effects of interferential currents on experimentally induced ischaemic pain in healthy subjects", *Clinical Physiology and Functional Imaging*, vol. 22, no. 3, pp. 187-196.
- Johnson, M.I. 2001, "Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) and TENS-like devices: do they provide pain relief?", *Pain Reviews*, vol. 8, no. 3, pp. 121-158.
- Johnson, M.I. 1998, "Does transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) work?", *Clinical Effectiveness in Nursing*, vol. 2, no. 3, pp. 111-120.
- Johnson, M.I. y Tabasam, G. 1999, "A double blind placebo controlled investigation into the analgesic effects of inferential currents (IFC) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on cold-induced pain in healthy subjects", *Physiotherapy Theory and Practice*, vol. 15, no. 4, pp. 217-233.
- Johnson, M. y Martinson, M. 2007, "Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain: a meta-analysis of randomized controlled trials", *Pain*, vol. 130, no. 1-2, pp. 157-165.
- Kalra, A., Urban, M.O. y Sluka, K.A. 2001, "Blockade of opioid receptors in rostral ventral medulla prevents antihyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)", *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, vol. 298, no. 1, pp. 257-263.
- Kane, K. y Taub, A. 1975, "A history of local electrical analgesia", *Pain*, vol. 1, no. 2, pp. 125-138.
- Kaplan, B., Rabinerson, D., Pardo, J., Krieser, R.U. y Neri, A. 1997, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as a pain-relief device in obstetrics and gynecology", *Clinical and Experimental Obstetrics and Gynecology*, vol. 24, no. 3, pp. 123-126.

- Karajeh, M.A., Sanders, D.S. y Hurlstone, D.P. 2006, "Colonoscopy in elderly people is a safe procedure with a high diagnostic yield: a prospective comparative study of 2000 patients", *Endoscopy*, vol. 38, no. 3, pp. 226-230.
- Kararmaz A, Kaya S, Karaman H y Turhanoglu S 2004, "Effect of the frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on analgesia during extracorporeal shock wave lithotripsy", *Urological Research*, vol. 32, no. 6, pp. 411-415.
- Khadilkar, A., Odebiyi, D.O., Brosseau, L. y Wells, G.A. 2008, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) versus placebo for chronic low-back pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 4, no. 4, pp. CD003008.
- King, E.W., Audette, K., Athman, G.A., Nguyen, H.O., Sluka, K.A. *et al* 2005, "Transcutaneous electrical nerve stimulation activates peripherally located alpha-2A adrenergic receptors", *Pain*, vol. 115, no. 3, pp. 364-373.
- King, E.W. y Sluka, K.A. 2001, "The effect of varying frequency and intensity of transcutaneous electrical nerve stimulation on secondary mechanical hyperalgesia in an animal model of inflammation", *The Journal of Pain*, vol. 2, no. 2, pp. 128-133.
- Knowles, C.H. y Aziz, Q. 2009, "Basic and clinical aspects of gastrointestinal pain", *Pain*, vol. 141, no. 3, pp. 191-209.
- Koesler, I.B., Dafotakis, M., Ameli, M., Fink, G.R. y Nowak, D.A. 2009, "Electrical somatosensory stimulation improves movement kinematics of the affected hand following stroke", *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, vol. 80, no. 6, pp. 614-619.
- Koke, A.J., Schouten, J.S., Lamerichs-Geelen, M.J., Lipsch, J.S., Waltje, E.M., *et al* 2004, "Pain reducing effect of three types of transcutaneous

- electrical nerve stimulation in patients with chronic pain: a randomized crossover trial", *Pain*, vol. 108, no. 1-2, pp. 36-42.
- Kremer, E., Atkinson, J.H. y Ignelzi, R.J. 1981, "Measurement of pain: patient preference does not confound pain measurement", *Pain*, vol. 10, no. 2, pp. 241-248.
- Kroeling, P., Gross, A., Goldsmith, C.H., Burnie, S.J., Haines, T., *et al* 2009, "Electrotherapy for neck pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 4, no. 4, pp. CD004251.
- Law, P.P. y Cheing, G.L. 2004, "Optimal stimulation frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on people with knee osteoarthritis", *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 36, no. 5, pp. 220-225.
- Lazarou, L., Kitsios, A., Lazarou, I., Sikaras, E. y Trampas, A. 2009, "Effects of intensity of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS) on pressure pain threshold and blood pressure in healthy humans: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial", *The Clinical Journal of Pain*, vol. 25, no. 9, pp. 773-780.
- Lee, K.H., Chung, J.M. y Willis, W.D. 1985, "Inhibition of primate spinothalamic tract cells by TENS", *Journal of Neurosurgery*, vol. 62, no. 2, pp. 276-287.
- Lee, S. y Lee, B. 2009, "Electroacupuncture relieves pain in men with chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome: three-arm randomized trial", *Urology*, vol. 73, no. 5, pp. 1036-1041.
- Lehmann, T.R., Russell, D.W., Spratt, K.F., Colby, H., Liu, Y.K., *et al* 1986, "Efficacy of electroacupuncture and TENS in the rehabilitation of chronic low back pain patients", *Pain*, vol. 26, no. 3, pp. 277-290.
- Leung, F.W. 2008, "Methods of reducing discomfort during colonoscopy", *Digestive Diseases and Sciences*, vol. 53, no. 6, pp. 1462-1467.

- Leung, F.W., Aharonian, H.S., Leung, J.W., Guth, P.H. y Jackson, G. 2009, "Impact of a novel water method on scheduled unsedated colonoscopy in U.S. veterans", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 69, no. 3, pp. 546-550.
- Leung, F.W., Aharonian, S., Guth, P.H., Jackson, G., Chu, S.K., *et al* 2008, "Unsedated colonoscopy: time to revisit this option?", *The Journal of Family Practice*, vol. 57, no. 12, pp. E1-4.
- Leung, F.W. 2009, "The case of unsedated screening colonoscopy in the United States", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 69, no. 7, pp. 1354-1356.
- Leung, J.W., Mann, S. y Leung, F.W. 2007, "Options for screening colonoscopy without sedation: a pilot study in United States veterans", *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*, vol. 26, no. 4, pp. 627-631.
- Levin, B., Barthel, J.S., Burt, R.W., David, D.S., Ford, J.M., *et al* "Colorectal cancer screening clinical practice guidelines", *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*, vol. 4, no. 4, pp. 384-420.
- Levin, T.R., Wei Zhao, Conell, C., Seeff, L.C., Manninen, D.L., *et al* "Complications of colonoscopy in an integrated health care delivery system", *Annals of Internal Medicine*, vol. 145, no. 12, pp. 880-887.
- Lichtenstein, D.R., Jagannath, S., Baron, T.H., Anderson, M.A., Banerjee, S., *et al* 2008, "Sedation and anesthesia in GI endoscopy", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 68, no. 5, pp. 815-826.
- Liebano, R., Zenor, A., Hook, A., Little, A., Franck, C., *et al* 2009, "405 An investigation of the development of tolerance to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in humans", *European Journal of Pain*, vol. 13, no. Suplemento 1, pp. S122-S122.
- Limoges, M.F. y Rickabaugh, B. 2004, "Evaluation of TENS during screening flexible sigmoidoscopy", *Gastroenterology Nursing*, vol. 27, no. 2, pp. 61-68.

- Long, D.M. 1977, "Electrical stimulation for the control of pain", *Archives of surgery*, vol. 112, no. 7, pp. 884-888.
- Luft, A.R., Manto, M.U. y Ben Taib, N.O. 2005, "Modulation of motor cortex excitability by sustained peripheral stimulation: the interaction between the motor cortex and the cerebellum", *Cerebellum*, vol. 4, no. 2, pp. 90-96.
- Lund, I., Lundeberg, T., Sandberg, L., Budh, C.N., Kowalski, J. *et al* 2005, "Lack of interchangeability between visual analogue and verbal rating pain scales: a cross sectional description of pain etiology groups", *BMC Medical Research Methodology*, vol. 5, pp. 31.
- Ma, Y.T. y Sluka, K.A. 2001, "Reduction in inflammation-induced sensitization of dorsal horn neurons by transcutaneous electrical nerve stimulation in anesthetized rats", *Experimental Brain Research*, vol. 137, no. 1, pp. 94-102.
- Maeda, Y., Lisi, T.L., Vance, C.G.T. y Sluka, K.A. 2007, "Release of GABA and activation of GABA_A in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats", *Brain Research*, vol. 1136, no. 1, pp. 43-50.
- Mann, C.J. 1996, "Respiratory compromise: a rare complication of transcutaneous electrical nerve stimulation for angina pectoris", *Journal of Accident and Emergency Medicine*, vol. 13, no. 1, pp. 68.
- Mannheimer, C., Lund, S. y Carlsson, C.A. 1978, "The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on joint pain in patients with rheumatoid arthritis", *Scandinavian Journal of Rheumatology*, vol. 7, no. 1, pp. 13-16.
- Marchand, S., Bushnell, M.C. y Duncan, G.H. 1991, "Modulation of heat pain perception by high frequency transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)", *The Clinical Journal of Pain*, vol. 7, no. 2, pp. 122-129.

- Marchand, S., Li, J. y Charest, J. 1995, "Effects of caffeine on analgesia from transcutaneous electrical nerve stimulation", *The New England Journal of Medicine*, vol. 333, no. 5, pp. 325-326.
- Marples IL 2000, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): an unusual source of electrocardiogram artefact", *Anaesthesia*, vol. 55, no. 7, pp. 719-720.
- Meade, C.S., Lukas, S.E., McDonald, L.J., Fitzmaurice, G.M., Eldridge, J.A., *et al* 2010, "A randomized trial of transcutaneous electric acupoint stimulation as adjunctive treatment for opioid detoxification", *Journal of Substance Abuse Treatment*, vol. 38, no. 1, pp. 12-21.
- Meissner, W. 2009, "The role of acupuncture and transcutaneous-electrical nerve stimulation for postoperative pain control", *Current Opinion in Anaesthesiology*, vol. 22, no. 5, pp. 623-626.
- Melzack, R. 1975, "Prolonged relief of pain by brief, intense transcutaneous somatic stimulation", *Pain*, vol. 1, no. 4, pp. 357-373.
- Melzack, R. y Wall, P.D. 1965, "Pain mechanisms: a new theory", *Science*, vol. 150, no. 699, pp. 971-979.
- Merkel, S.I., Gutstein, H.B. y Malviya, S. 1999, "Use of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in a young child with pain from open perineal lesions", *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 18, no. 5, pp. 376-381.
- Meuleman, V., Busschots, A.M. y Dooms-Goossens, A. 1996, "Contact allergy to a device for transcutaneous electrical neural stimulation (TENS)", *Contact Dermatitis*, vol. 35, no. 1, pp. 53-54.
- Miller MG, Cheatham CC, Holcomb WR, Ganschow R, Michael TJ *et al* 2008, "Subcutaneous tissue thickness alters the effect of NMES", *Journal of Sport Rehabilitation*, vol. 17, no. 1, pp. 68-75.

- Milne, S., Welch, V., Brosseau, L., Saginur, M., Shea, B., *et al* 2001, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic low back pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 2, no. 2, pp. CD003008.
- Moisset, X., Bouhassira, D., Denis, D., Dominique, G., Benoit, C. *et al* 2009, "Anatomical connections between brain areas activated during rectal distension in healthy volunteers: A visceral pain network", *European Journal of Pain (London, England)*, .
- Motta, M.A.d., Vasconcelos, M.d.S. y Catanho, M.T.d.A 2002, "Antinociceptive action of captopril and Transcutaneous Electric Nerve Stimulation in mus musculus mice", *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, vol. 29, no. 5, pp. 464-466.
- Myles, P.S., Troedel, S., Boquest, M. y Reeves, M. 1999, "The pain visual analog scale: is it linear or nonlinear?", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 89, no. 6, pp. 1517-1520.
- Nayak, S., Wenstone, R., Jones, A., Nolan, J., Strong, A. *et al* 2008, "Surface electrostimulation of acupuncture points for sedation of critically ill patients in the intensive care unit--a pilot study", *Acupuncture in Medicine*, vol. 26, no. 1, pp. 1-7.
- Ness, T.J. y Gebhart, G.F. 1991, "Interactions between visceral and cutaneous nociception in the rat. II. Noxious visceral stimuli inhibit cutaneous nociceptive neurons and reflexes", *Journal of Neurophysiology*, vol. 66, no. 1, pp. 29-39.
- Ng, S.S. y Hui-Chan, C.W. 2009, "Does the use of TENS increase the effectiveness of exercise for improving walking after stroke? A randomized controlled clinical trial", *Clinical Rehabilitation*, vol. 23, no. 12, pp. 1093-1103.

- Nnoaham, K.E. y Kumbang, J. 2008, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 3, no. 3, pp. CD003222.
- Nolan, M.F. 1991, "Conductive differences in electrodes used with transcutaneous electrical nerve stimulation devices", *Physical Therapy*, vol. 71, no. 10, pp. 746-751.
- Oosterhof, J., Samwel, H.J., de Boo, T.M., Wilder-Smith, O.H., Oostendorp, R.A. *et al* 2008, "Predicting outcome of TENS in chronic pain: a prospective, randomized, placebo controlled trial", *Pain*, vol. 136, no. 1-2, pp. 11-20.
- Osiri, M., Welch, V., Brosseau, L., Shea, B., McGowan, J., *et al* 2000, "Transcutaneous electrical nerve stimulation for knee osteoarthritis", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 4, no. 4, pp. CD002823.
- Park, C.H., Lee, W.S., Joo, Y.E., Kim, H.S., Choi, S.K., *et al* 2006, "Sedation-free colonoscopy using an upper endoscope is tolerable and effective in patients with low body mass index: a prospective randomized study", *The American Journal of Gastroenterology*, vol. 101, no. 11, pp. 2504-2510.
- Paspatis, G.A., Vardas, E., Theodoropoulou, A., Manolaraki, M.M., Charoniti, I., *et al* 2008, "Complications of colonoscopy in a large public county hospital in Greece. a 10-year study", *Digestive and Liver Disease*, vol. 40, no. 12, pp. 951-957.
- Petrofsky J, Schwab E, Cúneo M, George J, Kim J, Almalty A, *et al* 2006, "Current distribution under electrodes in relation to stimulation current and skin blood flow: are modern electrodes really providing the current distribution during stimulation we believe they are?", *Journal of Medical Engineering and Technology*, vol. 30, no. 6, pp. 368-381.

- Petrofsky JS, Suh HJ, Gunda S, Prowse M y Batt J 2008, "Interrelationships between body fat and skin blood flow and the current required for electrical stimulation of human muscle", *Medical Engineering and physics*, vol. 30, no. 7, pp. 931-936.
- Philbin DM, Marieb MA, Aithal KH y Schoenfeld MH 1998, "Inappropriate shocks delivered by an ICD as a result of sensed potentials from a transcutaneous electronic nerve stimulation unit", *Pacing and Clinical Electrophysiology*, vol. 21, no. 10, pp. 2010-2011.
- Pignone, M., Rich, M., Teutsch, S.M., Berg, A.O. y Lohr, K.N. 2002, "Screening for colorectal cancer in adults at average risk: a summary of the evidence for the U.S. preventive services task force", *Annals of Internal Medicine*, vol. 137, no. 2, pp. 132.
- Plaja, J. 2003, "Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea. TENS". En *Analgesia por medios físicos*, 1ª ed, McGraw-Hill/Interamericana, Madrid, pp. 238-268.
- Platon, B., Andrell, P., Raner, C., Rudolph, M., Dvoretzky, A. *et al* 2010, "High-frequency, high-intensity transcutaneous electrical nerve stimulation as treatment of pain after surgical abortion", *Pain*, vol. 148, no. 1, pp. 114-119.
- Price, C.I. y Pandyan, A.D. 2001, "Electrical stimulation for preventing and treating post-stroke shoulder pain: a systematic Cochrane review", *Clinical Rehabilitation*, vol. 15, no. 1, pp. 5-19.
- Price, D.D., Bush, F.M., Long, S. y Harkins, S.W. 1994, "A comparison of pain measurement characteristics of mechanical visual analogue and simple numerical rating scales", *Pain*, vol. 56, no. 2, pp. 217-226.
- Proctor, M.L., Smith, C.A., Farquhar, C.M. y Stones, R.W. 2002, "Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture for primary dysmenorrhoea", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 1, no. 1, pp. CD002123.

- Quiton, R.L. y Greenspan, J.D. 2007, "Sex differences in endogenous pain modulation by distracting and painful conditioning stimulation", *Pain*, vol. 132 Suppl 1, pp. S134-49.
- Rabeneck, L., Paszat, L.F., Hilsden, R.J., Saskin, R., Leddin, D., *et al* 2008, "Bleeding and perforation after outpatient colonoscopy and their risk factors in usual clinical practice", *Gastroenterology*, vol. 135, no. 6, pp. 1899-1906.e1.
- Radaelli, F., Mencci, G., Bartesaghi, G., Minoli, G. y Aigo 2006, "Sedation practice influences the effectiveness of colonoscopy: Results from a large, multicenter, prospective study", *Digestive and Liver Disease*, vol. 38, no. Suplemento 1, pp. S143-S144.
- Radhakrishnan, R., King, E.W., Dickman, J.K., Herold, C.A., Johnston, N.F., *et al* 2003, "Spinal 5-HT(2) and 5-HT(3) receptors mediate low, but not high, frequency TENS-induced antihyperalgesia in rats", *Pain*, vol. 105, no. 1-2, pp. 205-213.
- Radhakrishnan, R. y Sluka, K.A. 2003, "Spinal muscarinic receptors are activated during low or high frequency TENS-induced antihyperalgesia in rats", *Neuropharmacology*, vol. 45, no. 8, pp. 1111-1119.
- Radhakrishnan, R. y Sluka, K.A. 2005, "Deep tissue afferents, but not cutaneous afferents, mediate Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation-induced antihyperalgesia", *The Journal of Pain*, vol. 6, no. 10, pp. 673-680.
- Rakel, B., Cooper, N., Adams, H.J., Messer, B.R., Frey Law, L.A., *et al* "A new transient sham TENS device allows for investigator blinding while delivering a true placebo treatment", *The Journal of Pain*, [en prensa].
- Rakel, B. y Frantz, R. 2003, "Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain with movement", *The Journal of Pain*, vol. 4, no. 8, pp. 455-464.

- Randich, A. y Gebhart, G.F. 1992, "Vagal afferent modulation of nociception", *Brain Research Reviews*, vol. 17, no. 2, pp. 77-99.
- Rao, V.R., Wolf, S.L. y Gersh, M.R. 1981, "Examination of electrode placements and stimulating parameters in treating chronic pain with conventional transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS)", *Pain*, vol. 11, no. 1, pp. 37-47.
- Rasmussen, M.J., Hayes, D.L., Vlietstra, R.E. y Thorsteinsson, G. 1988, "Can transcutaneous electrical nerve stimulation be safely used in patients with permanent cardiac pacemakers?", *Mayo Clinic proceedings*, vol. 63, no. 5, pp. 443-445.
- Razavi, M. y Jansen, G.B. 2004, "Effects of acupuncture and placebo TENS in addition to exercise in treatment of rotator cuff tendinitis", *Clinical Rehabilitation*, vol. 18, no. 8, pp. 872-878.
- Redelmeier, D.A., Katz, J. y Kahneman, D. 2003, "Memories of colonoscopy: a randomized trial", *Pain*, vol. 104, no. 1-2, pp. 187-194.
- Reeve, J., Menon, D. y Corabian, P. 1996, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): a technology assessment", *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, vol. 12, no. 2, pp. 299-324.
- Ristic, D., Spangenberg, P. y Ellrich, J. 2008, "Analgesic and antinociceptive effects of peripheral nerve neurostimulation in an advanced human experimental model", *European journal of Pain*, vol. 12, no. 4, pp. 480-490.
- Ristikankare, M., Hartikainen, J., Heikkinen, M., Janatuinen, E. y Julkunen, R. 1999, "Is routinely given conscious sedation of benefit during colonoscopy?", *Gastrointestinal Endoscopy*, vol. 49, no. 5, pp. 566-572.
- Robb, K., Oxberry, S.G., Bennett, M.I., Johnson, M.I., Simpson, K.H. *et al* 2009, "A Cochrane systematic review of transcutaneous electrical nerve

- stimulation for cancer pain", *Journal of Pain and Symptom Management*, vol. 37, no. 4, pp. 746-753.
- Robinson, R., Darlow, S., Wright, S.J., Watters, C., Carr, I., *et al* 2001, "Is transcutaneous electrical nerve stimulation an effective analgesia during colonoscopy?", *Postgraduate Medical Journal*, vol. 77, no. 909, pp. 445-446.
- Rokugo, T., Takeuchi, T. y Ito, H. 2002, "A histochemical study of substance P in the rat spinal cord: effect of transcutaneous electrical nerve stimulation", *Journal of Nippon Medical School*, vol. 69, no. 5, pp. 428-433.
- Rushton DN 2002, "Electrical stimulation in the treatment of pain", *Disability and Rehabilitation*, vol. 24, no. 8, pp. 407-415.
- Rutjes, A.W., Nuesch, E., Sterchi, R., Kalichman, L., Hendriks, E., *et al* 2009, "Transcutaneous electrostimulation for osteoarthritis of the knee", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 4, no. 4, pp. CD002823.
- Sabino, G.S., Santos, C.M., Francischi, J.N. y de Resende, M.A. 2008, "Release of endogenous opioids following transcutaneous electric nerve stimulation in an experimental model of acute inflammatory pain", *The Journal of Pain*, vol. 9, no. 2, pp. 157-163.
- Salar, G., Job, I., Mingrino, S., Bosio, A. y Trabucchi, M. 1981, "Effect of transcutaneous electrotherapy on CSF beta-endorphin content in patients without pain problems", *Pain*, vol. 10, no. 2, pp. 169-172.
- Salmon, P., Shah, R., Berg, S. y Williams, C. 1994, "Evaluating customer satisfaction with colonoscopy", *Endoscopy*, vol. 26, no. 4, pp. 342-346.
- Sánchez, A., Alarcón, O., Baudet, J.S., Sáinz, Z., Socas, M. *et al* 2005, "Reliability of the Spanish version of a brief questionnaire on patient satisfaction with gastrointestinal endoscopy", *Revista Española de Enfermedades Digestivas*, vol. 97, no. 8, pp. 554-661.

