



Revista Internacional de  
**Acupuntura**

www.elsevier.es/acu



## Formación continuada

# Modelo de biocircuitos para comprender los efectos y mecanismos de la acupuntura neurofisiológica



Salvador Quiroz González<sup>a,b,\*</sup>, Emma López Espinoza<sup>a</sup>, Agnese Olivera Toro<sup>a</sup>,  
Josefina Ramírez Gómez<sup>a</sup>, Joshua Cabrera Rodríguez<sup>a</sup>, Efrén Jiménez Osorio<sup>a</sup>,  
Ismael Jiménez Estrada<sup>c</sup> y Rubén Fossion<sup>d,e</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Acupuntura y Rehabilitación, Universidad Estatal del Valle de Ecatepec, Ecatepec, Estado de México, México

<sup>b</sup> Instituto de Ciencias y Medicina Integrativa, Ciudad de México, México

<sup>c</sup> Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México

<sup>d</sup> Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

<sup>e</sup> Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 1 de octubre de 2018

Aceptado el 5 de octubre de 2018

On-line el 3 de noviembre de 2018

#### Palabras clave:

Acupuntura  
Biocircuitos  
Informática  
Neurofisiología

### R E S U M E N

Para comprender los mecanismos de acción de la acupuntura es indispensable el estudio multidisciplinario y la participación de diferentes disciplinas como las neurociencias, la informática, la cibernética y la teoría de sistemas. En el presente artículo se propone un modelo denominado "biocircuitos" que se construye a partir de la evidencia actual sobre los mecanismos de acción de la acupuntura a nivel cardíaco, vascular, digestivo y nociceptivo. Este modelo está constituido por elementos de un sistema informático: dispositivos de entrada, vías de comunicación, centro de procesamiento y almacenamiento, transmisión de la respuesta y dispositivos de salida. Son elementos que, en términos neurobiológicos, equivalen a receptores, vías aferentes, núcleos del sistema nervioso central, vías eferentes y efectores. Tales elementos son comunes a los diferentes sistemas del organismo, lo que permitiría integrar posibles mecanismos de regulación homeostática o sistemas de control basados principalmente en retroalimentación.

© 2018 Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

## A model of biocircuits to understand the effects and mechanisms of neurophysiological acupuncture

### A B S T R A C T

To understand the mechanisms of acupuncture is indispensable a multidisciplinary approach and the participation of several disciplines such as neurosciences, computers, cybernetics and systems theory. In the present article we propose a model called "biocircuits" that is constructed from the current evidence of the effect of acupuncture at the cardiac, vascular, digestive and nociception systems. This model included elements of a

#### Keywords:

Acupuncture  
Biocircuits  
Informatics  
Neurophysiology

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [sqg20@yahoo.com.mx](mailto:sqg20@yahoo.com.mx) (S. Quiroz González).

<https://doi.org/10.1016/j.acu.2018.10.002>

1887-8369/© 2018 Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

computer system such as: input devices, communication channels, processing and storage centers, response transmission and output devices, which are elements that in biological terms are equivalent to receptors, afferent pathways, a central nervous system and efferent pathways and effectors. Such elements are common at the different systems of the organism which would allow the integration of possible mechanisms of homeostatic regulation or control systems based mainly on feedback.

© 2018 Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

---

## Introducción

La acupuntura es un tratamiento que forma parte de la Medicina Tradicional China, el cual consiste en la introducción de agujas finas en sitios específicos del cuerpo, denominados puntos de acupuntura<sup>1</sup>. Actualmente cuenta con la aprobación de la Organización Mundial de la Salud, la Sociedad Americana del Dolor, el Centro Nacional de Medicina Integrativa de los Estados Unidos de Norteamérica, así como del Instituto Nacional de Salud de Canadá y de los Estados Unidos de Norteamérica<sup>1</sup>. Ensayos clínicos y estudios de ciencia básica han demostrado su efectividad en distintas condiciones de salud, como la obesidad<sup>2</sup>, las enfermedades cardiovasculares<sup>3</sup>, las enfermedades crónicas inflamatorias<sup>4</sup>, las patologías gastrointestinales<sup>5,6</sup>, las neurológicas<sup>7,8</sup>, las alteraciones endocrinas<sup>9,10</sup>, las patologías del sistema respiratorio<sup>11,12</sup>, las renales<sup>13</sup> y diferentes tipos de dolor<sup>14-17</sup>.