- Sandberg ML, Sandberg MK y Dahl J 2007, "Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation", *Physical Therapy*, vol. 87, no. 8, pp. 1047-1055.
- Sandkühler, J., Chen, J.G., Cheng, G. y Randić, M. 1997, "Low-frequency stimulation of afferent Adelta-fibers induces long-term depression at primary afferent synapses with substantia gelatinosa neurons in the rat", *The Journal Of Neuroscience*, vol. 17, no. 16, pp. 6483-6491.
- Sato, A., Sato, Y. y Schmidt, R.F. 1997, "The impact of somatosensory input on autonomic functions", *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, vol. 130, pp. 1-328.
- Schiøtz HA, Jettestad M y Al-Heeti D 2007, "Treatment of dysmenorrhoea with a new TENS device (OVA)", *Journal Of Obstetrics And Gynaecology*, vol. 27, no. 7, pp. 726-728.
- Schmidt, T.D. 2004, "Colonoscopy". En *Encyclopedia of Gastroenterology*, Leonard Johnson ed., Elsevier, Nueva York, pp. 449-456.
- Seidman, H., Mushinski, M.H., Gelb, S.K. y Silverberg, E. 1985, "Probabilities of eventually developing or dying of cancer--United States, 1985", *A Cancer Journal for Clinicians*, vol. 35, no. 1, pp. 36-56.
- Shealy, C.N., Mortimer, J.T. y Reswick, J.B. 1967, "Electrical inhibition of pain by stimulation of the dorsal columns: preliminary clinical report", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 46, no. 4, pp. 489-491.
- Sherry JE, Oehrlein KM, Hegge KS y Morgan BJ 2001, "Effect of burst-mode transcutaneous electrical nerve stimulation on peripheral vascular resistance", *Physical Therapy*, vol. 81, no. 6, pp. 1183-1191.
- Shimoji, K., Takahashi, N., Nishio, Y., Koyanagi, M. y Aida, S. 2007, "Pain relief by Transcutaneous Electric Nerve Stimulation with bidirectional modulated sine waves in patients with chronic back pain: a randomized, double-blind, sham-controlled study", *Neuromodulation*, vol. 10, no. 1, pp. 42-51.

- Sica, R.E., McComas, A.J. y Upton, A.R. 1971, "Impaired potentiation of H-reflexes in patients with upper motoneurone lesions", *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, vol. 34, no. 6, pp. 712-717.
- Sikiru, L., Shmaila, H. y Muhammed, S.A. 2008, "Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in the symptomatic management of chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome: a placebo-control randomized trial", *International Brazilian Journal Urology*, vol. 34, no. 6, pp. 708-713.
- Simorgh, L., Torkaman, G. y Firoozabadi, S.M. 2008, "Effects of tripolar TENS on slow and fast motoneurons: a preliminary study using H-reflex recovery curve method", *Electromyography and Clinical Neurophysiology*, vol. 48, no. 6-7, pp. 301-309.
- Sjolund, B.H. 1988, "Peripheral nerve stimulation suppression of C-fiber-evoked flexion reflex in rats. Part 2: Parameters of low-rate train stimulation of skin and muscle afferent nerves", *Journal of Neurosurgery*, vol. 68, no. 2, pp. 279-283.
- Sluka, K.A., Deacon, M., Stibal, A., Strissel, S. y Terpstra, A. 1999, "Spinal blockade of opioid receptors prevents the analgesia produced by TENS in arthritic rats", *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, vol. 289, no. 2, pp. 840-846.
- Sluka, K.A., Bailey, K., Bogush, J., Olson, R. y Ricketts, A. 1998, "Treatment with either high or low frequency TENS reduces the secondary hyperalgesia observed after injection of kaolin and carrageenan into the knee joint", *Pain*, vol. 77, no. 1, pp. 97-102.
- Sluka, K.A., Vance, C.G.T. y Lisi, T.L. 2005, "High-frequency, but not low-frequency, transcutaneous electrical nerve stimulation reduces aspartate and glutamate release in the spinal cord dorsal horn", *Journal of Neurochemistry*, vol. 95, no. 6, pp. 1794-1801.

Sluka, K.A. y Chandran, P. 2002, "Enhanced reduction in hyperalgesia by combined administration of clonidine and TENS", *Pain*, vol. 100, no. 1-2, pp. 183-190.

Sluka, K.A., Lisi, T.L. y Westlund, K.N. 2006, "Increased release of serotonin in the spinal cord during low, but not high, frequency transcutaneous electric nerve stimulation in rats with joint inflammation", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 87, no. 8, pp. 1137-1140.

Sluka, K.A. y Walsh, D. 2003, "Transcutaneous electrical nerve stimulation: basic science mechanisms and clinical effectiveness", *The Journal of Pain: Official Journal of the American Pain Society*, vol. 4, no. 3, pp. 109-121.

Solomon, R.A., Viernstein, M.C. y Long, D.M. 1980, "Reduction of postoperative pain and narcotic use by transcutaneous electrical nerve stimulation", *Surgery*, vol. 87, no. 2, pp. 142-146.

Somers, D.L. y Somers, M.F. 1999, "Treatment of neuropathic pain in a patient with diabetic neuropathy using transcutaneous electrical nerve stimulation applied to the skin of the lumbar region", *Physical Therapy*, vol. 79, no. 8, pp. 767-775.

Somers, D.L. y Clemente, F.R. 2006, "Transcutaneous electrical nerve stimulation for the management of neuropathic pain: the effects of frequency and electrode position on prevention of allodynia in a rat model of complex regional pain syndrome type II", *Physical Therapy*, vol. 86, no. 5, pp. 698-709.

Somers, D.L. y Clemente, F.R. 2009, "Contralateral high or a combination of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation reduces mechanical allodynia and alters dorsal horn neurotransmitter content in neuropathic rats", *The Journal of Pain*, vol. 10, no. 2, pp. 221-229.

- Somers, D.L. y Clemente, F.R. 2003, "The relationship between dorsal horn neurotransmitter content and allodynia in neuropathic rats treated with high-frequency transcutaneous electric nerve stimulation", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 84, no. 11, pp. 1575-1583.
- Somers, D.L. y Clemente, F.R. "Contralateral high or a combination of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation reduces mechanical allodynia and alters dorsal horn neurotransmitter content in neuropathic rats", *The Journal of Pain*, vol. In Press, Corrected Proof.
- Steine, S. 1994, "Which hurts the most? A comparison of pain rating during double-contrast barium enema examination and colonoscopy", *Radiology*, vol. 191, no. 1, pp. 99-101.
- Svensson, M.H., Svensson, E., Lasson, A. y Hellström, M. 2002, "Patient acceptance of CT colonography and conventional colonoscopy: prospective comparative study in patients with or suspected of having colorectal disease", *Radiology*, vol. 222, no. 2, pp. 337-345.
- Takahashi, Y., Tanaka, H., Kinjo, M. y Sakumoto, K. 2005a, "Prospective evaluation of factors predicting difficulty and pain during sedation-free colonoscopy", *Diseases of the Colon y Rectum*, vol. 48, no. 6, pp. 1295-1300.
- Takahashi, Y., Tanaka, H., Kinjo, M. y Sakumoto, K. 2005b, "Sedation-free colonoscopy", *Diseases of the Colon y Rectum*, vol. 48, no. 4, pp. 855-859.
- Taylor, P., Hallett, M. y Flaherty, L. 1981, "Treatment of osteoarthritis of the knee with transcutaneous electrical nerve stimulation", *Pain*, vol. 11, no. 2, pp. 233-240.
- Taylor, S.A., Halligan, S., Saunders, B.P., Bassett, P., Vance, M. *et al* 2003, "Acceptance by patients of multidetector CT colonography compared with barium enema examinations, flexible sigmoidoscopy, and

colonoscopy", *American Journal of Roentgenology*, vol. 181, no. 4, pp. 913-921.

Thiis-Evensen, E., Hoff, G.S., Sauar, J., Langmark, F., Majak, B.M. y *et al* 1999, "Population-based surveillance by colonoscopy: effect on the incidence of colorectal cancer. Telemark Polyp Study I", *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, vol. 34, no. 4, pp. 414-420.

Tinazzi M, Zarattini S, Valeriani M, Romito S, Farina S, *et al* 2005, "Long-lasting modulation of human motor cortex following prolonged transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) of forearm muscles: evidence of reciprocal inhibition and facilitation", *Experimental Brain Research*, vol. 161, no. 4, pp. 457-464.

Tong, K.C., Lo, S.K. y Cheing, G.L. 2007, "Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation: does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds?", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 88, no. 10, pp. 1344-1349.

Tsai, M.S., Su, Y.H., Liang, J.T., Lai, H.S. y Lee, P.H. 2008, "Patient factors predicting the completion of sedation-free colonoscopy", *Hepato-Gastroenterology*, vol. 55, no. 86-87, pp. 1606-1608.

Unterrainer, A.F., Friedrich, C., Krenn, M.H., Piotrowski, W.P., Golaszewski, S.M. *et al* 2010, "Postoperative and preincisional electrical nerve stimulation TENS reduce postoperative opioid requirement after major spinal surgery", *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*, vol. 22, no. 1, pp. 1-5.

Vance, C.G.T., Radhakrishnan, R., Skyba, D.A. y Sluka, K.A. 2007, "Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation at both high and low frequencies reduces primary hyperalgesia in rats with joint inflammation in a time-dependent manner", *Physical Therapy*, vol. 87, no. 1, pp. 44-51.

- Wall, P.D. y Sweet, W.H. 1967, "Temporary abolition of pain in man", *Science*, vol. 155, no. 758, pp. 108-109.
- Walsh DM, Lowe AS, McCormack K, Willer JC, Baxter GD *et al* 1998, "Transcutaneous electrical nerve stimulation: effect on peripheral nerve conduction, mechanical pain threshold, and tactile threshold in humans", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 79, no. 9, pp. 1051-1058.
- Walsh, D. 1997, *TENS. Clinical applications and related theory*, Churchill Livingstone, New York.
- Walsh, D.M. 1996, "Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture points", *Complementary Therapies in Medicine*, vol. 4, no. 2, pp. 133-137.
- Walsh, D.M., Foster, N.E., Baxter, G.D. y Allen, J.M. 1995, "Transcutaneous electrical nerve stimulation. Relevance of stimulation parameters to neurophysiological and hypoalgesic effects", *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 74, no. 3, pp. 199-206.
- Walsh, D.M., Howe, T.E., Johnson, M.I. y Sluka, K.A. 2009, "Transcutaneous electrical nerve stimulation for acute pain", *Cochrane Database of Systematic Reviews (Online)*, vol. 2, no. 2, pp. CD006142.
- Walsh, D.M. 2003, "The Evolution of Tens", *Hong Kong Physiotherapy Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 1-4.
- Wang, B., Tang, J., White, P.F., Naruse, R., Sloninsky, A., *et al* 1997, "Effect of the intensity of transcutaneous acupoint electrical stimulation on the postoperative analgesic requirement", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 85, no. 2, pp. 406-413.
- Warfield, C.A., Stein, J.M. y Frank, H.A. 1985, "The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain after thoracotomy", *The Annals of Thoracic Surgery*, vol. 39, no. 5, pp. 462-465.

- Weber-Muller, F., Reichert-Penetrat, S., Schmutz, J.L. y Barbaud, A. 2004, "Contact dermatitis from polyacrylate in TENS electrode", *Annales de Dermatologie et de Venereologie*, vol. 131, no. 5, pp. 478-480.
- White, P.F., Craig, W.F., Vakharia, A.S., Ghoname, E., Ahmed, H.E. *et al* 2000, "Percutaneous neuromodulation therapy: does the location of electrical stimulation effect the acute analgesic response?", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 91, no. 4, pp. 949-954.
- White, P.F., Ghoname, E.A., Ahmed, H.E., Hamza, M.A., Craig, W.F. *et al* 2001, "The effect of montage on the analgesic response to percutaneous neuromodulation therapy", *Anesthesia and Analgesia*, vol. 92, no. 2, pp. 483-487.
- Winawer, S., Fletcher, R., Rex, D., Bond, J., Burt, R., *et al* 2003, "Colorectal cancer screening and surveillance: clinical guidelines and rationale-update based on new evidence", *Gastroenterology*, vol. 124, no. 2, pp. 544-560.
- Wolff, W.I. y Shinya, H. 1971, "Colonofiberoscopy", *Journal of the American Medical Association*, vol. 217, no. 11, pp. 1509-1512.
- Woolf, C.J., Mitchell, D. y Barrett, G.D. 1980, "Antinociceptive effect of peripheral segmental electrical stimulation in the rat", *Pain*, vol. 8, no. 2, pp. 237-252.
- Wright, A. y Sluka, K.A. 2001, "Nonpharmacological treatments for musculoskeletal pain", *The Clinical Journal of Pain*, vol. 17, no. 1, pp. 33-46.
- Wu, C.W., Seo, H.J. y Cohen, L.G. 2006, "Influence of electric somatosensory stimulation on paretic-hand function in chronic stroke", *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 87, no. 3, pp. 351-357.
- Xing, J., Larive, B., Mekhail, N. y Soffer, E. 2004, "Transcutaneous electrical acustimulation can reduce visceral perception in patients with

- the irritable bowel syndrome: a pilot study", *Alternative Therapies in Health and Medicine*, vol. 10, no. 1, pp. 38-42.
- Xu, G.Y., Winston, J.H. y Chen, J.D. 2009, "Electroacupuncture attenuates visceral hyperalgesia and inhibits the enhanced excitability of colon specific sensory neurons in a rat model of irritable bowel syndrome", *Neurogastroenterology and Motility*, vol. 21, no. 12, pp. 1302-e125.
- Yan, T. y Hui-Chan, C.W. 2009, "Transcutaneous electrical stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute stroke: a randomized controlled trial", *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 41, no. 5, pp. 312-316.
- Yau, K.K., Cheung, H.Y.S., Wong, D.C.T., Chung, C.C. y Li, M.K.W. 2007, "Towards painless colonoscopy: a double blind randomized controlled trial on carbon dioxide insufflation colonoscopy", *Surgical Practice*, vol. 11, no. 2, pp. 871-874.
- Zhang, Y., Ji, G., Wu, G. y Zhao, Z. 2002, "Excitatory amino acid receptor antagonists and electroacupuncture synergetically inhibit carrageenan-induced behavioral hyperalgesia and spinal fos expression in rats", *Pain*, vol. 99, no. 3, pp. 525-535.

Anexos

Artículos publicados

Consentimiento informado



Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) during unsedated colonoscopy: A randomized double-blind placebo-controlled trial

J.J. Amer-Cuenca^{a,*}, C. Goicoechea^b, A. Girona-López^c, J.L. Andreu-Plaza^d, R. Palao-Román^d, G. Martínez-Santa^c, J.F. Lisón^a

^a Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad CEU-Cardenal Herrera, Moncada, Valencia, Spain

^b Departamento de Farmacología y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid, Spain

^c Unidad de Fisioterapia. Hospital Virgen del Castillo, Yecla, Murcia, Spain

^d Área Medicina Interna. Hospital Virgen del Castillo, Yecla, Murcia, Spain

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 January 2010

Received in revised form 5 May 2010

Accepted 10 May 2010

Available online 9 June 2010

Keywords:

Pain

Transcutaneous electric nerve stimulation

Colonoscopy

Randomized control trial

ABSTRACT

Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) is a noninvasive alternative to traditional pain treatments. TENS has been studied in the past as a pain reduction modality in colonoscopy with limited success. Reviews and meta-analysis have shown that the inconclusive results of TENS may be due to the lack of randomized controlled trials and the difficulty in defining precise output parameters. The objective of this double-blind randomized placebo-controlled trial was to investigate the pain-relieving effect of a new application of TENS in unsedated screening colonoscopy. Ninety patients undergoing unsedated screening colonoscopy were randomly allocated to one of three groups: a control group ($n = 30$), a group to receive active TENS ($n = 30$), or a group to receive placebo TENS ($n = 30$). A visual analogue scale (VAS) and a five-point Likert scale were used to assess pain 5 min into the procedure and at the end of the procedure. The patient's bloating sensation during colonoscopy and the effect on the duration of the procedure were also evaluated. Throughout the procedure, the active TENS group experienced a VAS pain score reduction $\geq 50\%$ compared to the placebo TENS group ($P < 0.001$) and the control group ($P < 0.001$). On the five-point Likert scale, there was also a significant reduction in pain score in the active TENS group compared to the placebo TENS and control groups ($P = 0.009$). No significant differences were found between the study groups as to the bloating sensation and the duration of the procedure. We conclude that TENS can be used as a pain relief therapy in unsedated screening colonoscopy.

© 2010 European Federation of International Association for the Study of Pain Chapters. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) is the delivery of pulsed electrical currents through the skin, using surface electrodes. It is a noninvasive alternative to traditional pain treatments such as drugs and surgery, which often have serious side effects (Bélanger, 2003). TENS has been largely used to treat both chronic (Carroll et al., 2001; Johnson and Martinson, 2007) and acute pain (Walsh et al., 2009; Bjordal et al., 2003), even from visceral organs (Mora et al., 2006; De Angelis et al., 2003; Xing et al., 2004). Many TENS clinical studies have been carried out since the 1970s, some showing that TENS is effective in relieving pain (Rakel and Frantz, 2003; Chao et al., 2007) and others showing the opposite (Lewis et al., 1994; Thompson et al., 2008). Reviews and meta-

analysis have shown that the inconclusive results of TENS may be due both to the lack of randomized controlled trials (RCTs) and the difficulty in defining accurate output parameters (Fernandez-Del-Olmo et al., 2008). The latter include the frequencies, intensities, pulse durations and its application sites; their variation causes different physiological effects (Johnson and Martinson, 2007; Walsh et al., 2009; DeSantana et al., 2008c). Recently, several studies have begun to elucidate the basic scientific mechanism of TENS (Gopalkrishnan and Sluka, 2000; Kalra et al., 2001; Hingne and Sluka, 2007; DeSantana et al., 2008b). The application of specific TENS parameters may produce a better pain-relieving effect in some conditions where TENS previously failed to show benefits.

Colonoscopy is the most commonly performed colorectal screening procedure in colorectal cancer screening (Harris et al., 2007). However, colonoscopy is considered an uncomfortable and often painful procedure (Salmon et al., 1994). Most centers currently use premedication to achieve sedation during colonoscopy. Previous studies have reported that the use of drugs increases both the cost and the complications derived from colonoscopy (Eckardt

* Corresponding author. Address: Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad CEU-Cardenal Herrera, Ed. Seminario s/n, 46113 Moncada, Valencia, Spain. Tel.: +34 96 136 90 00; fax: +34 96 139 52 72.

E-mail address: juanjoamer@uch.ceu.es (J.J. Amer-Cuenca).

et al., 1999; Gasparovic et al., 2003; Takahashi et al., 2005; LEUNG et al., 2007). The practice of the nonstandard unsedated option minimizes the costs and the complications of colonoscopy (Leung et al., 2008). However, in unsedated patients, discomfort is the major limitation to cecal intubation. Methods for optimizing colonoscopy performance without routine sedation need further research assessment (Leung, 2009). TENS has been studied in the past as a pain reduction modality in screening endoscopy, but its success as such has been limited (Robinson et al., 2001; Fanti et al., 2003; Limoges and Rickabaugh, 2004; Hruby et al., 2006).

The objective of this double-blind randomized placebo-controlled trial was to compare the pain-relieving effect of a specific application of TENS vs. placebo TENS and control during unsedated screening colonoscopy.

2. Methods

2.1. Participants

Ninety consecutive patients scheduled to undergo unsedated screening colonoscopy in Yecla Hospital (Spain) were included in this study. The inclusion criteria were (1) attending an unsedated screening colonoscopy; (2) ASA I or II physical status, according to American Society of Anesthesiology (Fanti et al., 2003); (3) age above 18 (Fanti et al., 2003); (4) no visual or hearing impairments; (5) no neuropsychiatric disorders (Fanti et al., 2003).

Exclusion criteria were (1) refusal to sign the informed consent form; (2) nonSpanish speakers; (3) previous colonic resection and known or suspected stenosis of the colon (Fanti et al., 2003); (4) previous experience in TENS (De Angelis et al., 2003; Robinson et al., 2001); (5) cutaneous damage on the application sites (Limoges and Rickabaugh, 2004); (6) pacemakers or automatic implanted cardiac defibrillators (Limoges and Rickabaugh, 2004) and (7) chronic or preprocedural use of opioids or psychoactive drugs (Hruby et al., 2006).

The study was approved by the Hospital Ethical Committee and all patients signed an informed consent form. Upon enrolment in the study, the subjects were assigned to the active TENS ($n = 30$), placebo TENS ($n = 30$) or control ($n = 30$) group, using a computer-generated randomization procedure. A blocking randomization with stratification of gender was used to generate a balanced group assignment after every six participants. Neither the colonoscopy medical staff nor the participants knew to which group any subject was assigned.

The desired sample size was calculated by an external researcher not involved in the procedures, and therefore blind to the intervention. The calculation was based on the pain intensity mean and standard deviation of the first 20 subjects included in the study. A pain reduction of the visual analogue scale (VAS) score from the control group $\geq 50\%$ was defined as significant. An $\alpha = 0.05$ and power = 95% required a sample size of 30 subjects per group.

2.2. Procedures

All colonoscopies were carried out using Fujinon's EC-250HL5 standard-diameter colonoscope by an experienced endoscopist (between 400 and 450 cases annually) who was blind to the study.

The evaluation of the placebo treatment to discern the true efficiency of active TENS treatment is essential, as in some TENS studies sham TENS has achieved similar results to active TENS (Oosterhof et al., 2008; Razavi and Jansen, 2004). To achieve blinding in the placebo group, subjects were told that TENS treatment would produce analgesia but no sensation, and were connected to the TENS unit in exactly the same way as the subjects in the ac-

tive TENS group, with the unit emitting the active indicator light and sound, but delivering no electrical stimulation (Limoges and Rickabaugh, 2004; DeSantana et al., 2008a). In TENS studies, investigator blinding can be achieved by separating investigators who allocate treatment from those who assess outcomes (Rakel et al., 2010). In this study two research physical therapists were involved. Researcher 1 placed the electrodes and programmed the TENS unit and was the only researcher who knew if TENS was active or in placebo mode. Researcher 2 was responsible for the patients' outcome assessment, entering the colonoscopy room only to assess outcomes, and not being able to see if patients were connected to the TENS unit. Patients were instructed to say nothing if they had any sensations related to TENS to Researcher 2 in order to avoid bias. The effectiveness of the blinding strategy in this particular study is not known, but we found no evidence throughout the entire procedure suggesting patient or observer bias.

Subjects in the control group only received hospital standard protocol for unsedated colonoscopies, performing colonoscopy without any kind of sedation or analgesia.

2.3. TENS apparatus and treatment

The TENS unit used in this research was the Intellect Advance, Chattanooga Group (Hixson, USA) emitting, in the active TENS group, symmetrical, balanced, biphasic square waveform at a mixed stimulating frequency randomly varying between 80 and 100 Hz, with a pulse duration of 400 μ s. TENS therapy was applied from the beginning of the colonoscopy and for the duration of the procedure. Two autoadhesive electrodes (7 cm \times 13 cm rectangle) were placed parallel to the lumbosacral spinal cord at the L1-S3 level, the approximate innervations of the pelvic, lumbar colonic and hypogastric nerves, which innervate the colon (Limoges and Rickabaugh, 2004; Gebhart, 2000). The intensity (amplitude) was individually adjusted to each participant's maximum sensory level (strongest tingling sensation but no painful and no muscle contraction) (Radhakrishnan and Sluka, 2005; Ristic et al., 2008). Patients were informed about the accommodation that would occur during the treatment producing a decrease in the sensation. Patients were also informed about the importance of keeping the stimulation at a maximum non-painful level. Thus, intensity was increased during the treatment every time the patient accommodated to the TENS stimulus. Although this method of determining the level of intensity will result in a variation in delivered amplitude between participants, it is consistent with previous literature and clinical practice (Bjordal et al., 2003; Radhakrishnan and Sluka, 2005; Ristic et al., 2008; Claydon et al., 2008; Tong et al., 2007).

2.4. Assessment

The primary outcome variable was the patients' global assessment of the pain perceived during colonoscopy. The scale used was a continuous, horizontal, visual analogue scale (VAS), were 0 was "no pain" and 100 was "worst possible pain" (0–100 mm line). Subjects were asked to mark the line with a cross somewhere between both extremes that best reflected their sensation. A discrete, five-point, verbal Likert scale, with the eligible alternatives No Pain, Minimal Pain, Moderate Pain, Severe Pain, Worst Possible Pain was also used to assess the internal consistency of pain rating within the study (Bolognese et al., 2003). The scores were obtained using a laminated A4 size sheet with the descriptors displayed in large print. Subjects could point the categories of pain response or could choose to hear them read aloud by Researcher 2. The subjects were asked to point or state which category described their level of pain with the greatest accuracy. The use of descriptions of each level of response in verbal rating scales is preferred over

descriptive anchoring at only the ends because the latter tends to increase variability by distributing the responses towards the ends of the scale. For analysis, the responses were given numeric values 0–4, respectively (Bolognese et al., 2003). Both scales were categorized with the same anchors “No pain” and “Worst Possible Pain” in order to allow subjects to focus on rating their pain intensity rather than choosing preferred anchors (Kremer et al., 1981). VAS and Likert-type scales have been widely used to assess pain intensity, and many studies have shown that both are valid and reliable (Briggs and Closs, 1999; Price et al., 1994). Their responses are highly correlated, and both scales generate similar precision when comparing active treatments to placebo (Bolognese et al., 2003). Another VAS was also used to measure the patients’ bloating sensation (from 0, No Bloating, to 100, Maximum Bloating Sensation) (Xing et al., 2004; Limoges and Rickabaugh, 2004). The investigator (Researcher 2) who assessed the scales was blind to the subjects’ group category. In order to avoid bias due to distraction the evaluations were carried out punctually only at two time points: 5 min into the colonoscopy procedure and at the end of it. The evaluation at the first time point was chosen to assess the TENS onset effect within the first moments of colonoscopy, since in our study, in contrast to previous TENS studies (Robinson et al., 2001; Fanti et al., 2003), a pre-procedure TENS stimulation was not applied. At the end of the colonoscopy, whilst TENS was still being applied, patients were asked to mark their overall evaluation of the procedure (Redelmeier et al., 2003).

During all colonoscopies, any unusual or adverse events were recorded, including nausea, tachycardia, skin allergy, pain or burning at the electrode site (active TENS and placebo TENS groups only).

The primary outcome was a decrease $\geq 50\%$ in the rate of pain VAS score of the TENS group compared to the control group. The secondary outcomes were the patient’s pain verbal rating on a

five-point Likert scale, the bloating sensation and the effect on the total procedure time.

2.5. Statistical analysis

The statistical analysis was done according to intention to treat, so all the analysis have been made according to the randomization number of participants regardless the potentially subsequent protocol violation. The statistical methods to calculate intergroup and intragroup differences, as well as associations between variables, were one-way ANOVA for continuous variables, followed by Tukey’s post hoc test and χ^2 test for proportional variables. Spearman’s correlation coefficients between the VAS and Likert scales were analyzed to assess the relationship strength between the two scales. $P < 0.05$ was considered significant. Initially, differences between genders were analyzed, and since no differences were found, all data were pooled. The statistical analysis was performed using SPSS version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

3. Results

3.1. Subject characteristics and trial profile

Ninety-three patients were enrolled in this clinical trial. Three subjects were not included in the sample due to previous experience with TENS ($n = 1$), postoperative scars at the electrode placement ($n = 1$) and linguistic inability to understand the written informed consent ($n = 1$). Ninety subjects were randomly assigned to one of three groups: active TENS, placebo TENS or control. Fig. 1 depicts the trial profile. No significant differences were found among the three groups regarding age, gender, weight, height, body mass index and previous experience in colonoscopy (Table 1).

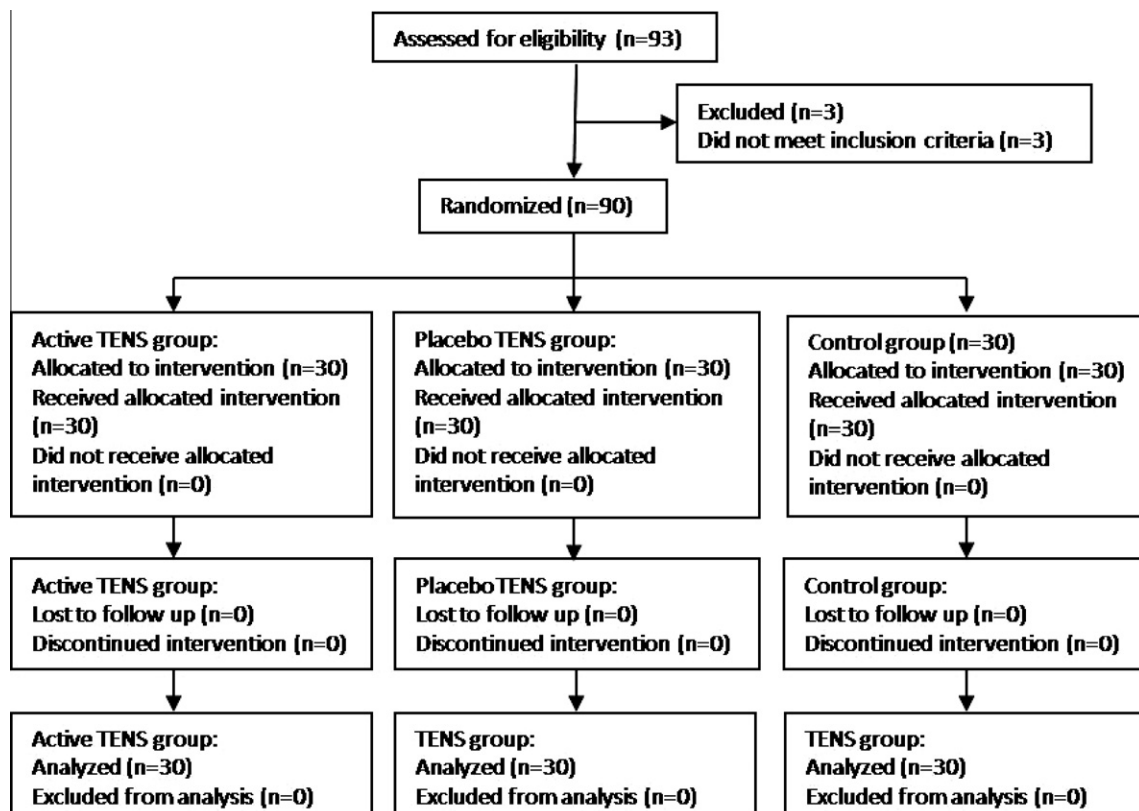


Fig. 1. Trial profile.

Table 1
Patient characteristics.

Characteristic	Group			P
	TENS (n = 30)	Placebo TENS (n = 30)	Control (n = 30)	
Age (years, mean [SD])	49.5 (2.4)	51.3 (2.5)	49.9 (2.4)	0.86
Women/men	14/16	19/11	17/13	0.42
Weight (mean [SD])	75 kg (15)	73 kg (17)	67 kg (11)	0.12
Body height (mean [SD])	166 cm (9)	162 cm (9)	165 cm(6)	0.11
Body mass index (normal/overweight)	10/20	13/17	16/14	0.32
Previous experience in colonoscopy (yes/no)	5/25	6/24	9/21	0.36

3.2. Pain outcomes

After 5 min of starting the colonoscopy, while the mean pain intensity measured by VAS score was not different between the placebo TENS and control groups (5 min, placebo TENS vs. control: 57.3 [±27.9] vs. 49.1 [±31.6], $P=0.482$), the active TENS group scored more than 50% lower than the placebo TENS and control groups (5 min, 24.6 [±24.6], TENS vs. placebo TENS $P<0.001$, TENS vs. control $P<0.001$). The number of individual subjects who reached the primary outcome measure (>50% pain relief) at 5 min were: TENS 19/30, placebo TENS 5/30, control 7/30 ($P<0.001$). At the end of the procedure, the active TENS group also showed a reduction >50% of VAS score compared to the placebo TENS and control groups (end, TENS: 26.5 [±24.7], placebo TENS: 61.9 [±23.2], control: 54.7 [30.1], TENS vs. placebo TENS $P<0.001$, TENS vs. control $P<0.001$). The differences of VAS score between the placebo TENS and control groups at the end of the colonoscopy remained not significant (end, placebo TENS vs. control $P<0.533$). The number of individual subjects who reached the primary outcome measure (>50% pain relief) at the end of the procedure were: TENS 17/30, placebo TENS 3/30, control 6/30 ($P<0.001$). The differences of VAS score intragroups did not vary from the beginning to the end of the colonoscopy ($P=0.093$). Fig. 2 depicts the differences in VAS score.

Regarding pain outcomes according to the five-point Likert scale score, there were also significant differences between the active TENS group compared to the placebo TENS and control groups ($P=0.009$). The five-point Likert scale of pain outcome data are depicted in Table 2. The number of subjects scoring >2 (Severe Pain or Worst Possible Pain) in the active TENS group was only 3, either 5 min after the beginning or at the end (3/30 [10%]), while in the placebo TENS and control groups, this number was significantly higher ($P=0.009$). On the other hand, the number of subjects scoring <2 (Minimal or No Pain) was significantly higher ($P=0.009$) in the active TENS group (5 min: 16/30 [53%], end: 12/30 [40%]) than in the placebo TENS and control groups (5 min: 5/30 [17%], end 3/30 [10%]).

There was a strong correlation between VAS and Likert scales in measuring pain; Spearman's rank correlation coefficient for the VAS and five-point Likert scale was 0.803, $P<0.001$, at the first 5 min assessment and 0.781, $P<0.001$, at the end of procedure assessment.

3.3. Bloating and procedure outcomes

No significant differences were found between the study groups as to the bloating sensation produced during colonoscopy (Table 3). At both assessment time points, the subjects in the active TENS group scored lower on the bloating VAS than the placebo TENS or control groups, but the reduction was not significant. Application of TENS did not result in significant difference in the duration of

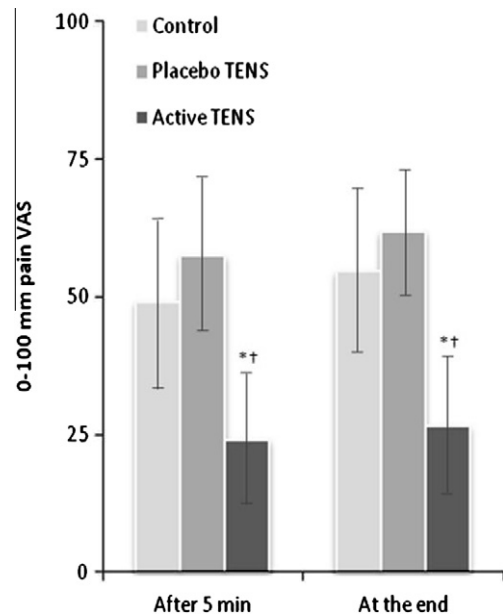


Fig. 2. Pain VAS score. * $P<0.001$: active TENS vs. placebo TENS. † $P<0.001$: active TENS vs. control. Bars show the mean ± standard deviation of the VAS score reported by the patients undergoing unsedated control colonoscopy (light grey), unsedated colonoscopy under placebo TENS (dark grey), or under active TENS (black bars), at the beginning (5 min) and at the end of the procedure.

Table 2
Five-point Likert scale of pain outcome.

Values ^a	TENS Group		Placebo TENS Group		Control Group	
	5 min	End	5 min	End	5 min	End
0	4/30 (13%)	2/30 (7%)	2/30 (7%)	0/30 (0%)	2/30 (7%)	2/30 (7%)
1	12/30 (40%)	10/30 (33%)	3/30 (10%)	3/30 (10%)	3/30 (10%)	1/30 (3%)
2	11/30 (37%)	15/30 (50%)	9/30 (30%)	7/30 (23%)	12/30 (40%)	13/30 (43%)
3	3/30 (10%)	3/30 (10%)	15/30 (50%)	18/30 (60%)	13/30 (43%)	12/30 (40%)
4	0/30 (0%)	0/30 (0%)	1/30 (3%)	2/30 (7%)	0/30 (0%)	2/30 (7%)

^a Answering options for the Likert scale, 0 = No Pain, 1 = Minimal Pain, 2 = Moderate Pain, 3 = Severe Pain, 4 = Worst Possible Pain.

Table 3
Outcomes parameters according to randomization group.

Outcome parameter	Group			P
	TENS	TENS placebo	Control	
Bloating VAS score after 5 min of procedure (mean [SD])	34.00 (23.40)	51.33 (25.37)	35.97 (27.38)	0.056
Bloating VAS score at the end of procedure (mean [SD])	42.40 (27.15)	55.17 (23.51)	49.70 (29.15)	0.159
Total procedure time (minutes, mean [SD])	17 (6)	17 (8)	20 (8)	0.354

P values corresponding to between-group effect.

the procedure. No subject suffered from nausea or tachycardia during colonoscopy. No subject reported adverse events such as skin allergy, pain or burning at the electrode site in either active TENS or placebo TENS groups. The mean intensity in active TENS group

at the beginning of the procedure was 18 mA (range 10–39), while at the end of the colonoscopy the mean intensity increased to 60 mA (range 30–80).

4. Discussion

The purpose of the present study was to investigate the pain-relieving effect of TENS during colonoscopy. A varying high-frequency (80–100 Hz), 400 μ s, individually adjusted high intensity TENS was applied parallel to the lumbosacral spinal cord. The results of the current study show a significant decrease in pain score in the active TENS group when compared to the control and placebo TENS groups during the procedure.

Medical authorities recommend periodic screening of subjects at risk of colorectal cancer in an effort to reduce morbidity and mortality (Levin et al., 2006). Pain relief in colonoscopy is important because the procedure is highly invasive. Tractions and distention, and even reflexive muscle spasms produced by the colonoscope stimulate sensory neuroreceptors located in the colon, thereby generating visceral pain (Bielefeldt and Gebhart, 2005). Patients who perceive a test as very uncomfortable are less likely to attend the examination (Salmon et al., 1994). Thus, sedation and premedication have become a routine procedure in colonoscopies in most centers. In an observational study from 21 centers in 11 countries, Harris et al. (2007) found that in 19 centers, most (>85%) patients received combinations of different sedation methods. However, sedation is not without secondary effects, especially in the elderly and in patients suffering from cardiorespiratory disease; cost and patient's recovery time are also increased (Gasparovic et al., 2003; Takahashi et al., 2005; Leung et al., 2007). Although some authors suggest that colonoscopy without sedation or anesthesia could be satisfactory (Takahashi et al., 2005; Leung et al., 2008), individual anatomy, pain threshold and colonic sensitivity can result in unacceptable discomfort (Gasparovic et al., 2003; Fanti et al., 2003). Methods for optimizing colonoscopy performance without routine sedation are in need of research assessment (Leung, 2009). Several non-drug alternatives such as hypnosis (Elkins et al., 2006), use of small-diameter colonoscopies (Horiuchi and Nakayama, 2006), audio distraction (Leung, 2008), carbon dioxide insufflation (Yau et al., 2007) or intermittent warm-water infusion (Leung et al., 2009) have been explored to minimize discomfort during colonoscopies, with inconsistent results. Previous studies with TENS (Robinson et al., 2001; Fanti et al., 2003) failed to show benefits in pain relief during colonoscopy.

To our knowledge, this is the first study showing the effectiveness of TENS in reducing pain during colonoscopy. In a study with standard medicated colonoscopies, Robinson et al. (2001) used TENS delivered at 80 Hz and 80 μ s pulse duration, fixed slight intensity, with the electrodes positioned at the site of the greatest pain during colonoscopy (the anterior abdominal wall) and over an acupuncture point parallel to L4; no differences were found in pain severity between control, active and placebo TENS. Similarly, with the same groups, Fanti et al. (2003) found no statistically significant differences applying electroacupuncture at 100 Hz on different acupoints and at the highest bearable intensity. In neither study, the authors report sample size calculation, being 30 and 33 patients, respectively. That could explain the reported lack of statistically significant differences. In the present study, 90 patients were included, providing a power of 95%. Nevertheless, we suggest that the difference between results reported in the present study and those published in the past, may be basically related to the different methodology of TENS procedure. In our study, TENS was shown to produce a significant VAS reduction $\geq 50\%$ compared to the placebo TENS and control groups.

As claimed in recent studies, the rationale of a TENS application depends on the accurate selection of electrode position, current waveform, waveform duration, frequency and intensity. The electrode placement influences the acute analgesic response even when the same electrical current is applied (White et al., 2001). The greatest degree of pain inhibition has been shown to occur with electrodes placed within the receptive field for the nerve roots altering nociceptive transmission in the dorsal horn of the spinal cord (White et al., 2001; Sluka and Walsh, 2003). In our study, we placed two electrodes (7 cm \times 13 cm rectangle) parallel to the lumbosacral spinal cord at the L1–S3 level in order to stimulate the nerve roots at the dermatomal levels corresponding to the colon instead of placing them over acupoints (Robinson et al., 2001; Fanti et al., 2003) or directly over the site of most pain during colonoscopy (Robinson et al., 2001), as previously reported. The electrical current used in the present study was a symmetrical biphasic balanced waveform. Commercial TENS models commonly use a biphasic waveform that can be symmetrical or asymmetrical (Bélanger, 2003). Although differences in waveform characteristics do not affect the efficiency of high-frequency TENS in reducing hyperalgesia, the symmetrical biphasic balanced waveform has a zero net potential, which prevents chemical reactions from occurring in the tissue under the electrode, thereby avoiding discomfort and risks (Hingne and Sluka, 2007). Another important characteristic of the TENS pulsed current is the pulse duration. With most TENS devices, pulse duration varies between 50 and 400 μ s (Bélanger, 2003). Pulse widths greater than 100 μ s are required to induce serotonin release in the spinal cord for frequencies above 10 Hz (Sluka et al., 2006). In our study, we chose the highest duration, 400 μ s, as increasing pulse duration results in increased inhibition of dorsal horn neuron activity (Sluka and Walsh, 2003). Clinically, TENS is applied at different frequencies, classified as high frequency (>50 Hz) or low frequency (<10 Hz). Several studies support an increased effectiveness of high-frequency TENS over low-frequency TENS (Tong et al., 2007). High-frequency TENS reduces pain through both a peripheral and a central mechanism. High-frequency TENS activates δ -opioid receptors in the spinal cord (Kalra et al., 2001), the serotonergic system (Motta et al., 2002), the noradrenergic, muscarinic, and γ -aminobutyric acid (GABA)-ergic systems (DeSantana et al., 2008c). We proposed a high-frequency TENS randomly varying between 80–100 Hz based on evidence suggesting that delivering random frequencies provides superior pain relief to conventional fixed frequency TENS (Rakel and Frantz, 2003; Bloodworth et al., 2004). Regarding the intensity of high-frequency TENS, when high-intensity stimulation is delivered, a larger pain-relieving effect is observed (Claydon et al., 2008). TENS intensity levels just above subjective sensory threshold have shown in failing to produce pain-relieving effects (Bjordal et al., 2003). A high-intensity level of stimulus is needed to activate large diameter primary afferent fibers from deep tissues, which are required for the hypoalgesia produced by TENS (Radhakrishnan and Sluka, 2005; Ristic et al., 2008). Delivering a standard magnitude of current to all subjects cannot be expected to have the same sensory effect (Claydon et al., 2008). With sustained stimulation in a single treatment session, nerves begin to accommodate and a greater intensity is required to elicit an equal response. In our study, patients were instructed about the importance of keeping the stimulation at a maximum non-painful level, and encouraged to notify every decrease in their stimulus perception. Thus, intensity was individually adjusted during the treatment every time the patient reported a perceived accommodation to the TENS stimulus. The mean intensity in the active TENS group increased from 18 mA at the beginning of the procedure to 60 mA at the end of the procedure. The individual adjustment of the intensity to the maximum non-painful level and the alternating frequency are the key factors in

determining the effectiveness of the TENS stimulation with the least accommodation (Tong et al., 2007).

Previous studies in colonoscopy, using different parameters, applied TENS for 5 min (Robinson et al., 2001) and 20 min (Fanti et al., 2003) prior to colonoscopy with no significant results in pain reduction. Evidence suggests that with an accurate selection of parameters, TENS achieves pain reduction even within the first minute (Johnson and Tabasam, 2002). Applying the above mentioned parameters in our study, TENS showed a rapid onset pain-relieving effect in colonoscopy. The results of the VAS score 5 min into the procedure showed a significant decrease in VAS score (5 min: placebo TENS 57.3 [± 27.9]; control 49.1 [± 31.6]; active TENS 24.6 [± 24.6]), suggesting that pre-procedure TENS stimulation is not necessary in order to obtain pain relief within the first moments of the colonoscopy. Moreover, the pain relief effect was maintained during all the procedure (end: placebo TENS 61.9 [± 23.2] control 54.7 [30.1], active TENS 26.5 [± 24.7]). The results of this study also show a pain-selective effect of the TENS stimulus. Thus, when patients scored bloating sensation, there were no significant differences between groups. In this sense, our study concurs with previous studies which state that TENS effects were not due to nonspecific distraction. Marchand et al. (1991) found that TENS increased the pain threshold, but had no effect on non-painful stimuli. In our study, TENS had no effect on the bloating sensation, but produced a reduction in VAS score $\geq 50\%$ in the active TENS group compared to the control and placebo groups. The application of TENS during colonoscopy does not increase the duration of the procedure; in addition, TENS is comfortable, easy to use, and has no secondary effects. In our study, no subjects referred pain or burn sensation under the electrode area.

A limitation to this type of TENS studies is that, unlike the placebo and control groups, the active TENS group subjective experience of pain might have been affected by the potential distraction effect of continuously adapting stimulus intensity during the procedure. In case there is such a distraction, the quantity of this effect has not been stated in previous literature.

In this study, the primary outcome variable used was a continuous, horizontal, visual analogue pain scale (VAS 0–100 mm). The nature of VAS and which methods to analyze VAS scores are matters of controversy. A limitation in VAS use could be that the VAS assumes that pain is a one-dimensional experience and cannot represent adequately all aspects of pain perception. In relation to the statistical methods chosen, it is widely accepted that VAS, as others psychological tests, provides more information than simple rank ordering and represents data that are most appropriately analyzed by parametric techniques (Akhtar-Danesh, 2001). Consistent with previous authors (Akhtar-Danesh, 2001; Myles et al., 1999), we chose to base on a parametric method, after demonstration of normality and with a sufficient sample size in each group.