Aunque se ha demostrado la efectividad de la acupuntura, aún se desconocen algunos de sus mecanismos de acción<sup>1</sup>. En este sentido, un tópico de particular interés es la propuesta de modelos sistémicos cuyo enfoque multidisciplinario, y mediante la participación de diversas disciplinas como las neurociencias, las matemáticas, la informática, la teoría de sistemas y la cibernética, entre otras, busca comprender la mecanística de la acupuntura, teniendo como común denominador al sistema nervioso y endócrino<sup>10,18-21</sup>.

John von Neumann fue uno de los principales matemáticos de su tiempo interesado en las computadoras. En la década de 1940 ayudó a diseñar 2 de las primeras computadoras electrónicas digitales con programa almacenado. También fue de los primeros que explicaron la organización funcional de las computadoras modernas<sup>22</sup>. Von Neumann concibió la computadora como análogo de un cerebro: con un órgano de entrada (análogo a las neuronas sensoriales); una memoria; un órgano aritmético y lógico (análogo a las neuronas asociativas), y un órgano de salida (análogo a las neuronas motoras)<sup>22</sup>. Su experiencia con las computadoras lo convenció de que los cerebros y las computadoras, ambos relacionados con el procesamiento de la información, deberían estudiarse mediante una nueva disciplina que denominó la teoría de los autómatas<sup>22</sup>. Al igual que una computadora, el cerebro humano ingresa, procesa, almacena y genera información. Sin embargo, el cerebro es el resultado de un prolongado proceso de evolución, con una enorme cantidad de procesos de selección; los cuales difieren completamente de aquellos que se encuentran relacionados con la arquitectura de la computadora de Von Neumann.