We reinforce that an accurate selection of current output parameters makes TENS a reliable therapeutic procedure. Further randomized trials with large sample sizes and new appropriate output parameters are necessary to clarify if TENS produces better effects in those conditions where inadequate TENS parameters failed to show benefits, as it has been in the case of colonoscopy. This double-blind, randomized placebo-controlled study showed that random varying high-frequency TENS, of 400 μ s duration, with intensity individually adjusted to the maximum non-painful level, and electrodes placed parallel to the lumbosacral spinal cord, resulted in significant pain relief compared to the placebo and control groups in unsedated colonoscopy. TENS may be a valid and safe option for pain relief in unsedated colonoscopy in all patients, especially the elderly and patients at cardiac risk, with whom drugs might be contraindicated. This study shows that TENS can be used as a pain relief therapy in unsedated screening colonoscopy.

Acknowledgements

The authors thank the following individuals for their contributions in reviewing the manuscript: Sara M. Matoses, Language Service, Universidad CEU-Cardenal Herrera, Valencia, Spain; Elena Ponce, Julius Pavlov and Dr. Lukasz Moskwinski, New Jersey, USA.

References

- Akhtar-Danesh N. A review of statistical methods for analysing pain measurements. *Eur J Pain* 2001;5(4):457–63.
- Bélanger AY. Transcutaneous electrical nerve stimulation. In: Anonymous evidence-based guide to therapeutic physical agents. Baltimore (MD): Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 26–65.
- Bielefeldt K, Gebhart GF. Visceral pain: basic mechanisms. In: McMahon S, Koltzenburg M, editors. Wall and Melzack's textbook of pain. fifth ed. Oxford: Churchill Livingstone; 2005. p. 741.
- Bjoridal JM, Johnson MI, Ljunggreen AE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *Eur J Pain* 2003;7(2):181–8.
- Bloodworth DM, Nguyen BN, Garver W, Moss F, Pedroza C, Tran T, et al. Comparison of stochastic vs. conventional transcutaneous electrical stimulation for pain modulation in patients with electromyographically documented radiculopathy. *Am J Phys Med Rehab* 2004;83:584–91 (0894-9115 (Print)).
- Bolognese JA, Schnitzer TJ, Ehrlich EW. Response relationship of VAS and Likert scales in osteoarthritis efficacy measurement. *Osteoarthr Cartilage* 2003;11(7):499–507.
- Briggs M, Closs JS. A descriptive study of the use of visual analogue scales and verbal rating scales for the assessment of postoperative pain in orthopedic patients. *J Pain Symptom Manage* 1999;18(6):438–46.
- Carroll D, Moore RA, McQuay HJ, Fairman F, Tramer M, Leijon G. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2001;3(3):CD003222.
- Chao AS, Chao A, Wang TH, Chang YC, Peng HH, Chang SD, et al. Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on acupuncture points during the first stage of labor: a randomized double-blind placebo-controlled trial. *Pain* 2007;127(3):214–20.
- Claydon LS, Chesterton LS, Barlas P, Sim J. Effects of simultaneous dual-site TENS stimulation on experimental pain. *Eur J Pain* 2008;12(6):696–704.
- De Angelis C, Perrone G, Santoro G, Nofroni I, Zichella L. Suppression of pelvic pain during hysterectomy with a transcutaneous electrical nerve stimulation device. *Fertil Steril* 2003;79(6):1422–7.
- DeSantana JM, Santana-Filho VJ, Guerra DR, Sluka KA, Gurgel RQ, da Silva Jr WM. Hypoalgesic effect of the transcutaneous electrical nerve stimulation following inguinal herniorrhaphy: a randomized, controlled trial. *J Pain* 2008a;9(7):623–9.
- DeSantana JM, Santana-Filho VJ, Sluka KA. Modulation between high- and low-frequency transcutaneous electric nerve stimulation delays the development of analgesic tolerance in arthritic rats. *Arch Phys Med Rehab* 2008b;89(4):754–60.
- DeSantana JM, Walsh DM, Vance C, Rakel BA, Sluka KA. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of hyperalgesia and pain. *Curr Rheumatol Rep* 2008c;10(6):492–9.
- Eckardt VF, Kanzler G, Schmitt T, Eckardt AJ, Bernhard G. Complications and adverse effects of colonoscopy with selective sedation. *Gastrointest Endosc* 1999;49(5):560–5.
- Elkins G, White J, Patel P, Marcus J, Perfect MM, Montgomery GH. Hypnosis to manage anxiety and pain associated with colonoscopy for colorectal cancer screening: case studies and possible benefits. *Int J Clin Exp Hypn* 2006;54(4):416–31.
- Fanti L, Gemma M, Passaretti S, Guslandi M, Testoni PA, Casati A, et al. Electroacupuncture analgesia for colonoscopy. A prospective, randomized, placebo-controlled study. *Am J Gastroenterol* 2003;98(2):312–6.
- Fernandez-Del-Olmo M, Alvarez-Sauco M, Koch G, Franca M, Marquez G, Sanchez JA, et al. How repeatable are the physiological effects of TENS? *Clin Neurophysiol* 2008;119(8):1834–9.
- Gasparovic S, Rustemovic N, Opacic M, Bates M, Petroveci M. Comparison of colonoscopies performed under sedation with propofol or with midazolam or without sedation. *Acta Med Austriaca* 2003;30(1):13–6.
- Gebhart GF. Visceral pain-peripheral sensitisation. *Gut* 2000;47(Suppl. 4):iv54.
- Gopalkrishnan P, Sluka KA. Effect of varying frequency, intensity, and pulse duration of transcutaneous electrical nerve stimulation on primary hyperalgesia in inflamed rats. *Arch Phys Med Rehab* 2000;81(7):984–90.
- Harris JK, Vader J, Wietlisbach V, Burnand B, Gonvers J, Froehlich F. Variations in colonoscopy practice in Europe: a multicentre descriptive study (EPAGE). *Scand J Gastroenterol* 2007;42(1):126–34.
- Hingne PM, Sluka KA. Differences in waveform characteristics have no effect on the anti-hyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in rats with joint inflammation. *J Pain* 2007;8(3):251–5.
- Horiuchi A, Nakayama Y. Unsedated ultrathin EGD by using a 5.2-mm-diameter videoscope: evaluation of acceptability and diagnostic accuracy. *Gastrointest Endosc* 2006;64(6):868–73.

- Hruby G, Ames C, Chen C, Yan Y, Sagar J, Baron P, et al. Assessment of efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation for pain management during office-based flexible cystoscopy. *Urology* 2006;67(5):914–7.
- Johnson MI, Tabasam G. A single-blind placebo-controlled investigation into the analgesic effects of interferential currents on experimentally induced ischaemic pain in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging* 2002;22(3):187–96.
- Johnson M, Martinson M. Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain* 2007;130(1–2):157–65.
- Kalra A, Urban MO, Sluka KA. Blockade of opioid receptors in rostral ventral medulla prevents antihyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *J Pharmacol Exp Ther* 2001;298(1):257–63.
- Kremer E, Atkinson JH, Ignelzi RJ. Measurement of pain: patient preference does not confound pain measurement. *Pain* 1981;10(2):241–8.
- Leung FW, Aharonian HS, Leung JW, Guth PH, Jackson G. Impact of a novel water method on scheduled unsedated colonoscopy in U.S. veterans. *Gastrointest Endosc* 2009;69(3):546–50.
- Leung FW. Methods of reducing discomfort during colonoscopy. *Dig Dis Sci* 2008;53(6):1462–7.
- Leung FW, Aharonian S, Guth PH, Jackson G, Chu SK, Nguyen BD, et al. Unsedated colonoscopy: time to revisit this option? *J Fam Pract* 2008;57(12):E1–4.
- Leung FW. The case of unsedated screening colonoscopy in the United States. *Gastrointest Endosc* 2009;69(7):1354–6.
- Leung JW, Mann S, Leung FW. Options for screening colonoscopy without sedation: a pilot study in United States veterans. *Aliment Pharmacol Ther* 2007;26(4):627–31.
- Levin B, Barthel JS, Burt RW, David DS, Ford JM, Giardiello FM, et al. Colorectal cancer screening clinical practice guidelines. *J Natl Compr Canc Netw* 2006;4(4):384–420.
- Lewis B, Lewis D, Cumming G. The comparative analgesic efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation and a non-steroidal anti-inflammatory drug for painful osteoarthritis. *Br J Rheumatol* 1994;33(5):455–60.
- Limoges MF, Rickabaugh B. Evaluation of TENS during screening flexible sigmoidoscopy. *Gastroenterol Nurs* 2004;27(2):61–8.
- Marchand S, Bushnell MC, Duncan GH. Modulation of heat pain perception by high frequency transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Clin J Pain* 1991;7(2):122–9.
- Mora B, Giorni E, Dobrovits M, Barker R, Lang T, Gore C, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation: an effective treatment for pain caused by renal colic in emergency care. *J Urol* 2006;175(5):1737.
- Motta MAd, Vasconcelos MdS, Catanho Maria Teresa de Almeida Jansen. Antinociceptive action of captopril and transcutaneous electric nerve stimulation in *Mus musculus* mice. *Clin Exp Pharmacol Physiol* 2002;29(5):464–6.
- Myles PS, Troedel S, Boquest M, Reeves M. The pain visual analog scale: is it linear or nonlinear? *Anesth Analg* 1999;89(6):1517–20.
- Oosterhof J, Samwel HJ, de Boo TM, Wilder-Smith OH, Oostendorp RA, Crul BJ. Predicting outcome of TENS in chronic pain: a prospective, randomized, placebo controlled trial. *Pain* 2008;136(1–2):11–20.
- Price DD, Bush FM, Long S, Harkins SW. A comparison of pain measurement characteristics of mechanical visual analogue and simple numerical rating scales. *Pain* 1994;56(2):217–26.
- Radhakrishnan R, Sluka KA. Deep tissue afferents, but not cutaneous afferents, mediate transcutaneous electrical nerve stimulation-induced antihyperalgesia. *J Pain* 2005;6(10):673–80.
- Rakel B, Frantz R. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain with movement. *J Pain* 2003;4(8):455–64.
- Rakel B, Cooper N, Adams HJ, Messer BR, Frey Law LA, Dannen DR, et al. A new transient sham TENS device allows for investigator blinding while delivering a true placebo treatment. *J Pain* 2010;11(3):230–8.
- Razavi M, Jansen GB. Effects of acupuncture and placebo TENS in addition to exercise in treatment of rotator cuff tendinitis. *Clin Rehab* 2004;18(8):872–8.
- Redelmeier DA, Katz J, Kahneman D. Memories of colonoscopy: a randomized trial. *Pain* 2003;104(1–2):187–94.
- Ristic D, Spangenberg P, Ellrich J. Analgesic and antinociceptive effects of peripheral nerve neurostimulation in an advanced human experimental model. *Eur J Pain* 2008;12(4):480–90.
- Robinson R, Darlow S, Wright SJ, Watters C, Carr I, Gadsby G, et al. Is transcutaneous electrical nerve stimulation an effective analgesia during colonoscopy? *Postgrad Med J* 2001;77(909):445–6.
- Salmon P, Shah R, Berg S, Williams C. Evaluating customer satisfaction with colonoscopy. *Endoscopy* 1994;26(4):342–6.
- Sluka KA, Lisi TL, Westlund KN. Increased release of serotonin in the spinal cord during low, but not high, frequency transcutaneous electric nerve stimulation in rats with joint inflammation. *Arch Phys Med Rehab* 2006;87(8):1137–40.
- Sluka KA, Walsh D. Transcutaneous electrical nerve stimulation: basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain* 2003;4(3):109–21.
- Takahashi Y, Tanaka H, Kinjo M, Sakumoto K. Sedation-free colonoscopy. *Dis Colon Rectum* 2005;48(4):855–9.
- Thompson JW, Bower S, Tyrer SP. A double blind randomised controlled clinical trial on the effect of transcutaneous spinal electroanalgesia (TSE) on low back pain. *Eur J Pain* 2008;12(3):371–7.
- Tong KC, Lo SK, Cheing GL. Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation: does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds? *Arch Phys Med Rehab* 2007;88(10):1344–9.
- Walsh DM, Howe TE, Johnson MI, Sluka KA. Transcutaneous electrical nerve stimulation for acute pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2009;2(2):CD006142.
- White PF, Ghoname EA, Ahmed HE, Hamza MA, Craig WF, Vakharia AS. The effect of montage on the analgesic response to percutaneous neuromodulation therapy. *Anesth Analg* 2001;92(2):483–7.
- Xing J, Larive B, Mekhail N, Soffer E. Transcutaneous electrical acustimulation can reduce visceral perception in patients with the irritable bowel syndrome: a pilot study. *Altern Ther Health Med* 2004;10(1):38–42.
- Yau KK, Cheung HYS, Wong DCT, Chung CC, Li MKW. Towards painless colonoscopy: a double blind randomized controlled trial on carbon dioxide insufflation colonoscopy. *Surg Pract* 2007;11(2):A1.



REVISTA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DEL DOLOR

www.elsevier.es/resed



REVISIÓN MBE

¿Qué respuesta fisiológica desencadena la aplicación de la técnica de estimulación nerviosa eléctrica transcutánea?

J.J. Amer-Cuenca^{a,*}, C. Goicoechea^b y J.F. Lisón^a

^aDepartamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad CEU-Cardenal Herrera, Moncada, Valencia, España

^bDepartamento de Farmacología y Nutrición, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Rey Juan Carlos, Alcorcón, Madrid, España

Recibido el 12 de julio de 2010; aceptado el 1 de septiembre de 2010

PALABRAS CLAVE

Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea; Revisión

Resumen

Objetivo: Revisar qué efectos fisiológicos tiene la aplicación de la técnica de estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS) sobre los pacientes, de modo que pueda servir de orientación para su correcta aplicación en la práctica clínica. La técnica TENS consiste en la aplicación de corriente eléctrica pulsada, tradicionalmente empleada con finalidad analgésica. A la hora de su utilización, los diferentes parámetros de programación del TENS deben ajustarse teniendo en cuenta que las diferentes posibilidades de programación van a activar diferentes mecanismos fisiológicos. En los últimos tiempos, se han venido realizando importantes estudios con animales y en sujetos sanos, con el fin de dilucidar qué efectos fisiológicos son los que se producen en el organismo al aplicarse TENS.

Material y métodos: Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura científica publicada sobre la utilización de la técnica TENS y sus efectos fisiológicos. Los estudios relevantes fueron identificados a través de una búsqueda en las diversas bases de datos, así como de libros de referencia en la materia, procedentes de la Biblioteca de la Universidad CEU-Cardenal Herrera de Valencia.

Resultados: Se localizaron 97 referencias que cumplieron con los criterios de inclusión.

Conclusiones: El TENS produce su efecto analgésico por la activación de las aferencias de los tejidos profundos por estimulación de las fibras aferentes primarias de gran diámetro Aβ. Los mecanismos de acción fisiológicos del TENS de alta y baja frecuencia son distintos, aunque ambos se producen a nivel periférico, espinal y supraespinal, y se basan primordialmente en la activación de distintos receptores opioides. Con la combinación de parámetros adecuada, el TENS reduce el dolor desde el primer minuto de aplicación. Respecto a la duración del efecto analgésico tras una sesión de tratamiento, se ha demostrado la importancia de emplear intensidades elevadas para conseguir una mayor duración del efecto postsesión. La aplicación repetida diariamente de TENS con los mismos

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: juanjoamer@uch.ceu.es (J.J. Amer-Cuenca).

KEYWORDS

Transcutaneous electrical nerve stimulation;
Review

parámetros produce el desarrollo de tolerancia. Aunque se ha especulado respecto a un efecto vascular de la aplicación de TENS, éste sólo tiene efecto sobre la circulación periférica aplicado a una intensidad suficiente para conseguir contracciones musculares importantes; en todo caso, el efecto es local sobre la zona de aplicación. La aplicación de TENS puede influir positivamente en la actividad muscular de pacientes con déficits motores en accidentes cerebrovasculares y otros desórdenes neurológicos.

© 2010 Sociedad Española del Dolor. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Which physiological response triggers the application of the transcutaneous electrical nerve stimulation technique?

Abstract

Purpose: To analyze the physiological effects of the application of the transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) technique on patients, to provide guidance for successful implementation in clinical practice. TENS technique involves the application of a pulsed electric current, traditionally used for pain control. Different TENS programming parameters should be adjusted, taking into account that the different programming options will activate various physiological mechanisms. Extensive studies in animals and in healthy subjects have been conducted recently, in order to elucidate the physiological effects produced in the body when TENS is applied.

Material and methods: We conducted a comprehensive review of published scientific literature on the use of the TENS technique and its physiological effects. Relevant trials were identified through a search of various databases and reference books on the subject, from the Library of the CEU-Cardenal Herrera University of Valencia.

Results: We found 97 references that met the inclusion criteria.

Conclusions: TENS produces its analgesic effect by activation of afferents of deep tissues by stimulation of primary A β large diameter afferent fibers. The physiological mechanisms of action of TENS at low and high frequency are different, although both occur at peripheral, spinal and supraspinal level, and are based primarily on the activation of different opioid receptors. With the proper combination of parameters, TENS reduces pain from the first minute of application. Regarding the duration of analgesic effect after a treatment session, it is known the importance of using higher intensities for greater duration of post-session effect. The daily repeated application of TENS with the same parameters will lead to the development of tolerance. Although there has been speculation about a vascular effect of the application of TENS, it only has an effect on peripheral circulation when applied at intensity sufficient to achieve significant muscle contractions; in any case the effect is reduced in the area of application. The application of TENS can positively influence muscle activity in patients with motor deficits in stroke and other neurological disorders.

© 2010 Sociedad Española del Dolor. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El acrónimo TENS, del inglés *transcutaneous electrical nerve stimulation*, se utiliza en la actualidad para denominar a la aplicación mediante electrodos de superficie de corriente eléctrica pulsada con finalidad analgésica¹. Así, técnicamente cualquier equipo que emita corriente eléctrica a través de la piel, mediante un par o múltiples pares de electrodos de superficie, puede recibir la denominación de TENS². Por consenso, sin embargo, el término TENS se usa cuando el principal objetivo terapéutico es la analgesia, habiéndose utilizado tanto para el tratamiento del dolor crónico^{3,4} como del dolor agudo⁵⁻⁸, incluso del dolor procedente de órganos viscerales⁹⁻¹¹. Actualmente, se puede afirmar que junto con las interferenciales, el TENS es la técnica de estimulación eléctrica más empleada como

alternativa a los tratamientos analgésicos tradicionales, tales como los farmacológicos o quirúrgicos¹².

Desde los años setenta se han venido desarrollando numerosos estudios clínicos respecto al TENS, encontrándose efectos analgésicos positivos en algunos¹³⁻¹⁵ y en otros no^{14,16,17}. Las revisiones y metaanálisis más recientes han venido a señalar que la falta de resultados concluyentes puede deberse a los problemas para diseñar ensayos clínicos aleatorizados del TENS y/o a la dificultad de definir los parámetros precisos de programación¹⁸ (frecuencia, duración del impulso, intensidad o lugar de aplicación) que van a producir efectos fisiológicos distintos^{5,19}.

La evidencia proveniente de estudios sobre estimulación axonal *in vitro* sugiere que la excitabilidad de las fibras nerviosas, y consecuentemente la activación de los mecanismos analgésicos endógenos, dependen de las características

del patrón de estimulación²⁰. Históricamente, la teoría más extendida para explicar los efectos fisiológicos del TENS se basa en la conocida como teoría de la puerta de entrada o *gate control*²¹. Según la teoría del *gate control*, la estimulación de las fibras aferentes de gran diámetro, como la producida por el TENS, inhibiría la respuesta producida por las fibras nociceptivas, al activarse las interneuronas situadas en la sustancia gris del asta posterior de la médula espinal. Numerosos estudios avalan que el efecto analgésico del TENS se produce por una inhibición a nivel espinal²²⁻²⁷. Además de a nivel espinal, la teoría del *gate control* sugería la implicación de vías supraespinales descendentes inhibitorias que modularían a las neuronas espinales. Ya en 1980, Woolf, estudiando el efecto analgésico del TENS en ratas, comprobó que tras una sección medular completa, por tanto sin influencias de vías descendentes supraespinales, aunque el TENS continuaba parcialmente produciendo analgesia, se había producido una disminución considerable de su efecto, sugiriendo que el TENS produciría su efecto inhibitorio en ambos niveles, espinal y supraespinal²⁸. Posteriormente, numerosos estudios avalan la participación de estructuras supraespinales en el mecanismo fisiológico de acción del TENS²⁹⁻³⁷. No obstante, la teórica relación entre las distintas modalidades de programación y la activación selectiva de diferentes fibras nerviosas no ha podido quedar demostrada de forma consistente en los estudios experimentales²²; posiblemente porque esta relación puede verse alterada en la práctica debido a la naturaleza no homogénea de los tejidos situados bajo los electrodos²⁰. Por todo ello, en los últimos tiempos ha habido un mayor esfuerzo investigador, con la realización de importantes estudios en animales y en sujetos sanos con el fin de dilucidar qué efectos fisiológicos son los que se producen en el organismo al aplicar TENS³⁸⁻⁴⁰.

Objetivo

A través de una revisión exhaustiva de la literatura científica publicada, determinar qué efectos fisiológicos tiene la aplicación de la técnica TENS sobre los pacientes, de modo que pueda servir de orientación para su correcta aplicación en la práctica clínica.

Material y métodos

A nivel metodológico, para la revisión bibliográfica se siguieron los siguientes pasos:

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron todos aquellos estudios que trataban sobre la utilización de la técnica TENS y sus efectos fisiológicos, aparecidos en artículos o congresos científicos. Se incluyeron en la revisión trabajos experimentales, observacionales o experiencias clínicas, tanto en humanos como en animales. Fueron excluidos, por no ser ni fisiológica ni metodológicamente comparables, los estudios basados en otras técnicas de electroterapia (microcorrientes, interferenciales, etc.).

Estrategia de búsqueda y extracción de datos

Los estudios relevantes fueron identificados a través de una búsqueda en las bases de datos *Academic Search Complete*, *Biomedical Reference Collection*, Fuente Académica Premier, MedicLatina, Medline, Cinahl, Nursing & Allied Health Collection, ISI Web of Knowledge, Embase y SportDiscus, desde la primera fecha disponible hasta enero de 2010. La estrategia de búsqueda usada para todas las bases de datos fue TENS y TRANSCUTANEOUS ELECTRIC NERVE STIMULATION combinadas mediante los operadores booleanos AND y OR con cada uno de los siguientes términos: PAIN, EXPERIMENTAL PAIN, ANALGESIA, HYPOALGESIA, HYPERALGESIA, PAIN THRESHOLD. No se impuso ninguna restricción en el lenguaje, siendo por ello que los trabajos no escritos en español o inglés también fueron incluidos. Todos los trabajos seleccionados por medio de esta estrategia de búsqueda fueron analizados por los autores, validando la elegibilidad de los estudios seleccionados. Todas las ambigüedades fueron resueltas existiendo un total acuerdo entre los autores. De los diferentes estudios experimentales incluidos se extrajeron de forma independiente los principales datos (sujetos, intervención, resultados) usando formatos de extracción de datos estandarizados. Por otra parte, se consultaron libros de referencia en la materia, procedentes de la Biblioteca de la Universidad CEU-Cardenal Herrera de Valencia, identificados como importantes y actualizados, teniendo que haber sido publicados con posterioridad al año 2000^{1,2}.

Resultados

Tras la revisión de la literatura científica se localizaron finalmente 97 referencias que cumplieron con los criterios de inclusión.

La evidencia proveniente de los estudios, tanto en modelos con animales como con sujetos sanos, nos indica que la frecuencia elegida es el parámetro que determinaría la activación de diferentes mecanismos fisiológicos periféricos y centrales^{19,33,41-43}. Según la literatura, en la elección de la frecuencia básicamente se presentan dos posibilidades: baja frecuencia (menor de 10 Hz) y alta frecuencia (mayor de 50 Hz), con efectos fisiológicos y terapéuticos distintos². No obstante, la evidencia disponible más recientemente confirma que en ambos casos la secreción de opioides endógenos es el principal mecanismo fisiológico responsable de la analgesia producida por la aplicación de TENS^{27,29,30,35,38,39,44-47}. Existen tres tipos de receptores opioides, μ , λ , κ , que están situados periféricamente, en la médula espinal y en áreas supraespinales relacionadas con las vías de inhibición descendente^{19,29,48}. En cada uno de estos tres niveles, el TENS presenta mecanismos de acción fisiológicos diferenciados (fig. 1).

Mecanismos fisiológicos periféricos

Tradicionalmente, respecto al tipo de aferencias que son estimuladas por una aplicación de TENS, la interpretación más extendida apuntaba a que el TENS produciría su efecto analgésico por la activación de las fibras nerviosas aferentes cutáneas superficiales en el emplazamiento de la aplicación.

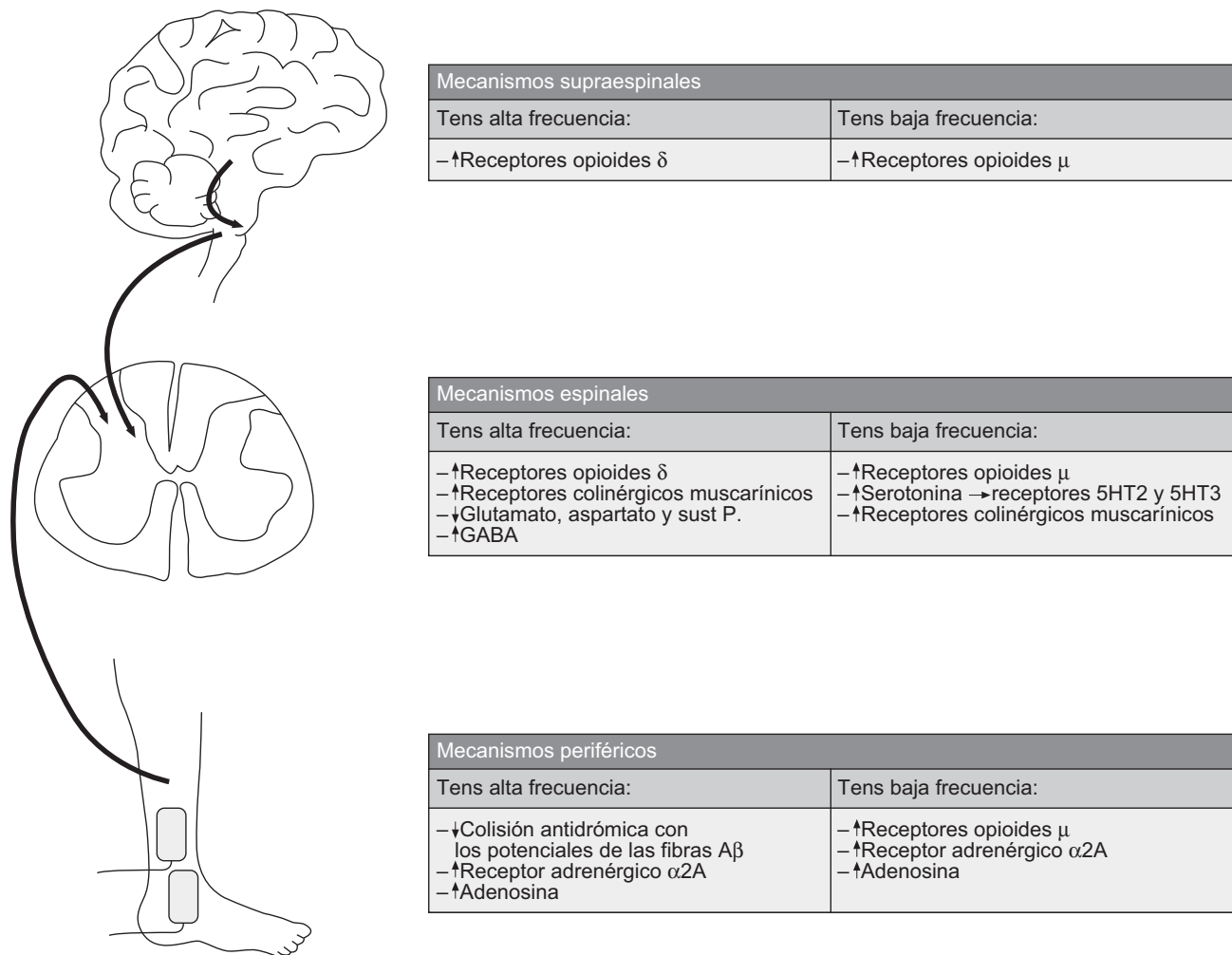


Figura 1 Mecanismos fisiológicos relacionados con el dolor activados por la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS).

Sin embargo, en un estudio de 2005 empleando anestésicos locales para bloquear selectivamente diferentes fibras aferentes, se comprobó el papel fundamental de las aferencias de los tejidos profundos en la analgesia producida por el TENS³⁴. Otro aspecto ampliamente difundido sobre los mecanismos fisiológicos del TENS apuntaba a que existe una especificidad en cuanto a la activación de distintos tipos de fibras aferentes según la modalidad TENS empleada. De este modo, el TENS de alta frecuencia activaría selectivamente las fibras aferentes de mayor diámetro A β , mientras que el TENS de baja frecuencia, aplicado a intensidades por encima del umbral motor, activaría selectivamente las fibras A λ . No obstante, mediante la evaluación de potenciales de acción en la médula espinal se ha demostrado que sólo las fibras aferentes primarias de gran diámetro A β , situadas en los tejidos profundos, se activan al aplicar TENS, tanto de alta como de baja frecuencia, con las intensidades empleadas en la práctica clínica⁴⁸.

A nivel periférico, en un principio se sugirió que el TENS, particularmente el de alta frecuencia, podía producir su efecto analgésico al fatigar o incluso interrumpir la conducción nerviosa de las fibras aferentes A λ procedentes de la zona del dolor⁴⁹. Recientemente, en un estudio con

sujetos sanos a los que se les aplicó TENS sobre el dorso del antebrazo, se constató una disminución de la amplitud de los potenciales evocados, así como de los umbrales de percepción provocados por la excitación de la gran mayoría de las fibras A β del nervio radial. Los autores afirman que esta disminución es debida a la colisión antidrómica de los potenciales de acción producidos por el TENS en las fibras A β , que bloquean las aferencias procedentes del dorso de la mano⁵⁰. No obstante, con la aplicación de TENS se consigue una duración del efecto analgésico posterior a su aplicación estimado entre 8 y 24h, señalando hacia mecanismos de acción distintos al simple bloqueo sensorial periférico⁴⁸.

En un estudio de 2005, King et al comprobaron en ratas que tanto el TENS de alta frecuencia, como el de baja frecuencia, veían disminuido su efecto analgésico en aquellos animales manipulados genéticamente a los que les faltaba el receptor adrenérgico α 2A. Además, en los ratones control, la administración de un antagonista del receptor adrenérgico α 2A revertía el efecto analgésico del TENS si era administrado periféricamente intraarticularmente, no produciéndose este efecto al ser administrado de forma intratecal o supraespal⁵¹.

Los receptores opioides periféricos desempeñan un papel importante en la analgesia producida por el TENS de baja frecuencia. Sabino et al demostraron, en un estudio en ratas, que los receptores opioides μ situados periféricamente en el lugar de la aplicación, mediaban en el efecto analgésico producido por el TENS de baja frecuencia, no siendo así en el de alta frecuencia⁵².

Por otro lado, se cree que la adenosina puede estar implicada en el mecanismo de acción del TENS, ya que en un estudio en humanos se demostró que la administración de cafeína (que bloquea a los receptores de adenosina) en una cantidad de 200 mg, previamente a la aplicación del TENS, reducía significativamente la analgesia, al compararse con un placebo⁵³. Sin embargo, con una dosis más reducida de cafeína (100 mg, cantidad equivalente a una taza de café) no se producen diferencias significativas detectables sobre los efectos del TENS al compararse con el café descafeinado⁵⁴.

En cuanto a la proporción entre los mecanismos fisiológicos centrales y los periféricos en el efecto del TENS, ésta no ha quedado determinada, y debe ser objeto de futuras investigaciones⁵⁰.

Mecanismos fisiológicos espinales

A nivel medular se ha constatado que los efectos del TENS están asociados a la activación de receptores, al menos, de cuatro tipos: opioides, serotoninérgicos, colinérgicos y GABAérgicos^{25,27-29,32,39}.

La activación de distintos receptores opioides está asociada a la aplicación de TENS a distintas frecuencias. De este modo, según la estimulación se produzca mediante TENS de alta o de baja frecuencia, se activarán receptores opioides distintos. En un estudio de 1991, Han et al analizaron el fluido cerebroespinal de la zona lumbar en pacientes tras un tratamiento tanto con TENS de alta frecuencia, como de baja frecuencia⁵⁵. Concretamente, al aplicar TENS de baja frecuencia se produjo un aumento en la concentración de metionina-enkefalina, un agonista de los receptores opioides λ ; mientras que en el caso del TENS de alta frecuencia, se encontró aumentada la concentración de dinorfina A, agonista de los receptores κ . Posteriormente, en 1999 Sluka et al, investigaron el papel de los distintos receptores opioides, μ , λ y κ en el mecanismo de analgesia del TENS de alta y baja frecuencia²⁵. Usando un modelo de inflamación en animales, mediante la inyección de caolín y carragenina en la cápsula articular de la rodilla en ratas, se midió el tiempo de respuesta de retirada del miembro ante un estímulo térmico. Mediante microdiálisis se les administró en la médula espinal antagonistas para cada tipo de receptor opioide: naloxona (μ), naltrindol (λ) o nornaltorfina (κ). Dosis bajas de naloxona, específicas de los receptores μ , bloqueaban el efecto del TENS de baja frecuencia. Mientras que el bloqueo de los receptores opioides λ previno el efecto del TENS de alta frecuencia. Por contra, el bloqueo de los receptores opioides κ no produjo ningún efecto sobre la analgesia ni del TENS de alta, ni de baja frecuencia²⁵. Así, se pudo constatar que a nivel de la médula espinal el TENS de baja frecuencia produce su efecto mediado por los receptores opioides μ , mientras que los receptores opioides λ median en el efecto fisiológico del

TENS de alta frecuencia^{25,29,39,41,43,45,52,56,57}. Por otro lado, en un estudio en 2005 de Sluka et al, se examinó si existía liberación de glutamato y aspartato en el asta posterior de la médula como respuesta a dos tipos de estímulos TENS, baja frecuencia y alta frecuencia, aplicados en animales a los que se les provocó una inflamación articular y a otros animales sanos³⁸. Está demostrado que como consecuencia de una inflamación articular, hay un aumento fisiológico en los niveles de glutamato y aspartato. Al mismo tiempo, es sabido que los opioides disminuyen la secreción de glutamato y aspartato. El TENS de alta frecuencia, pero no el de baja frecuencia, redujo significativamente la liberación de glutamato y aspartato en los animales con inflamación articular, comparado con aquellos sin inflamación articular. La disminución de glutamato y aspartato por el TENS de alta frecuencia no se produjo si previamente se había suministrado naltrindol, antagonista del receptor opioide λ . De todo esto, se confirma que el TENS tiene en los receptores opioides uno de sus sustratos fisiológicos de actuación.

En 2006 se llevó a cabo un estudio con el modelo de inflamación articular en ratas para determinar si la serotonina y la noradrenalina intervenían en el mecanismo de actuación del TENS⁵⁷. En este estudio se comprobó que los niveles de serotonina en el asta posterior de la médula espinal aumentaban durante, e inmediatamente después, de una aplicación de TENS de baja frecuencia aplicado sobre la rodilla inflamada, no habiendo cambios si la aplicación era de alta frecuencia⁵⁷. Concordando con estos resultados, previamente se había comprobado que el bloqueo de los receptores serotoninérgicos 5-HT₂ y 5-HT₃ evitaba el efecto analgésico del TENS de baja frecuencia, pero no el de alta frecuencia³². En el caso de los niveles de noradrenalina, no se han encontrado cambios en el asta posterior de la médula espinal asociados ni a la aplicación de TENS de alta frecuencia, ni a la de baja frecuencia⁵⁷; en este sentido también se ha comprobado que los receptores noradrenérgicos no ejercen ningún papel en el mecanismo de acción del TENS³².

Otro de los tipos de receptores a nivel medular que están implicados en el mecanismo de acción del TENS son los colinérgicos. Estos receptores se localizan en el asta posterior de la médula y pueden ser de dos tipos: muscarínicos y nicotínicos⁵⁸. En un estudio de 2003, Radhakrishnan et al, empleando el modelo de inflamación articular en ratas, comprobaron que el efecto producido tanto por el TENS de alta como el de baja frecuencia estaba relacionado en gran medida con los receptores colinérgicos muscarínicos, ya que al administrarse intratecalmente un antagonista de este tipo de receptores (atropina) se producía una disminución en los efectos de ambas modalidades del TENS; no siendo así en los receptores nicotínicos²⁷.

Recientemente, se ha comprobado la implicación del ácido gamma-aminobutírico (GABA) en la acción del TENS a nivel espinal. El GABA es el principal neurotransmisor inhibitorio cerebral, segregándose a nivel de la médula espinal por las células gabaérgicas; asimismo, hay neuronas gabaérgicas en regiones supraespinales. Otro neurotransmisor situado en las interneuronas de la médula espinal es la glicina, que tiene una acción similar al GABA⁵⁸. Pues bien, Maeda et al, demostraron en un estudio con animales que el TENS de alta frecuencia incrementa las concentraciones de GABA en la médula espinal en ratas con y sin inflamación

articular. El aumento de GABA no se produjo si la aplicación era de TENS de baja frecuencia. Sin embargo, si se bloqueaban en la médula los receptores GABA_A con un antagonista, la bicuculina, se producía una disminución del efecto tanto del TENS de baja como de alta frecuencia³⁹. Más recientemente, Somers et al realizaron un estudio para determinar el efecto de tres modalidades de TENS (alta frecuencia, baja frecuencia y una combinación de ambas) en un modelo de dolor neuropático en fase crónica en ratas tras una constricción del nervio ciático. El tratamiento de TENS se aplicó contralateralmente al nervio afectado y se valoró la concentración de neurotransmisores en el asta posterior de la médula. El TENS de alta frecuencia produjo un aumento significativo de GABA bilateral en el asta posterior; la combinación de alta y baja frecuencia produjo un aumento de la concentración de aspartato, glutamato y glicina bilateralmente, no incrementándose la concentración de GABA; confirma la existencia de neurotransmisores diferentes involucrados en el efecto fisiológico de la aplicación de TENS a distintas frecuencias⁴⁷.

Finalmente, se ha constatado la relación del TENS con cambios en la concentración de sustancia P en el asta posterior de la médula espinal. La sustancia P endógena funciona como un neurotransmisor en las aferencias sensoriales primarias de la médula espinal. La sustancia P está relacionada con los mecanismos dolorosos, y se ha comprobado que si se inyectan antagonistas de la sustancia P en la médula espinal sobreviene una acción analgésica⁵⁸. Así, en un estudio de 2002 se comprobó, empleando un modelo de inflamación en animales, cómo el TENS de alta frecuencia reducía la sustancia P en los ganglios de las raíces dorsales y en el asta posterior medular⁵⁹.

Mecanismos fisiológicos supraespinales

Los primeros estudios señalando el posible efecto de la aplicación del TENS sobre estructuras supraespinales se remontan a los años ochenta, comprobándose un aumento de la concentración de β -endorfinas en el torrente sanguíneo y en el líquido cefalorraquídeo^{60,61}.

Posteriormente, se estudió el efecto del TENS sobre las vías inhibitorias descendentes, que incluyen el núcleo rafe magno, situado en la médula rostral ventral, y la sustancia gris periacueductal en el mesencéfalo. La sustancia gris periacueductal envía proyecciones a la médula rostral ventral que, a su vez, envía proyecciones a la médula espinal⁶². La estimulación de la sustancia gris periacueductal o de la médula rostral ventral produce inhibición de las neuronas del asta posterior medular, estando comúnmente aceptado que los efectos inhibidores de los opioides se producen por la activación de estas dos zonas⁶². Es por ello que se ha estudiado el efecto del TENS en los mecanismos fisiológicos de estas dos zonas. Así, Desantana y Sluka han demostrado, en un estudio en el que se bloqueó mediante clorhidrato de cobalto la sustancia gris periacueductal, que ésta también contribuye al mecanismo fisiológico del TENS⁴⁸. Por otro lado, en un estudio sobre un modelo de inflamación articular en animales de 2001 en el que se emplearon microinyecciones en la médula rostral ventral de diversos antagonistas de receptores opioides, se constató que los receptores opioides situados en la médula

rostral ventral mediaban en el efecto del TENS; concretamente los receptores opioides μ sobre el TENS de baja frecuencia, y los receptores opioides λ sobre el TENS de alta frecuencia²⁹. Estos datos sugieren que a nivel supraespinal, al igual que sucede a nivel medular, diferentes receptores opioides son activados específicamente por frecuencias distintas de TENS¹⁹.

Mecanismos fisiológicos periféricos no analgésicos

Según algunos autores, el TENS potencialmente podría tener un efecto local sobre el riego sanguíneo y la resistencia vascular periférica⁶³⁻⁶⁵. No obstante, parece claro que los efectos del TENS sobre la circulación estarían asociados a una intensidad suficiente para conseguir contracciones musculares importantes, y no a un efecto sobre los nervios simpáticos postganglionares o sobre el sistema vascular a nivel general^{64,66-69}.

Otra hipótesis respecto a los efectos del TENS sería que su aplicación pudiera inducir alteraciones en la conducción nerviosa⁷⁰⁻⁷². No obstante, los resultados no son consistentes ya que otros estudios no encontraron cambios significativos ni en las latencias ni en las amplitudes de las aferencias nerviosas^{18,35,73}.

Respecto al efecto sobre la actividad muscular el TENS, también puede ser usado para estimulación neuromuscular con el objetivo de producir eléctricamente contracciones musculares, conociéndose con el acrónimo NMES (*neuromuscular electrical stimulation*)². No obstante, de los estudios sobre el TENS también parece deducirse que la aplicación a intensidades que no superan el umbral motor, es decir solo estímulos sensitivos, podría condicionar la respuesta motora. Los efectos de la estimulación somatosensorial aplicada de diversas formas sobre la excitabilidad neuromuscular y, por tanto, sobre la respuesta muscular, han sido objeto de estudio tanto en animales⁷⁴ como en humanos. Midiendo la actividad electromiográfica (EMG) y la fuerza mediante dinamometría antes y después de la aplicación de TENS se ha constatado un efecto facilitador de la actividad muscular, concluyéndose que esta técnica puede influir positivamente en la actividad muscular de pacientes con déficits motores en accidentes cerebrovasculares y otros desórdenes neurológicos^{35,75-79}.

Consideraciones fisiológicas sobre la aplicación de TENS

Al usarse el TENS muy frecuentemente de forma repetida para el tratamiento del dolor crónico, un fenómeno importante que hay que tener en cuenta es la potencial aparición del fenómeno de tolerancia. Como ya se ha explicado en párrafos anteriores, la analgesia que proporciona el TENS está relacionada con la secreción de péptidos opioides en el sistema nervioso^{27,29,30,35,38,39,44-47,80,81}. Por otro lado, es conocido que la administración repetida de opioides desarrolla una disminución en su efecto analgésico que puede ser transitoria o crónica, y que es conocida como tolerancia; asimismo, la tolerancia a un opioide disminuye la respuesta a otros opioides, un fenómeno conocido como tolerancia cruzada⁵⁶. Así, como el efecto del TENS es básicamente de naturaleza opioide, se ha estudiado si la

administración repetida de TENS conduce al desarrollo de tolerancia. Pacientes en tratamiento con dosis elevadas de fármacos opioides, o que recibieron tratamientos prolongados con este tipo de fármacos, posteriormente se ha comprobado que no responden a los tratamientos con TENS⁸². En un estudio en ratas, en un modelo inflamatorio articular, se comprobó cómo la administración repetida de TENS durante seis días (tanto de alta como de baja frecuencia) disminuía su efecto analgésico a causa del desarrollo de tolerancia y también provocaba tolerancia cruzada a agonistas opioides μ y λ ⁵⁶. En el caso de estudios en humanos, Liebano et al han constatado, comparando con un placebo, que la aplicación repetida diariamente de TENS con los mismos parámetros produce una disminución de la efectividad del TENS a partir del cuarto día de tratamiento⁸³. Es por ello que a nivel clínico es importante tener presente la posible aparición de tolerancia a la hora de prescribir sesiones consecutivas de TENS, por ejemplo a pacientes con dolor crónico. Por otro lado, es conocido que el bloqueo del receptor N-Metil-D-Aspartato (NMDA) o del receptor de colecistocinina CCK previenen la aparición de la tolerancia a los opioides. En este sentido, en dos estudios en ratas se demostró que administrando un antagonista del receptor NMDA se prevenía la aparición de la tolerancia a la administración diaria repetida de TENS⁸⁴; y que el bloqueo tanto sistémico como intratecal de los receptores CCK prevenía la aparición de la tolerancia al TENS, además de la tolerancia cruzada a agonistas de los receptores opioides⁸⁵. Desde una perspectiva clínica, se ha sugerido que la administración a dosis bajas de fármacos antagonistas del receptor NMDA (por ejemplo, ketamina, dextrometorfano) podría servir para incrementar la eficacia del TENS⁸⁴.

Respecto al tiempo de aparición de la analgesia de una aplicación de TENS, parece haber un consenso en que este tiempo es corto. Esto se ha demostrado tanto en modelos de experimentación en animales⁸⁶, como en sujetos sanos⁸⁷⁻⁸⁹, así como en pacientes reales con dolor⁹⁰. No obstante, hay mucha variabilidad en los resultados; algunos autores hablan de que el efecto analgésico es relevante clínicamente a los 10 min de iniciada la aplicación⁸⁸, mientras que otros afirman que, con la combinación de parámetros adecuada, el TENS reduce el dolor desde el primer minuto de aplicación^{11,89,91}.

Respecto a la duración del efecto analgésico tras finalizar una sesión de tratamiento, se ha estimado entre 8 y 24 h^{48,92,93}. Recientemente se ha abundado en la importancia de emplear intensidades elevadas para conseguir una mayor duración del efecto del TENS postratamiento⁹⁴.

Finalmente, respecto a posibles diferencias en los efectos del TENS entre sexos, aunque existen diferencias en cuanto a los umbrales y la tolerancia al dolor entre hombres y mujeres^{12,95,96}, no se han encontrado diferencias en cuanto al grado de respuesta al TENS^{90,97}.

Conclusiones

Tras realizar una revisión exhaustiva de la literatura científica publicada hasta el momento, respecto a los efectos fisiológicos que se producen por la aplicación de TENS, se pueden extraer una serie de conclusiones sobre los mecanismos fisiológicos implicados en dicha técnica, que

pueden servir de orientación para su aplicación en la práctica clínica:

- El TENS, para producir su efecto analgésico, necesita de la estimulación fundamental de las aferencias de los tejidos profundos por estimulación de las fibras aferentes primarias de gran diámetro A β . De ahí, la necesidad de emplear intensidades elevadas que alcancen los tejidos profundos para asegurar la efectividad de la aplicación del TENS.
- Los mecanismos de acción fisiológicos del TENS de alta y baja frecuencia son distintos, aunque ambos se producen a nivel periférico, espinal y supraespinal, y se basan primordialmente en la activación de distintos receptores opioides.
- La aplicación de TENS sólo tiene efecto sobre la circulación periférica aplicado a una intensidad suficiente para conseguir contracciones musculares importantes; en todo caso, el efecto es local sobre la zona de aplicación.
- De la revisión realizada podemos extrapolar que la aplicación de TENS puede facilitar la actividad muscular de pacientes con déficits motores en accidentes cerebrovasculares y otros desórdenes neurológicos.
- Con la combinación de parámetros adecuada hay evidencias de que el efecto analgésico del TENS tendría un tiempo de instauración muy breve desde el inicio de la sesión.
- Respecto a la duración del efecto analgésico tras una sesión de tratamiento, se ha demostrado la importancia de emplear intensidades elevadas para conseguir una mayor duración del efecto postsesión.
- La aplicación repetida diariamente de TENS con los mismos parámetros produce una disminución de la efectividad del TENS a partir del cuarto día de tratamiento, provocada por el desarrollo de tolerancia. Desde una perspectiva clínica, se ha sugerido que la administración a dosis bajas de distintos fármacos que pudieran disminuir la tolerancia opioide podría servir para incrementar la eficacia del TENS en pacientes con dolor crónico.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Plaja J. Analgesia por medios físicos. Madrid: McGraw-Hill/ Interamericana; 2003, p. 238-68.
2. Bélanger AY. Transcutaneous electrical nerve stimulation. En: Evidence-based guide to therapeutic physical agents. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2003, p. 26-65.
3. Carroll D, Moore RA, McQuay HJ, Fairman F, Tramèr M, Leijon G. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2001;3:CD003222.
4. Johnson M, Martinson M. Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain.* 2007;130:157-65.

5. Walsh DM, Howe TE, Johnson MI, Sluka KA. Transcutaneous electrical nerve stimulation for acute pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;2:CD006142.
6. Desantana JM, Sluka KA, Lauretti GR. High and low frequency TENS reduce postoperative pain intensity after laparoscopic tubal ligation: a randomized controlled trial. *Clin J Pain*. 2009;25:12–9.
7. DeSantana JM, Santana-Filho VJ, Guerra DR, Sluka KA, Gurgel RQ, da Silva W.M. Jr. Hypoalgesic effect of the transcutaneous electrical nerve stimulation following inguinal herniorrhaphy: a randomized, controlled trial. *J Pain*. 2008;9:623–9.
8. Bjordal JM, Johnson MI, Ljunggreen AE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *Eur J Pain*. 2003;7:181–8.
9. Desantana JM, Sluka KA, Lauretti G. High and low frequency TENS reduce postoperative visceral pain intensity after laparoscopic tubal ligation: a randomized controlled trial. *Clin J Pain*. 2009;25:12–9.
10. De Angelis C, Perrone G, Santoro G, Nofroni I, Zichella L. Suppression of pelvic pain during hysteroscopy with a transcutaneous electrical nerve stimulation device. *Fertil Steril*. 2003;79:1422–7.
11. Amer-Cuenca JJ, Goicoechea C, Girona-López A, Andreu-Plaza JL, Palao-Román R, Martínez-Santa G, et al. Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) during unseeded colonoscopy: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Eur J Pain*. 2010 [Epub ahead of print].
12. Johnson MI, Tabasam G. A double blind placebo controlled investigation into the analgesic effects of inferential currents (IFC) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on cold-induced pain in healthy subjects. *Physiother Theory Pract*. 1999;15:217–33.
13. Abelson K, Langley GB, Sheppard H, Vlieg M, Wigley RD. Transcutaneous electrical nerve stimulation in rheumatoid arthritis. *N Z Med J*. 1983;96:156–8.
14. Lewis B, Lewis D, Cumming G. The comparative analgesic efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation and a non-steroidal anti-inflammatory drug for painful osteoarthritis. *Br J Rheumatol*. 1994;33:455–60.
15. Rakel B, Frantz R. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain with movement. *J Pain*. 2003;4:455–64.
16. Taylor P, Hallett M, Flaherty L. Treatment of osteoarthritis of the knee with transcutaneous electrical nerve stimulation. *Pain*. 1981;11:233–40.
17. Reeves 2nd JL, Graff-Radford SB, Shipman D. The effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on experimental pain and sympathetic nervous system response. *Pain Med*. 2004;5:150–61.
18. Fernández-Del-Olmo M, Álvarez-Sauco M, Koch G, Franca M, Márquez G, Sánchez JA, et al. How repeatable are the physiological effects of TENS? *Clin Neurophysiol*. 2008;119:1834–9.
19. Sluka KA, Walsh D. Transcutaneous electrical nerve stimulation: Basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain*. 2003;4:109–21.
20. Johnson MI. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and TENS-like devices: Do they provide pain relief? *Pain Rev*. 2001;8:121–58.
21. Melzack R, Wall PD. Pain mechanisms: A new theory. *Science*. 1965;150:971–9.
22. Garrison DW, Foreman RD. Decreased activity of spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cells during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Pain*. 1994;58:309–15.
23. Sandkühler J, Chen JG, Cheng G, Randić M. Low-frequency stimulation of afferent Aδ-fibers induces long-term depression at primary afferent synapses with substantia gelatinosa neurons in the rat. *J Neurosci*. 1997;17:6483–91.
24. Somers DL, Clemente FR. Contralateral high or a combination of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation reduces mechanical allodynia and alters dorsal horn neurotransmitter content in neuropathic rats. *J Pain*. 2009;10:221–9.
25. Sluka KA, Deacon M, Stibal A, Strissel S, Terpstra A. Spinal blockade of opioid receptors prevents the analgesia produced by TENS in arthritic rats. *J Pharmacol Exp Ther*. 1999;289:840–6.
26. Ma YT, Sluka KA. Reduction in inflammation-induced sensitization of dorsal horn neurons by transcutaneous electrical nerve stimulation in anesthetized rats. *Exp Brain Res*. 2001;137:94–102.
27. Radhakrishnan R, Sluka KA. Spinal muscarinic receptors are activated during low or high frequency TENS-induced antihyperalgesia in rats. *Neuropharmacology*. 2003;45:1111–9.
28. Woolf CJ, Mitchell D, Barrett GD. Antinociceptive effect of peripheral segmental electrical stimulation in the rat. *Pain*. 1980;8:237–52.
29. Kalra A, Urban MO, Sluka KA. Blockade of opioid receptors in rostral ventral medulla prevents antihyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *J Pharmacol Exp Ther*. 2001;298:257–63.
30. Zhang Y, Ji G, Wu G, Zhao ZQ. Excitatory amino acid receptor antagonists and electroacupuncture synergistically inhibit carrageenan-induced behavioral hyperalgesia and spinal fos expression in rats. *Pain*. 2002;99:525–35.
31. Bajd T, Munih M, Savrin R, Benko H, Cikajlo I. Dermatome electrical stimulation as a therapeutic ambulatory aid for incomplete spinal cord injured patients. *Artif Organs*. 2002;26:260–2.
32. Radhakrishnan R, King EW, Dickman JK, Herold CA, Johnston NF, Spurgin ML, et al. Spinal 5-HT(2) and 5-HT(3) receptors mediate low, but not high, frequency TENS-induced antihyperalgesia in rats. *Pain*. 2003;105:205–13.
33. Law PP, Cheing GL. Optimal stimulation frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on people with knee osteoarthritis. *J Rehabil Med*. 2004;36:220–5.
34. Radhakrishnan R, Sluka KA. Deep tissue afferents, but not cutaneous afferents, mediate transcutaneous electrical nerve stimulation-induced antihyperalgesia. *J Pain*. 2005;6:673–80.
35. Tinazzi M, Zarattini S, Valeriani M, Romito S, Farina S, Moretto G, et al. Long-lasting modulation of human motor cortex following prolonged transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) of forearm muscles: evidence of reciprocal inhibition and facilitation. *Exp Brain Res*. 2005;161:457–64.
36. Ainsworth L, Budelier K, Clinesmith M, Fiedler A, Landstrom R, Leeper BJ, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) reduces chronic hyperalgesia induced by muscle inflammation. *Pain*. 2006;120:182–7.
37. Vance CG, Radhakrishnan R, Skyba DA, Sluka KA. Transcutaneous electrical nerve stimulation at both high and low frequencies reduces primary hyperalgesia in rats with joint inflammation in a time-dependent manner. *Phys Ther*. 2007;87:44–51.
38. Sluka KA, Vance CGT, Lisi TL. High-frequency, but not low-frequency, transcutaneous electrical nerve stimulation reduces aspartate and glutamate release in the spinal cord dorsal horn. *J Neurochem*. 2005;95:1794–801.
39. Maeda Y, Lisi TL, Vance CGT, Sluka KA. Release of GABA and activation of GABA(A) in the spinal cord mediates the effects of TENS in rats. *Brain Res*. 2007;1136:43–50.
40. Desantana JM, Santana-Filho VJ, Sluka KA. Modulation between high- and low-frequency transcutaneous electric nerve stimulation delays the development of analgesic tolerance in arthritic rats. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89:754–60.

41. Gopalkrishnan P, Sluka KA. Effect of varying frequency, intensity, and pulse duration of transcutaneous electrical nerve stimulation on primary hyperalgesia in inflamed rats. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81:984–90.
42. Tong KC, Lo SK, Cheing GL. Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation: Does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds? *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88:1344–9.
43. Chen C, Johnson MI. An investigation into the effects of frequency-modulated transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimentally-induced pressure pain in healthy human participants. *J Pain.* 2009;10:1029–37.
44. Motta MA, Vasconcelos Mda S, Catanho MT. Antinociceptive action of captopril and transcutaneous electric nerve stimulation in *Mus musculus* mice. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2002;29:464–6.
45. Sluka KA, Chandran P. Enhanced reduction in hyperalgesia by combined administration of clonidine and TENS. *Pain.* 2002;100:183–90.
46. Somers DL, Clemente FR. The relationship between dorsal horn neurotransmitter content and allodynia in neuropathic rats treated with high-frequency transcutaneous electric nerve stimulation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84:1575–83.
47. Somers DL, Clemente FR. Contralateral high or a combination of high- and low-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation reduces mechanical allodynia and alters dorsal horn neurotransmitter content in neuropathic rats. *J Pain.* 2009;10:221–9.
48. DeSantana JM, Walsh DM, Vance C, Rakel BA, Sluka KA. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of hyperalgesia and pain. *Curr Rheumatol Rep.* 2008;10:492–9.
49. Campbell JN, Taub A. Local analgesia from percutaneous electrical stimulation. A peripheral mechanism. *Arch Neurol.* 1973;28:347–50.
50. Ristic D, Spangenberg P, Ellrich J. Analgesic and antinociceptive effects of peripheral nerve neurostimulation in an advanced human experimental model. *Eur J Pain.* 2008;12:480–90.
51. King EW, Audette K, Athman GA, Nguyen HO, Sluka KA, Fairbanks CA. Transcutaneous electrical nerve stimulation activates peripherally located alpha-2A adrenergic receptors. *Pain.* 2005;115:364–73.
52. Sabino GS, Santos CM, Francischi JN, de Resende MA. Release of endogenous opioids following transcutaneous electric nerve stimulation in an experimental model of acute inflammatory pain. *J Pain.* 2008;9:157–63.
53. Marchand S, Li J, Charest J. Effects of caffeine on analgesia from transcutaneous electrical nerve stimulation. *N Engl J Med.* 1995;333:325–6.
54. Dickie A, Tabasam G, Tashani O, Marchant P, Johnson MI. A preliminary investigation into the effect of coffee on hypoalgesia associated with transcutaneous electrical nerve stimulation. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2009;29:293–9.
55. Han JS, Chen XH, Sun SL, Xu XJ, Yuan Y, Yan SC, et al. Effect of low- and high-frequency TENS on Met-enkephalin-Arg-Phe and dynorphin A immunoreactivity in human lumbar CSF. *Pain.* 1991;47:295–8.
56. Chandran P, Sluka KA. Development of opioid tolerance with repeated transcutaneous electrical nerve stimulation administration. *Pain.* 2003;102:195–201.
57. Sluka KA, Lisi TL, Westlund KN. Increased release of serotonin in the spinal cord during low, but not high, frequency transcutaneous electric nerve stimulation in rats with joint inflammation. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87:1137–40.
58. Doubell TP, Mannion RJ, Woolf CJ. The dorsal horn: State-dependent sensory processing, plasticity and the generation of pain. En: Wall PD, Melzack R, editores. *Textbook of Pain*, 4th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2003. p. 165–82.
59. Rokugo T, Takeuchi T, Ito H. A histochemical study of substance P in the rat spinal cord: Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation. *J Nippon Med Sch.* 2002;69:428–33.
60. Salar G, Job I, Mingrino S, Bosio A, Trabucchi M. Effect of transcutaneous electrotherapy on CSF beta-endorphin content in patients without pain problems. *Pain.* 1981;10:169–72.
61. Hughes Jr GS, Lichstein PR, Whitlock D, Harker C. Response of plasma beta-endorphins to transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther.* 1984;64:1062–6.
62. Fields HL, Basbaum AL. Central nervous system mechanisms of pain modulation. En: Wall PD, Melzack R, editores. *Textbook of Pain*, 4th ed. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2003. p. 243–57.
63. Sato A, Sato Y, Schmidt RF. The impact of somatosensory input on autonomic functions. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 1997;130:1–328.
64. Sherry JE, Oehrlein KM, Hegge KS, Morgan BJ. Effect of burst-mode transcutaneous electrical nerve stimulation on peripheral vascular resistance. *Phys Ther.* 2001;81:1183–91.
65. Cramp FL, McCullough GR, Lowe AS, Walsh DM. Transcutaneous electric nerve stimulation: the effect of intensity on local and distal cutaneous blood flow and skin temperature in healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2002;83:5–9.
66. Anderson SI, Whatling P, Hudlicka O, Gosling P, Simms M, Brown MD. Chronic transcutaneous electrical stimulation of calf muscles improves functional capacity without inducing systemic inflammation in claudicants. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2004;27:201–9.
67. Sandberg ML, Sandberg MK, Dahl J. Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Phys Ther.* 2007;87:1047–55.
68. Chen CC, Johnson MI, McDonough S, Cramp F. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on local and distal cutaneous blood flow following a prolonged heat stimulus in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2007;27:154–61.
69. Lazarou L, Kitsios A, Lazarou I, Sikaras E, Trampas A. Effects of intensity of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on pressure pain threshold and blood pressure in healthy humans: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clin J Pain.* 2009;25:773–80.
70. Walsh DM, Lowe AS, McCormack K, Willer JC, Baxter GD, Allen JM. Transcutaneous electrical nerve stimulation: effect on peripheral nerve conduction, mechanical pain threshold, and tactile threshold in humans. *Arch Phys Med Rehabil.* 1998;79:1051–8.
71. Chang QY, Lin JG, Hsieh CL. Effect of manual acupuncture and transcutaneous electrical nerve stimulation on the H-reflex. *Acupunct Electrother Res.* 2001;26:239–51.
72. Simorgh L, Torkaman G, Firoozabadi SM. Effects of tripolar TENS on slow and fast motoneurons: A preliminary study using H-reflex recovery curve method. *Electromyogr Clin Neurophysiol.* 2008;48:301–9.
73. Alves-Guerreiro J, Noble JG, Lowe AS, Walsh DM. The effect of three electrotherapeutic modalities upon peripheral nerve conduction and mechanical pain threshold. *Clin Physiol.* 2001;21:704–11.
74. Luft AR, Manto MU, Ben Taib NO. Modulation of motor cortex excitability by sustained peripheral stimulation: the interaction between the motor cortex and the cerebellum. *Cerebellum.* 2005;4:90–6.
75. Dickstein R, Kafri M. Effects of antecedent TENS on EMG activity of the finger flexor muscles and on grip force. *Somatosens Mot Res.* 2008;25:139–46.
76. Wu CW, Seo HJ, Cohen LG. Influence of electric somatosensory stimulation on paretic-hand function in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87:351–7.
77. Cipriano Jr G, de Camargo Carvalho AC, Bernardelli GF, Tayar Peres PA. Short-term transcutaneous electrical nerve stimulation after cardiac surgery: effect on pain, pulmonary

- function and electrical muscle activity. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2008;7:539–43.
78. Koesler IB, Dafotakis M, Ameli M, Fink GR, Nowak DA. Electrical somatosensory stimulation improves movement kinematics of the affected hand following stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2009;80:614–9.
 79. Yan T, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute stroke: a randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2009;41:312–6.
 80. Sjolund BH. Peripheral nerve stimulation suppression of C-fiber-evoked flexion reflex in rats. Part 2: Parameters of low-rate train stimulation of skin and muscle afferent nerves. *J Neurosurg.* 1988;68:279–83.
 81. Walsh DM, Foster NE, Baxter GD, Allen JM. Transcutaneous electrical nerve stimulation. Relevance of stimulation parameters to neurophysiological and hypoalgesic effects. *Am J Phys Med Rehabil.* 1995;74:199–206.
 82. Solomon RA, Viernstein MC, Long DM. Reduction of post-operative pain and narcotic use by transcutaneous electrical nerve stimulation. *Surgery.* 1980;87:142–6.
 83. Liebano R, Zenor A, Hook A, Little A, Franck A, Plum C, et al. 405 An investigation of the development of tolerance to transcutaneous electrical nerve stimulation (tens) in humans. *Eur J Pain.* 2009;13(Suppl 1):S122.
 84. Hingne PM, Sluka KA. Blockade of NMDA receptors prevents analgesic tolerance to repeated transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in rats. *J Pain.* 2008;9:217–25.
 85. DeSantana J, Sluka K, Silva L. Blockade of spinal CCK receptors prevents analgesic tolerance to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and cross tolerance at spinal opioid receptors. *J Pain.* 2009;10(Suppl 1):S28.
 86. Garrison DW, Foreman RD. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cell activity in cats with transected spinal cords. *Neurosci Lett.* 1996;216:125–8.
 87. Dean J, Bowsher D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2006;26:314–8.
 88. Chesterton LS, Foster NE, Wright CC, Baxter GD, Barlas P. Effects of TENS frequency, intensity and stimulation site parameter manipulation on pressure pain thresholds in healthy human subjects. *Pain.* 2003;106:73–80.
 89. Johnson MI, Tabasam G. A single-blind placebo-controlled investigation into the analgesic effects of interferential currents on experimentally induced ischaemic pain in healthy subjects. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2002;22:187–96.
 90. Johnson MI, Ashton CH, Thompson JW. An in-depth study of long-term users of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). Implications for clinical use of TENS. *Pain.* 1991;44:221–9.
 91. Brown L, Tabasam G, Bjordal JM, Johnson MI. An investigation into the effect of electrode placement of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimentally induced ischemic pain in healthy human participants. *Clin J Pain.* 2007;23:735–43.
 92. Sluka KA, Bailey K, Bogush J, Olson R, Ricketts A. Treatment with either high or low frequency TENS reduces the secondary hyperalgesia observed after injection of kaolin and carrageenan into the knee joint. *Pain.* 1998;77:97–102.
 93. Cheing GL, Tsui AY, Lo SK, Hui-Chan CW. Optimal stimulation duration of tens in the management of osteoarthritic knee pain. *J Rehabil Med.* 2003;35:62–8.
 94. Claydon LS, Chesterton LS, Barlas P, Sim J. Effects of simultaneous dual-site TENS stimulation on experimental pain. *Eur J Pain.* 2008;12:696–704.
 95. Lund I, Lundeberg T, Sandberg L, Budh CN, Kowalski J, Svensson E. Lack of interchangeability between visual analogue and verbal rating pain scales: a cross sectional description of pain etiology groups. *BMC Med Res Methodol.* 2005;5:31.
 96. Quiton RL, Greenspan JD. Sex differences in endogenous pain modulation by distracting and painful conditioning stimulation. *Pain.* 2007;132(Suppl 1):S134–49.
 97. Johansson F, Almay BG, Von Knorring L, Terenius L. Predictors for the outcome of treatment with high frequency transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic pain. *Pain.* 1980;9:55–61.



REVISIÓN

Programación y aplicación de la estimulación nerviosa eléctrica transcutánea (TENS): guía de práctica clínica basada en la evidencia

J.J. Amer-Cuenca

Departamento de Fisioterapia, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad CEU-Cardenal Herrera, Valencia, España

Recibido el 16 de junio de 2010; aceptado el 20 de septiembre de 2010

Disponible en Internet el 29 de octubre de 2010

PALABRAS CLAVE

Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea; TENS; Revisión

Resumen

Objetivo: Determinar cuál de las múltiples posibilidades de programación y aplicación del TENS está más respaldada por la evidencia, de forma que pueda servir de guía en la práctica clínica.

Estrategia de búsqueda: Identificación de estudios a través de diferentes bases de datos.

Selección de estudios y datos: Se incluyeron aquellos estudios sobre las variables de programación y aplicación del TENS, publicados en revistas o congresos científicos.

Síntesis de resultados: Se localizaron 94 referencias. En general existe consenso respecto a la importancia de la correcta elección de los parámetros de programación del TENS y de la colocación de electrodos.

Conclusiones: La aplicación recomendada de TENS derivada de la literatura hasta el momento sería: forma de impulso bifásica compensada simétrica, duración del impulso mayor a 250 μ s, alta frecuencia modulada, electrodos grandes situados directamente o sobre los dermatomas correspondientes al dolor, intensidad máxima, sin producir dolor.

© 2010 Asociación Española de Fisioterapeutas. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Programming and application of TENS technique: Evidence-based clinical practice guidelines

Abstract

Objective: To determine which of the many possibilities for programming and application of TENS is most supported by the evidence, so that it can be used as a guideline in the clinical practice.

Search strategy: Identification of studies using different databases.

Study and data selection: Those studies on the variables of programming and application of TENS, published in journals and scientific conferences, were included.

KEYWORDS

Transcutaneous electrical nerve stimulation; TENS; Review

Correo electrónico: juanjoamer@uch.ceu.es

Synthesis of the results: We found 94 references. In general, there is consensus on the importance of the correct selection of programming parameters and electrode placement of TENS.

Conclusions: The recommended application of TEN derived from the literature up to the present date would be: a balanced symmetrical biphasic pulse, pulse length greater than 250 μ s, modulated high frequency, and large electrodes, placed directly on the pain or over the dermatomes corresponding to the area of pain, maximum intensity without pain.

© 2010 Asociación Española de Fisioterapeutas. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La estimulación nerviosa eléctrica transcutánea, conocida por el acrónimo TENS, del inglés *Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation*, consiste en la aplicación, mediante electrodos de superficie, de corriente eléctrica pulsada con finalidad analgésica¹. El uso actual del TENS en el ámbito clínico de la fisioterapia está muy ampliamente extendido. Se puede afirmar que, junto con las interferenciales, es la técnica de estimulación eléctrica más empleada como alternativa a los tratamientos analgésicos tradicionales, tales como los farmacológicos o quirúrgicos². Su popularidad se basa, entre otros aspectos, en que se trata de una técnica no invasiva, fácil de administrar, tiene pocos efectos secundarios e interacciones con otros fármacos, no puede producir sobredosis, además de ser una técnica muy económica y susceptible de ser utilizada para tratamiento domiciliario tras un periodo de entrenamiento del propio paciente³.

Desde los años 70 numerosos estudios de investigación impulsaron el uso terapéutico del TENS como analgésico en muy diversos ámbitos clínicos con resultados positivos⁴⁻⁷. Sin embargo, durante los años 80, con la realización de ensayos clínicos controlados, los resultados obtenidos fueron dispares; con algunos apuntando a que el TENS era un método analgésico efectivo⁸⁻¹⁰ y otros concluyendo todo lo contrario¹¹⁻¹⁴. Durante los años 90 se continuaron realizando numerosas revisiones sistemáticas de los estudios realizados. Las conclusiones de estas revisiones pusieron en tela de juicio la efectividad clínica de la aplicación de TENS¹⁵⁻¹⁷ y por ello, su uso pudo verse desacreditado. Coincidiendo con iniciativas como la Colaboración Cochrane ha habido un avance en la metodología, tanto para localizar estudios relevantes sobre cualquier tema como para desgranarlos críticamente y combinarlos estadísticamente. De este modo, se ha podido comprobar que las conclusiones a las que llegaban muchas de las revisiones sistemáticas de los años 90 estaban sesgadas al no excluir en sus análisis aquellos estudios en los que se utilizaron formas de aplicación, intensidades y programaciones mal diseñadas¹⁸. En muchos estudios no se estandarizaban los parámetros de los impulsos (duración y frecuencia), las intensidades aplicadas eran a veces demasiado bajas y las colocaciones de electrodos inapropiadas, sesgando los resultados y así contribuyendo negativamente al reconocimiento de la técnica TENS^{3,18-34}. Por otra parte, pocos de los estudios incluidos en estas revisiones comparaban los resultados con un grupo placebo o control y no se tenía en cuenta el cegado en el diseño del estudio. Por todo ello, no es de extrañar que en la práctica clínica esté ampliamente difundida la idea de

que los diferentes parámetros de programación del TENS deben ajustarse en razón del confort que la estimulación pueda producir en el paciente, por encima de las posibles consideraciones fisiológicas respecto a las diferentes posibilidades de programación^{29,35,36}.

Estableciendo una analogía para señalar la importancia de la adecuada selección de parámetros, las características del impulso eléctrico (forma, duración, frecuencia) serían el elemento activo de la terapia por TENS, de igual modo que los componentes químicos son el elemento activo de un fármaco³. Además de la adecuada selección de los parámetros, es fundamental la correcta dosificación y aplicación de los mismos (intensidad, tamaño y colocación de los electrodos, así como el modo de estimulación)^{19,24,37}. De la correcta combinación de todos estos elementos dependerá la efectividad del tratamiento mediante el TENS³⁸.

Objetivos

A través de una revisión de la literatura científica publicada, determinar cuál de las múltiples posibilidades de programación y aplicación de la técnica TENS es más efectiva, de modo que pueda servir de guía de aplicación para el fisioterapeuta en la práctica clínica.

Estrategia de búsqueda

A nivel metodológico, para la revisión bibliográfica, se siguieron los siguientes pasos:

Criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron todos aquellos estudios que trataban sobre la utilización de la técnica TENS y sus variables de programación y aplicación, publicados en revistas o congresos científicos. Se incluyeron en la revisión trabajos experimentales, observacionales o experiencias clínicas. Fueron excluidos, por no ser ni fisiológicamente ni metodológicamente comparables, los estudios centrados en otras técnicas de electroterapia (iontoforesis, interferenciales...).

Estrategia de búsqueda y extracción de datos. Los estudios relevantes fueron identificados a través de una búsqueda en las bases de datos Academic Search Complete, Biomedical Reference Collection, Fuente Académica Premier, MedicLatina, Medline, Cinahl, Nursing & Allied Health Collection, ISI Web of Knowledge, Embase y SportDiscus, desde la primera fecha disponible hasta enero de 2010. La estrategia de búsqueda usada para todas las bases de datos fue TENS y TRANSCUTANEOUS ELECTRIC NERVE STIMULATION combinadas mediante conectores AND y OR con cada uno de los siguientes términos:

WAVEFORM, PULSE DURATION, PULSE WIDTH, FREQUENCY, ELECTRODE* INTENSITY, CURRENT AMPLITUDE. No se impuso ninguna restricción en el lenguaje, siendo por ello que los trabajos no escritos en español o inglés también fueron incluidos. Todos los trabajos seleccionados por medio de esta estrategia de búsqueda fueron analizados, validando la elegibilidad de los estudios seleccionados. De los diferentes estudios experimentales incluidos se extrajeron de forma independiente los principales datos (sujetos, intervención, resultados) usando formatos de extracción de datos estandarizadas.

Resultados

Tras la revisión de la literatura científica se localizaron finalmente 94 referencias que cumplieron con los criterios de inclusión. En general existe consenso respecto a la importancia de la correcta elección de los parámetros de programación del TENS y de la colocación de electrodos. En este sentido, se han analizado numerosos estudios en los que se afirmaba que la aplicación de TENS no era efectiva en una determinada indicación y posteriormente, tras subsanar errores metodológicos, otros autores con un diseño de la técnica de aplicación adecuado han constatado la efectividad del TENS en esas mismas indicaciones (tabla 1). Respecto al papel de las distintas variables de aplicación de la técnica TENS, se constata que ha sido en la última década cuando en este campo se ha venido desarrollando un mayor esfuerzo investigador. De todos los parámetros, han sido la intensidad y el tamaño y colocación de los electrodos los que han sido estudiados por un mayor número de autores (tabla 2). A continuación se exponen los resultados de las variables fundamentales de aplicación del TENS:

Forma del impulso

La forma del impulso influye en la transmisión del impulso eléctrico en el cuerpo, en el efecto fisiológico que se produce y

en el confort percibido por los pacientes^{26,39,40}. La forma de impulso que básicamente se asocia a terapia TENS es la bifásica (también conocida como bidireccional o alterna), pulsada (impulsos seguidos de una pausa), tanto simétrica como asimétrica y normalmente compensada. De este modo el impulso tendrá un potencial de carga neto igual a cero entre la fase positiva y negativa, no produciéndose así acúmulo de cargas debajo de cada electrodo³⁹. En el caso de utilizarse impulsos monofásicos, al no estar compensados, se produciría un acúmulo neto de cargas eléctricas debajo de cada electrodo que podría conducir, si la aplicación se prolonga el tiempo necesario, a irritaciones e incluso quemaduras de la piel debajo del electrodo⁴¹. Por este motivo, es más apropiado el uso de impulsos compensados durante la aplicación clínica del TENS, ya que los tratamientos analgésicos suelen ser prolongados, muchas veces superando una hora de aplicación o con más de una aplicación al día, a veces durante muchos días consecutivamente⁴².

Además de compensado o no, un impulso bifásico puede ser simétrico o asimétrico, dependiendo de si la forma del impulso en su fase positiva es igual a la de su fase negativa (simétrico) o de si es distinta (asimétrico). En este caso, la elección de una opción u otra no afecta a la efectividad del tratamiento³⁹. No obstante, la forma del impulso sí condiciona el confort percibido por el paciente, siendo la forma simétrica la que se ha referenciado como más confortable para los pacientes^{39,43}.

Duración del impulso

La duración de los impulsos, también conocida como anchura de impulso, es la principal característica que diferencia al TENS del resto de las formas de electroterapia clásicas (diadinámicas, exponenciales, Trabert, LeDuc...). Mientras que en estas modalidades clásicas los impulsos tienen duraciones mayores a 1 milisegundo, en la técnica TENS las duraciones son mucho más cortas, midiéndose en

Tabla 1 Efectividad del TENS según la adecuación de la metodología empleada

Condición	Estudios con parámetros inadecuados en la técnica de aplicación		Estudios con técnica de aplicación adecuada	
	Autor (año)	Efecto analgésico	Autor (año)	Efecto analgésico
Dolor agudo	Hansson 1983 ⁷⁵	p=0,18	De Angelis 2003 ⁷⁹	p < 0,0004
	Roche 1985 ⁷⁶	p=0,09		
	Liu 1985 ⁷⁷	p=0,1		
	Limoges 2004 ⁷⁸	p=0,29		
Dolor crónico	Graff-Radford 1989 ⁸⁰	p > 0,05	Defrin 2005 ⁸⁴	p < 0,001
	Langley 2004 ⁸¹	p > 0,05		
	Moore 1997 ⁸²	p > 0,05		
	Taylor 1981 ⁸³	p > 0,05		
Parto	Thomas 1988 ⁸⁶	p > 0,05	Chao 2007 ⁶²	p < 0,005
	Wang 1997 ⁵⁴	p > 0,05		
Colonoscopia	Robinson 2001 ⁸⁷	p > 0,05	Amer-Cuenca 2010 ⁸⁹	p < 0,001
	Fanti 2003 ⁸⁸	p > 0,05		
	Forster 1994 ⁹⁰	p > 0,05		
Dolor posquirúrgico	McCallum 1988 ⁹¹	p > 0,05	Unterrainer 2010 ⁹³	p < 0,005
	Conn 1986 ¹³	p > 0,05		
	Cuschieri 1985 ⁹²	p > 0,05		
	Platon 2010 ⁹⁴	p < 0,001		

Tabla 2 Artículos sobre el TENS según el parámetro estudiado

Parámetro	Época del estudio (autor [año])	
	Anteriores al año 2000	2000–2009
Forma del impulso	Bowman 1985 ⁴³ , Johnson 1991 ⁴²	Hingne 2007 ³⁹ , Shimoji 2007 ²⁶ , Petrofsky 2008 ⁴⁰
Duración del impulso	Garrison 1994 ⁴⁵ , Walsh 1995 ⁴⁶	Johnson 2001 ⁴⁴ , Shimoji 2007 ²⁶ , Sluka 2003 ⁴⁷
Frecuencia	Mannheimer 1978 ⁵³ , Walsh 1995 ⁴⁶ , Walsh 1997 ⁴⁸ , Wang 1997 ⁵⁴	Johnson 2001 ⁴⁴ , Gopalkrishnan 2000 ⁴⁹ , Sluka 2003 ⁴⁷ , Law 2004 ⁵⁰ , Tong 2007 ⁵¹ , Chen 2009 ⁵²
Electrodos y colocación	Rao 1981 ⁵⁷ , Carabelli 1985 ⁶⁰ , Nolan 1991 ⁵⁵ , Walsh 1996 ⁵⁸ , Walsh 1997 ⁴⁸ , Johnson 1998 ¹⁷	White 2000 ⁶⁶ , Gadsby 2000 ⁶¹ , Johnson 2001 ³ , White 2001 ²¹ , Johnson 2001 ⁴⁴ , Sluka 2003 ⁴⁷ , Koke 2004 ⁵⁹ , Petrofsky 2006 ¹⁹ , Brown 2007 ²⁰ , Chao 2007 ⁶² , Nayak 2008 ⁶³ , Yan 2009 ⁶⁴ , Lee 2009 ⁶⁵ , Bofe 2009 ⁵⁶
Intensidad	Nolan 1991 ⁵⁵ , Johnson 1991 ³⁵ , Johnson 1991 ⁴² , Han 1991 ⁷¹ , Walsh 1997 ⁴⁸ , Johnson 1998 ¹⁷ , Hamza 1999 ⁷² , Ghoname 1999 ⁷³	Johnson 2001 ³ , Johnson 2001 ⁴⁴ , Chesterton 2002 ²³ , Rakel 2003 ⁷⁴ , Chesterton 2003 ²⁴ , Bjordal 2003 ¹⁸ , Radhakrishnan 2005 ⁶⁸ , Barlas 2006 ⁶⁷ , Sandberg 2007 ⁶⁹ , Aarskog 2007 ²⁸ , Tong 2007 ⁵¹ , Miller 2008 ⁷⁰ , Claydon 2008 ³⁰ , Chen 2009 ⁵²

microsegundos (μs). El hecho de que los impulsos TENS sean tan breves hace que sean más agradables para el paciente, comparados con los impulsos de la electroterapia clásica. Así, el confort es una de las características que explica la gran aceptación de la técnica por parte de los pacientes¹.

La duración de impulso en TENS puede ajustarse libremente, situándose habitualmente entre 50 y 1.000 μs ⁴⁴. Los efectos fisiológicos producidos por el TENS dependerán, en parte, de una adecuada selección de la duración del impulso²⁶. En general, parece haber un consenso en que al aumentar la duración del impulso más allá de los 250 μs se consiguen los mayores efectos analgésicos al producirse una mayor inhibición de la actividad neuronal del asta posterior medular^{45–47}.

Frecuencia

Las frecuencias mayoritariamente empleadas en TENS varían entre 1 y 200/250 Hz^{41,44,48}. La evidencia proveniente de los estudios, tanto en modelos con animales como con sujetos sanos, nos indica que según la frecuencia elegida se activarán diferentes mecanismos analgésicos periféricos o centrales^{47,49–52}. Según la literatura publicada sobre el tema, en la elección de la frecuencia básicamente se presentan dos posibilidades: baja frecuencia (menor de 10 Hz) y alta frecuencia (mayor de 50 Hz), con efectos fisiológicos y terapéuticos distintos. Los resultados de los estudios publicados señalan la mayor efectividad clínica de los tratamientos TENS con frecuencias altas respecto a las frecuencias más bajas^{46,47,49–54}.

Electrodos y colocación

La elección del tipo de electrodos a emplear, su tamaño y, fundamentalmente, su colocación sobre el paciente, son

otros de los elementos a tener en cuenta para una correcta realización de la terapia TENS. Estos aspectos no han sido siempre tenidos en consideración, pudiendo así haber contribuido negativamente en los resultados de muchos de los estudios realizados sobre TENS^{19–21,55}.

En un estudio para determinar si la efectividad del TENS podía verse modificada por la elección del tipo de electrodos⁵⁵ se analizaron 25 tipos diferentes de electrodos de entre los disponibles comercialmente para determinar su grado de conductividad. Los resultados no fueron concluyentes respecto a la naturaleza de los electrodos (clásicos de goma o adhesivos), pero sí en cuanto al tamaño, siendo que los electrodos que mayor resistencia al paso de la corriente ofrecían eran los de menor tamaño⁵⁵. Así, a mayor tamaño de los electrodos, mayor área en la que distribuirse la corriente y, por tanto, menor densidad, produciéndose menos molestias y unos efectos más uniformes¹⁹. Respecto al material de contacto entre la piel y el electrodo, en un estudio reciente se concluía que tanto los geles hipoalérgicos de contacto, el agua potable y las soluciones salinas estaban indicados para la práctica clínica con estimulación eléctrica, ya que mantenían una baja resistencia al paso de la corriente durante el tratamiento. Sin embargo, el uso de agua destilada o desionizada no se recomendaba debido a la elevada resistencia que ofrecía al paso de la corriente eléctrica⁵⁶.

Respecto a la colocación de los electrodos sobre el paciente, en un estudio de 1981 Rao et al investigaron esta cuestión, valorando la colocación de los electrodos en 114 pacientes y no hallaron una clara correlación entre la colocación y la analgesia conseguida⁵⁷. Esto explica que a nivel clínico se realice una aplicación basada en prueba-error a la hora de determinar la colocación de electrodos más efectiva en cada caso^{1,41,44,48}. Sin embargo, algunos autores han sugerido que una colocación incorrecta de los electrodos puede determinar los resultados negativos que se

han obtenido en muchos de los estudios y revisiones^{58,59}. De la literatura analizada se desprende que la opción de colocación de los electrodos que mayor evidencia aporta, al ser comparada con las otras, es la que los sitúa sobre la zona del dolor o alrededor de la misma^{41,44,48}. No obstante, también se han referido resultados positivos al aplicar el TENS en lugares alejados a la zona del dolor: sobre las raíces nerviosas a nivel medular, paravertebralmente¹⁷; sobre zona contralateral a la afectada⁶⁰; sobre el dermatoma compartido con la región dolorosa^{1,41}; sobre el miotoma correspondiente a la inervación de la zona a tratar²⁰; sobre puntos de acupuntura⁶¹⁻⁶⁵ o incluso transcranealmente³.

De entre todas las posibilidades referidas, la que aporta mayor evidencia es la estimulación de los dermatomas correspondientes a la zona sintomática de los pacientes^{21,47,66}.

Intensidad

Conocer los efectos de la variación de los niveles de intensidad en TENS es fundamental para que la aplicación de la dosis de estímulo eléctrico no esté basada en una elección empírica del fisioterapeuta⁶⁷. A la hora de dosificar la intensidad, en la práctica, el fisioterapeuta se guía por la percepción del paciente, graduándose por niveles de sensaciones producidas³. Los niveles más habituales en la práctica clínica serían los de intensidad elevada e intensidad baja^{1,17,44,48,67}. Sin embargo, se han publicado pocos trabajos que investiguen sistemáticamente los efectos de la aplicación de diferentes niveles de intensidad. La evidencia que se desprende de ellos indica que la intensidad puede ser un parámetro determinante a la hora de alcanzar efectos analgésicos óptimos, de forma que la aplicación de intensidades elevadas es más eficaz que las intensidades bajas, con independencia del resto de parámetros de aplicación del TENS^{18,23,24}. Claydon, en un estudio en 2008, investigó el efecto analgésico de diferentes combinaciones de parámetros TENS sobre el umbral de dolor a la presión en 208 sujetos sanos. Los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente en ocho grupos: seis con diferentes combinaciones de parámetros, un grupo placebo y un grupo control. La intensidad aplicada en los grupos que recibían TENS podía ser elevada o baja. El mayor efecto analgésico se asoció al uso de las intensidades elevadas, independientemente de la frecuencia empleada, confirmando la importancia fundamental del empleo de dosis elevadas para una correcta administración del TENS³⁰. El hecho de que las intensidades mayores produzcan mayores efectos puede deberse, en el caso del TENS, a que para producir un óptimo efecto analgésico la aplicación de impulsos debe tener la suficiente intensidad como para alcanzar y activar las terminaciones nerviosas de los tejidos profundos, de forma que esas aferencias puedan estimular los mecanismos centrales inhibitorios del dolor, como pueda ser la médula rostral ventral⁶⁸.

Una de las características primarias constatadas en las aplicaciones de TENS consiste en que si se mantiene la intensidad de estimulación a un nivel constante durante un tiempo suficiente, se produce una disminución de la sensación producida por el TENS en el paciente⁵⁵. Estos cambios de percepción, denominados acomodación, podrían ser atribuidos al efecto que sobre los receptores cutáneos

tiene una estimulación regular y repetitiva, que produciría un fenómeno de adaptación del sistema nervioso ante el citado estímulo³⁵. Por tanto, para mantener estable el nivel de percepción, la intensidad debe ir incrementándose a lo largo de la aplicación^{28,30,69,70}. Estudios experimentales constatan la importancia de guiarse por la percepción subjetiva referida por el paciente, producida por el TENS, como elemento de control para ajustar la intensidad de la estimulación, de forma que se consiga mantener la percepción del paciente durante toda la aplicación³⁰. De hecho, es conocido que muchos estudios clínicos sobre la efectividad del TENS en su momento no tuvieron en cuenta el fenómeno de la acomodación, incurriendo así en la aplicación de intensidades de estimulación potencialmente inefectivas^{30,67,69}. Una alternativa de programación del TENS que puede ayudar a minimizar el fenómeno de la acomodación es el de la modulación de la frecuencia⁵¹. En la práctica clínica el TENS se aplica habitualmente con un patrón de impulsos constante (frecuencia fija)⁴². No obstante, muchos equipos de TENS disponen de la posibilidad de programar la modulación de la frecuencia o bien de frecuencia alternante. La frecuencia modulada consiste en establecer fluctuaciones de frecuencia, de hercio en hercio, entre dos parámetros preestablecidos en un intervalo de tiempo previamente determinado^{41,52}. La frecuencia alternante consiste en establecer dos frecuencias de estimulación que se van alternando, estando un tiempo determinado en cada una de ellas^{41,52}. Se considera que el hecho de aplicar un estímulo con frecuencia modulada o alternante reduce la acomodación que sufre el sistema nervioso ante impulsos monótonos, ya que con la variación de frecuencias el estímulo que el paciente está recibiendo varía continuamente^{3,51,52}. Por otro lado, si los parámetros sobre los que va a variar la frecuencia abarcan la franja correspondiente a la baja y a la alta frecuencia, se cree que se activarían simultáneamente los diferentes mecanismos fisiológicos correspondientes a ambas modalidades, produciendo un efecto sinérgico que aumentaría la analgesia^{23,71-74}.

Conclusiones

Tras la revisión de la literatura científica realizada se constata que para conseguir optimizar el efecto analgésico en las aplicaciones de TENS es fundamental la elección de los parámetros de programación y colocaciones de electrodos, que no deben ser escogidos de forma aleatoria o en base exclusivamente al confort del paciente. Así, para una aplicación correcta del TENS y como recomendación a modo de guía clínica, se deberían tener en consideración los siguientes aspectos:

- Forma de impulso bifásica pulsada compensada simétrica: minimiza el riesgo de irritaciones e incluso quemaduras de la piel debajo del electrodo y es la más confortable para los pacientes.
- Duración del impulso mayor a 250 μ s, ya que produce una mayor inhibición de la actividad neuronal del asta posterior medular.
- Frecuencia alta (mayor a 80Hz) ya que numerosos estudios avalan su mayor efectividad respecto a la frecuencia baja. La frecuencia se programaría modulada

(ej. 80–100 Hz) para ayudar a minimizar el fenómeno de la acomodación que el sistema nervioso sufre ante impulsos monótonos.

- Tamaño de los electrodos grande, ya que a mayor tamaño de los electrodos mayor área en la que distribuirse la corriente y, por tanto, menor densidad, produciéndose menos molestias y unos efectos más uniformes.
- Electrodos situados directamente sobre la zona de dolor o sobre los dermatomas correspondientes a la zona de dolor, ya que se relacionan con una mejor respuesta al tratamiento.
- La intensidad del estímulo eléctrico elevada al máximo, sin producir dolor, ya que el mayor efecto analgésico está asociado al uso de las intensidades elevadas, independientemente de la frecuencia empleada. La intensidad debería ser incrementada a lo largo de la aplicación para mantener el nivel de percepción del paciente.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Plaja J. Estimulación nerviosa eléctrica transcutánea. TENS. In: *Analgesia por medios físicos*. 1.^a ed., Madrid: McGraw-Hill/Interamericana; 2003.
2. Johnson MI, Tabasam G. A double blind placebo controlled investigation into the analgesic effects of inferential currents (IFC) and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on cold-induced pain in healthy subjects. *Physiother Theory Pract*. 1999;15:217–33.
3. Johnson MI. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and TENS-like devices: Do they provide pain relief? *Pain*. 2001;8:121–58.
4. Appenzeller O, Atkinson R. Transcutaneous nerve stimulation for the treatment of migraine and other head pain (author's transl). *MMW Munch Med Wochenschr*. 1975;117:1953–4.
5. Melzack R. Prolonged relief of pain by brief, intense transcutaneous somatic stimulation. *Pain*. 1975;1:357–73.
6. Augustinsson LE, Bohlin P, Bundsen P, Carlsson CA, Forssman L, Sjoberg P, et al. Pain relief during delivery by transcutaneous electrical nerve stimulation. *Pain*. 1977;4:59–65.
7. Long DM. Electrical stimulation for the control of pain. *Arch Surg*. 1977;112:884–8.
8. Abelson K, Langley GB, Sheppard H, Vlieg M, Wigley RD. Transcutaneous electrical nerve stimulation in rheumatoid arthritis. *N Z Med J*. 1983;96:156–8.
9. Bundsen P, Ericson K, Peterson LE, Thiringer K. Pain relief in labor by transcutaneous electrical nerve stimulation. testing of a modified stimulation technique and evaluation of the neurological and biochemical condition of the newborn infant. *Acta Obstet Gynecol Scand*. 1982;61:129–36.
10. Warfield CA, Stein JM, Frank HA. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on pain after thoracotomy. *Ann Thorac Surg*. 1985;39:462–5.
11. Taylor P, Hallett M, Flaherty L. Treatment of osteoarthritis of the knee with transcutaneous electrical nerve stimulation. *Pain*. 1981;11:233–40.
12. Harrison RF, Woods T, Shore M, Mathews G, Unwin A. Pain relief in labour using transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). A TENS/TENS placebo controlled study in two parity groups. *Br J Obstet Gynaecol*. 1986;93:739–46.
13. Conn IG, Marshall AH, Yadav SN, Daly JC, Jaffer M. Transcutaneous electrical nerve stimulation following appendicectomy: The placebo effect. *Ann R Coll Surg Engl*. 1986;68(4):191–2.
14. Lehmann TR, Russell DW, Spratt KF, Colby H, Liu YK, Fairchild ML, et al. Efficacy of electroacupuncture and TENS in the rehabilitation of chronic low back pain patients. *Pain*. 1986;26:277–90.
15. Carroll D, Tramer M, McQuay H, Nye B, Moore A. Randomization is important in studies with pain outcomes: Systematic review of transcutaneous electrical nerve stimulation in acute postoperative pain. *Br J Anaesth*. 1996;77(6):798–803.
16. Reeve J, Menon D, Corabian P. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS): A technology assessment. *Int J Technol Assess Health Care*. 1996;12:299–324.
17. Johnson MI. Does transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) work? *Clinical Effectiveness in Nursing*. 1998;2:111–20.
18. Bjordal JM, Johnson MI, Ljunggreen AE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *Eur J Pain*. 2003;7:181–8.
19. Petrofsky J, Schwab E, Cúneo M, George J, Kim J, Almalty A, et al. Current distribution under electrodes in relation to stimulation current and skin blood flow: Are modern electrodes really providing the current distribution during stimulation we believe they are? *J Med Eng Technol*. 2006;30:368–81.
20. Brown L, Tabasam G, Bjordal JM, Johnson MI. An investigation into the effect of electrode placement of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimentally induced ischemic pain in healthy human participants. *Clin J Pain*. 2007;23:735–43.
21. White PF, Ghoname EA, Ahmed HE, Hamza MA, Craig WF, Vakharia AS, et al. The effect of montage on the analgesic response to percutaneous neuromodulation therapy. *Anesth Analg*. 2001;92:483–7.
22. Wright A, Sluka KA. Nonpharmacological treatments for musculoskeletal pain. *Clin J Pain*. 2001;17:33–46.
23. Chesterton LS, Barlas P, Foster NE, Lundeberg T, Wright CC, Baxter GD. Sensory stimulation (TENS): Effects of parameter manipulation on mechanical pain thresholds in healthy human subjects. *Pain*. 2002;99:253–62.
24. Chesterton LS, Foster NE, Wright CC, Baxter GD, Barlas P. Effects of TENS frequency, intensity and stimulation site parameter manipulation on pressure pain thresholds in healthy human subjects. *Pain*. 2003;106(1-2):73–80.
25. Dean J, Bowsheer D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2006;26:314–8.
26. Shimoji K, Takahashi N, Nishio Y, Koyanagi M, Aida S. Pain relief by transcutaneous electric nerve stimulation with bidirectional modulated sine waves in patients with chronic back pain: A randomized, double-blind, sham-controlled study. *Neuromodulation*. 2007;10:42–51.
27. Johnson M, Martinson M. Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain*. 2007;130:157–65.
28. Aarskog R, Johnson MI, Demmink JH, Lofthus A, Iversen V, Lopes-Martins R, et al. Is mechanical pain threshold after transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increased locally and unilaterally? A randomized placebo-controlled trial in healthy subjects. *Physiother Res Int*. 2007;12:251–63.
29. Chen CC, Tabasam G, Johnson MI. Does the pulse frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) influence hypoalgesia? A systematic review of studies using experimental pain and healthy human participants. *Physiotherapy*. 2008;94:11–20.
30. Claydon LS, Chesterton LS, Barlas P, Sim J. Effects of simultaneous dual-site TENS stimulation on experimental pain. *Eur J Pain*. 2008;12:696–704.

31. Khadilkar A, Odebiyi DO, Brosseau L, Wells GA. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) versus placebo for chronic low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008;4:CD003008.
32. Fernández-Del-Olmo M, Álvarez-Sauco M, Koch G, Franca M, Márquez G, Sánchez JA, et al. How repeatable are the physiological effects of TENS? *Clin Neurophysiol.* 2008;119:1834–9.
33. Walsh DM, Howe TE, Johnson MI, Sluka KA. Transcutaneous electrical nerve stimulation for acute pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;2:CD006142.
34. Bennett MI, Johnson MI, Brown SR, Radford H, Brown JM, Searle RD, et al. Feasibility study of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for cancer bone pain. *The Journal of Pain; In Press, Corrected Proof.*
35. Johnson MI, Ashton CH, Bousfield DR, Thompson JW. Analgesic effects of different pulse patterns of transcutaneous electrical nerve stimulation on cold-induced pain in normal subjects. *J Psychosom Res.* 1991;35:313–21.
36. King EW, Sluka KA. The effect of varying frequency and intensity of transcutaneous electrical nerve stimulation on secondary mechanical hyperalgesia in an animal model of inflammation. *J Pain.* 2001;2:128–33.
37. Somers DL, Clemente FR. Transcutaneous electrical nerve stimulation for the management of neuropathic pain: The effects of frequency and electrode position on prevention of allodynia in a rat model of complex regional pain syndrome type II. *Phys Ther.* 2006;86:698–709.
38. De Santana JM, Walsh DM, Vance C, Rakel BA, Sluka KA. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of hyperalgesia and pain. *Curr Rheumatol Rep.* 2008;10:492–9.
39. Hingne PM, Sluka KA. Differences in waveform characteristics have no effect on the anti-hyperalgesia produced by transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in rats with joint inflammation. *J Pain.* 2007;8:251–5.
40. Petrofsky JS, Suh HJ, Gunda S, Prowse M, Batt J. Interrelationships between body fat and skin blood flow and the current required for electrical stimulation of human muscle. *Med Eng Phys.* 2008;30:931–6.
41. Bélanger AY. Transcutaneous electrical nerve stimulation. En: *Evidence-based guide to therapeutic physical agents.* Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2003.
42. Johnson MI, Ashton CH, Thompson JW. An in-depth study of long-term users of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). implications for clinical use of TENS. *Pain.* 1991;44:221–9.
43. Bowman BR, Baker LL. Effects of waveform parameters on comfort during transcutaneous neuromuscular electrical stimulation. *Ann Biomed Eng.* 1985;13:59–74.
44. Johnson M. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). En: *Kitchen S, editor. Electrotherapy: Evidence-based practice.* Edinburgh: Churchill Livingstone; 2001.
45. Garrison DW, Foreman RD. Decreased activity of spontaneous and noxiously evoked dorsal horn cells during transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Pain.* 1994;58:309–15.
46. Walsh DM, Foster NE, Baxter GD, Allen JM. Transcutaneous electrical nerve stimulation. relevance of stimulation parameters to neurophysiological and hypoalgesic effects. *Am J Phys Med Rehabil.* 1995;74:199–206.
47. Sluka KA, Walsh D. Transcutaneous electrical nerve stimulation: Basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain.* 2003;4:109–21.
48. Walsh D. TENS. clinical applications and related theory. New York: Churchill Livingstone; 1997.
49. Gopalkrishnan P, Sluka KA. Effect of varying frequency, intensity, and pulse duration of transcutaneous electrical nerve stimulation on primary hyperalgesia in inflamed rats. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;81:984–90.
50. Law PP, Cheing GL. Optimal stimulation frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on people with knee osteoarthritis. *J Rehabil Med.* 2004;36:220–5.
51. Tong KC, Lo SK, Cheing GL. Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation: Does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds? *Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88:1344–9.
52. Chen C, Johnson MI. An investigation into the effects of frequency-modulated transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimentally-induced pressure pain in healthy human participants. *J Pain.* 2009;10:1029–37.
53. Mannheimer C, Lund S, Carlsson CA. The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TNS) on joint pain in patients with rheumatoid arthritis. *Scand J Rheumatol.* 1978;7:13–6.
54. Wang B, Tang J, White PF, Naruse R, Sloninsky A, Kariger R, et al. Effect of the intensity of transcutaneous acupoint electrical stimulation on the postoperative analgesic requirement. *Anesth Analg.* 1997;85:406–13.
55. Nolan MF. Conductive differences in electrodes used with transcutaneous electrical nerve stimulation devices. *Phys Ther.* 1991;71:746–51.
56. Bolfe VJ, Guirro RR. Electrical resistance of gels and liquids used in electrotherapy for electrode-skin coupling. *Rev Bras Fisioter.* 2009;13:499–505.
57. Rao VR, Wolf SL, Gersh MR. Examination of electrode placements and stimulating parameters in treating chronic pain with conventional transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Pain.* 1981;11:37–47.
58. Walsh DM. Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture points. *Complement Ther Med.* 1996;4:133–7.
59. Koke AJ, Schouten JS, Lamerichs-Geelen MJ, Lipsch JS, Waltje EM, van Kleef M, et al. Pain reducing effect of three types of transcutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic pain: A randomized crossover trial. *Pain.* 2004;108:36–42.
60. Carabelli RA, Kellerman WC. Phantom limb pain: Relief by application of TENS to contralateral extremity. *Arch Phys Med Rehabil.* 1985;66:466–7.
61. Gadsby JG, Flowerdew MW. Transcutaneous electrical nerve stimulation and acupuncture-like transcutaneous electrical nerve stimulation for chronic low back pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2000;2:CD000210.
62. Chao AS, Chao A, Wang TH, Chang YC, Peng HH, Chang SD, et al. Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on acupuncture points during the first stage of labor: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Pain.* 2007;127:214–20.
63. Nayak S, Wenstone R, Jones A, Nolan J, Strong A, Carson J. Surface electrostimulation of acupuncture points for sedation of critically ill patients in the intensive care unit—a pilot study. *Acupunct Med.* 2008;26:1–7.
64. Yan T, Hui-Chan CW. Transcutaneous electrical stimulation on acupuncture points improves muscle function in subjects after acute stroke: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 2009;41:312–6.
65. Lee S, Lee B. Electroacupuncture relieves pain in men with chronic Prostatitis/Chronic pelvic pain syndrome: Three-arm randomized trial. *Urology.* 2009;73:1036–41.
66. White PF, Craig WF, Vakharia AS, Ghoname E, Ahmed HE, Hamza MA. Percutaneous neuromodulation therapy: Does the location of electrical stimulation effect the acute analgesic response? *Anesth Analg.* 2000;91:949–54.
67. Barlas P, Ting SL, Chesterton LS, Jones PW, Sim J. Effects of intensity of electroacupuncture upon experimental pain in healthy human volunteers: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Pain.* 2006;122:81–9.
68. Radhakrishnan R, Sluka KA. Deep tissue afferents, but not cutaneous afferents, mediate transcutaneous electrical nerve Stimulation-Induced antihyperalgesia. *J Pain.* 2005;6:673–80.

69. Sandberg ML, Sandberg MK, Dahl J. Blood flow changes in the trapezius muscle and overlying skin following transcutaneous electrical nerve stimulation. *Phys Ther.* 2007;87:1047-55.
70. Miller MG, Cheatham CC, Holcomb WR, Ganschow R, Michael TJ, Rubley MD. Subcutaneous tissue thickness alters the effect of NMES. *J Sport Rehabil.* 2008;17:68-75.
71. Han JS, Chen XH, Sun SL, Xu XJ, Yuan Y, Yan SC, et al. Effect of low- and high-frequency TENS on met-enkephalin-arg-phe and dynorphin A immunoreactivity in human lumbar CSF. *Pain.* 1991;47:295-8.
72. Hamza MA, White PF, Ahmed HE, Ghoname EA. Effect of the frequency of transcutaneous electrical nerve stimulation on the postoperative opioid analgesic requirement and recovery profile. *Anesthesiology.* 1999;91:1232-8.
73. Ghoname ES, Craig WF, White PF, Ahmed HE, Hamza MA, Gajraj NM, et al. The effect of stimulus frequency on the analgesic response to percutaneous electrical nerve stimulation in patients with chronic low back pain. *Anesth Analg.* 1999;88:841-6.
74. Rakef B, Frantz R. Effectiveness of transcutaneous electrical nerve stimulation on postoperative pain with movement. *J Pain.* 2003;4:455-64.
75. Hansson P, Ekblom A. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to placebo TENS for the relief of acute oro-facial pain. *Pain.* 1983;15:157-65.
76. Roche PA, Gijsbers K, Belch JJ, Forbes CD. Modification of haemophilic haemorrhage pain by transcutaneous electrical nerve stimulation. *Pain.* 1985;21:43-8.
77. Liu YC, Liao WS, Lien IN. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation for post-thoracotomy pain. *Taiwan Yi Xue Hui Za Zhi.* 1985;84:801-9.
78. Limoges MF, Rickabaugh B. Evaluation of TENS during screening flexible sigmoidoscopy. *Gastroenterol Nurs.* 2004;27:61-8.
79. De Angelis C, Perrone G, Santoro G, Nofroni I, Zichella L. Suppression of pelvic pain during hysteroscopy with a transcutaneous electrical nerve stimulation device. *Fertil Steril.* 2003;79:1422-7.
80. Graff-Radford SB, Reeves JL, Baker RL, Chiu D. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on myofascial pain and trigger point sensitivity. *Pain.* 1989;37:1-5.
81. Langley GB, Sheppard H, Johnson M, Wigley RD. The analgesic effects of transcutaneous electrical nerve stimulation and placebo in chronic pain patients. A double-blind non-crossover comparison. *Rheumatol Int.* 1984;4:119-23.
82. Moore SR, Shurman J. Combined neuromuscular electrical stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of chronic back pain: A double-blind, repeated measures comparison. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997;78:55-60.
83. Taylor P, Hallett M, Flaherty L. Treatment of osteoarthritis of the knee with transcutaneous electrical nerve stimulation. *Pain.* 1981;11:233-40.
84. Defrin R, Ariel E, Peretz C. Segmental noxious versus innocuous electrical stimulation for chronic pain relief and the effect of fading sensation during treatment. *Pain.* 2005;115:152-60.
85. Sikiru L, Shmaila H, Muhammed SA. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) in the symptomatic management of chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome: A placebo-control randomized trial. *Int Braz J Urol.* 2008;34:708. 13; discussion 714.
86. Thomas IL, Tyle V, Webster J, Neilson A. An evaluation of transcutaneous electrical nerve stimulation for pain relief in labour. *Aust N Z J Obstet Gynaecol.* 1988;28:182-9.
87. Robinson R, Darlow S, Wright SJ, Watters C, Carr I, Gadsby G, et al. Is transcutaneous electrical nerve stimulation an effective analgesia during colonoscopy? *Postgrad Med J.* 2001;77:445-6.
88. Fanti L, Gemma M, Passaretti S, Guslandi M, Testoni PA, Casati A, et al. Electroacupuncture analgesia for colonoscopy. a prospective, randomized, placebo-controlled study. *Am J Gastroenterol.* 2003;98:312-6.
89. Amer-Cuenca JJ, Goicoechea C, Girona-López A, Andreu-Plaza JL, Palao-Roman R, Martínez-Santa G, et al. Pain relief by applying transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) during unseated colonoscopy: A randomized double-blind placebo-controlled trial. *Eur J Pain.* 2010;8.
90. Forster EL, Kramer JF, Lucy SD, Scudds RA, Novick RJ. Effect of TENS on pain, medications, and pulmonary function following coronary artery bypass graft surgery. *Chest.* 1994;106:1343-8.
91. McCallum MI, Glynn CJ, Moore RA, Lammer P, Phillips AM. Transcutaneous electrical nerve stimulation in the management of acute postoperative pain. *Br J Anaesth.* 1988;61:308-12.
92. Cuschieri RJ, Morran CG, McArdle CS. Transcutaneous electrical stimulation for postoperative pain. *Ann R Coll Surg Engl.* 1985;67:127-9.
93. Unterrainer AF, Friedrich C, Krenn MH, Piotrowski WP, Golaszewski SM, Hitzl W. Postoperative and preincisional electrical nerve stimulation TENS reduce postoperative opioid requirement after major spinal surgery. *J Neurosurg Anesthesiol.* 2010;22:1-5.
94. Platon B, Andrell P, Raner C, Rudolph M, Dvoretzky A, Mannheimer C. High-frequency, high-intensity transcutaneous electrical nerve stimulation as treatment of pain after surgical abortion. *Pain.* 2010;148:114-9.

HOJA INFORMATIVA SOBRE EL ESTUDIO CLÍNICO SOBRE COLONOSCOPIAS

Por favor, lea esta página con detenimiento antes de decidir si participa en el estudio.

Propósito del estudio:

Evaluar la eficacia de una técnica de fisioterapia para mejorar la satisfacción de los pacientes durante la realización de una colonoscopia.

Qué hará usted durante el estudio:

Durante la realización de la colonoscopia usted no deberá hacer nada especial, simplemente contestará unas preguntas y a una sencilla encuesta al finalizar la prueba.

Cabe la posibilidad de que cinco minutos antes de iniciar la colonoscopia un fisioterapeuta le aplique en la espalda unos adhesivos conectados a una máquina. Él mismo se los quitará cinco minutos después de haber acabado la colonoscopia. Al tenerlos puestos cabe la posibilidad de que sienta un cosquilleo, no siendo en ningún caso desagradable. El fisioterapeuta estará con usted todo el tiempo, explicándole todos los detalles, no teniendo usted que hacer ningún movimiento especial.

Beneficios derivados del estudio:

La participación en el estudio podría suponer para usted un alivio importante de las molestias que, en ocasiones, produce la colonoscopia.

Riesgos derivados del estudio:

En ningún caso la participación en este estudio va a entrañar ningún peligro añadido para usted, ni va a interferir o alargar la realización normal de la colonoscopia por parte de su médico.

Confidencialidad:

El presente estudio se ajusta a la Ley Orgánica 15/1999 de 13 de diciembre de protección de datos de carácter personal, por lo que la información que proporcione será confidencial y sólo manejada por los profesionales implicados en el mismo. A esta información se le asignará un código que en ningún caso se relacionará con su nombre. Por lo tanto no debe tener ningún tipo de preocupación por la privacidad de sus datos. Este estudio ha sido aprobado por la Comisión de Dirección y por el Comité de Ética del Hospital Virgen del Castillo de Yecla.

Con quién contactar si tiene alguna pregunta sobre el estudio:

Juan José Amer Cuenca

Facultad de Ciencias Experimentales y de la Salud. Dpto. Enfermería y Fisioterapia

Universidad CEU-Cardenal Herrera (Valencia)

e-mail: juanjoamer@uch.ceu.es

N.H.C:

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ESTUDIO CLÍNICO SOBRE COLONOSCOPIAS

ACUERDO EN LA PARTICIPACIÓN EN EL ESTUDIO:

“Estudio sobre la eficacia de la aplicación de TENS en colonoscopias”

Yo(Nombre y apellidos)

he leído las hojas de información que se me ha entregado,

he recibido suficiente información sobre el estudio,

comprendo que mi participación es voluntaria,

comprendo que puedo retirarme del estudio cuando quiera sin tener que dar explicaciones.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

En de de 200

Firma: _____

D.N.I.:

INFORMANTE

Nombre:

DNI:

Firma:

La idea sobre la que se apoya la presente investigación surgió durante la realización de una jornada sobre electroterapia el día 24 de febrero de 2007. La fase de intervención sobre los pacientes se desarrolló entre los meses de junio de 2007 a junio de 2008. Posteriormente, se recopilaron los datos y se redactaron los artículos anexados. La redacción formal de esta tesis se inició el 27 de enero de 2010, finalizando a día de hoy.

Moncada, Valencia, a 25 de febrero de 2011.