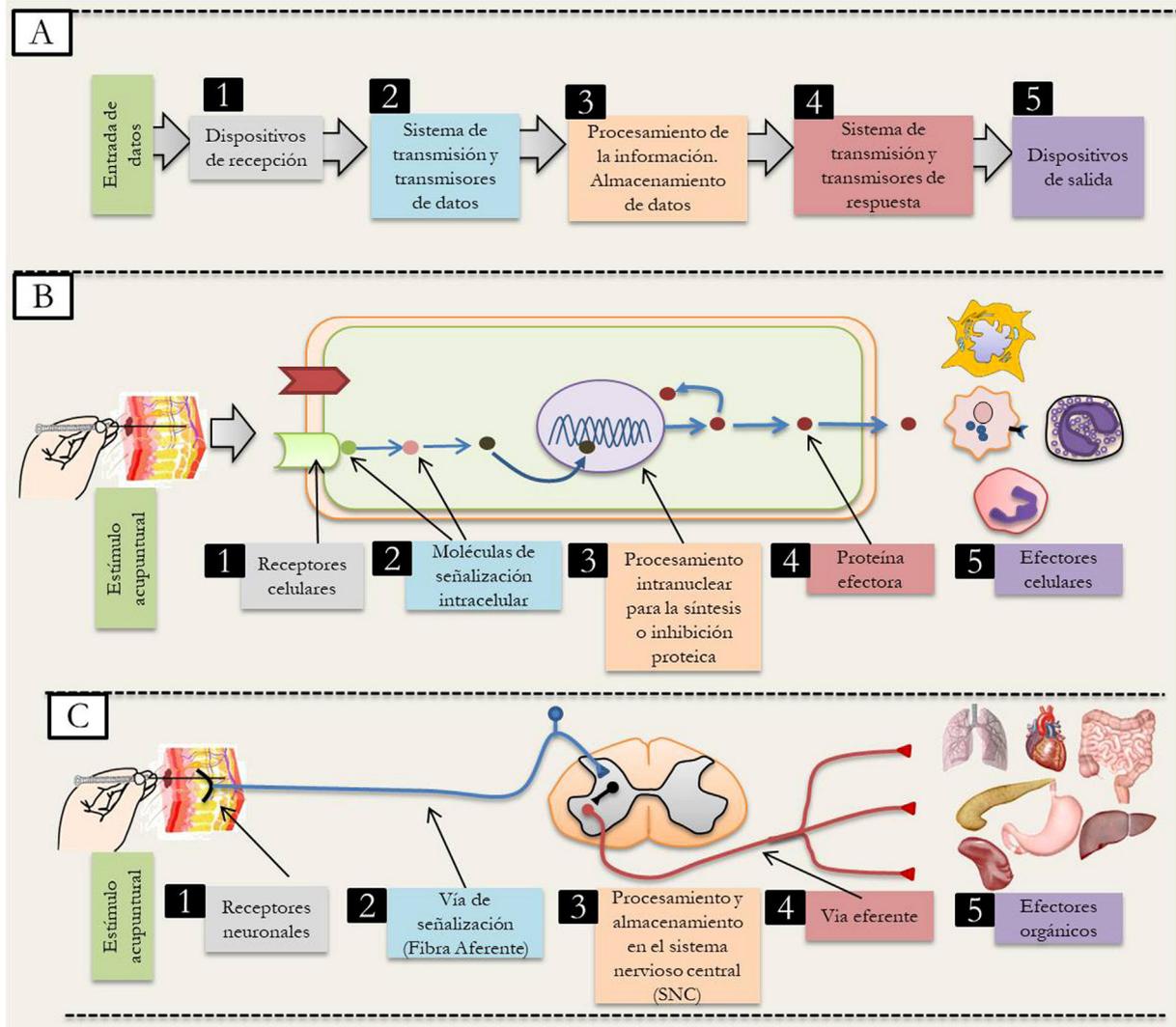
En el presente artículo se propone un modelo básico denominado "biocircuitos" que toma como referencia la evidencia actual sobre la acupuntura, así como elementos de un sistema informático constituido de dispositivos de entrada, vías de comunicación, centro de procesamiento, transmisión de la respuesta y dispositivos de salida. Para tal propuesta, se analizan los efectos y mecanismos de la acupuntura a nivel cardíaco, vascular, digestivo y de aquellos concernientes a la nocicepción. Se establece una correspondencia entre los dispositivos de entrada con los receptores somáticos periféricos, ya que constituyen los primeros elementos neuronales estimulados por la aguja de acupuntura al momento de introducirse en la piel del organismo<sup>18</sup>. Por otra parte, las vías de comunicación serían las fibras aferentes, mientras que el centro de procesamiento serían los diversos núcleos del sistema nervioso central (SNC) y que participan en las acciones neuromoduladoras de la acupuntura<sup>4,23</sup>. En cambio, la transmisión de las respuestas sería a través de las vías eferentes, y los dispositivos de salida con los efectores (músculos, glándulas y tejido conectivo)<sup>24</sup>. Con base en ello, el modelo de biocircuitos constituye un primer abordaje general hacia el estudio de los mecanismos de acción asociados a los efectos terapéuticos de la acupuntura, que están dispuestos en un circuito neuronal básico integrado por 5 elementos de un sistema informático e interrelacionados entre sí.

---

## Informática y circuitos neuronales

Con los nuevos enfoques sistémicos, el organismo se considera como una estupenda máquina biológica formada por diferentes elementos que permiten establecer relaciones, asociaciones y la posibilidad de recordarlas<sup>25</sup>. Para la organización funcional de las estructuras que participan en los efectos sistémicos desencadenados por la acupuntura, es indispensable considerar algunos conceptos de la informática. Un sistema automatizado está conformado por elementos básicos como dispositivos de entrada, vías de comunicación, centros de procesamiento y de almacenamiento y cableado para enviar las respuestas, así como dispositivos de salida. Tales elementos se encuentran organizados en asas de retroalimentación donde la respuesta siempre será acorde a la información que ingresa al sistema<sup>26</sup>.

El sistema nervioso cumple funciones de recibir los estímulos, transmitirlos, procesarlos, almacenarlos e interpretarlos para seleccionar la respuesta más adecuada al estímulo que se está recibiendo<sup>27</sup>. Estos 5 elementos forman un circuito de redes neuronales y, al igual que un sistema automatizado, está



**Figura 1 – Elementos generales que integran un sistema informático y su relación con el sistema nervioso. A) Muestra los 5 elementos de un sistema informático numerado desde los dispositivos de recepción (1) hasta los dispositivos de salida (5). B) Relación de los 5 elementos del sistema informático con los procesos suscitados a nivel celular posterior al estímulo acupuntural. C) Estructuras nerviosas que integran un circuito neuronal básico activado por el estímulo acupuntural y su relación con los elementos del sistema informático.**

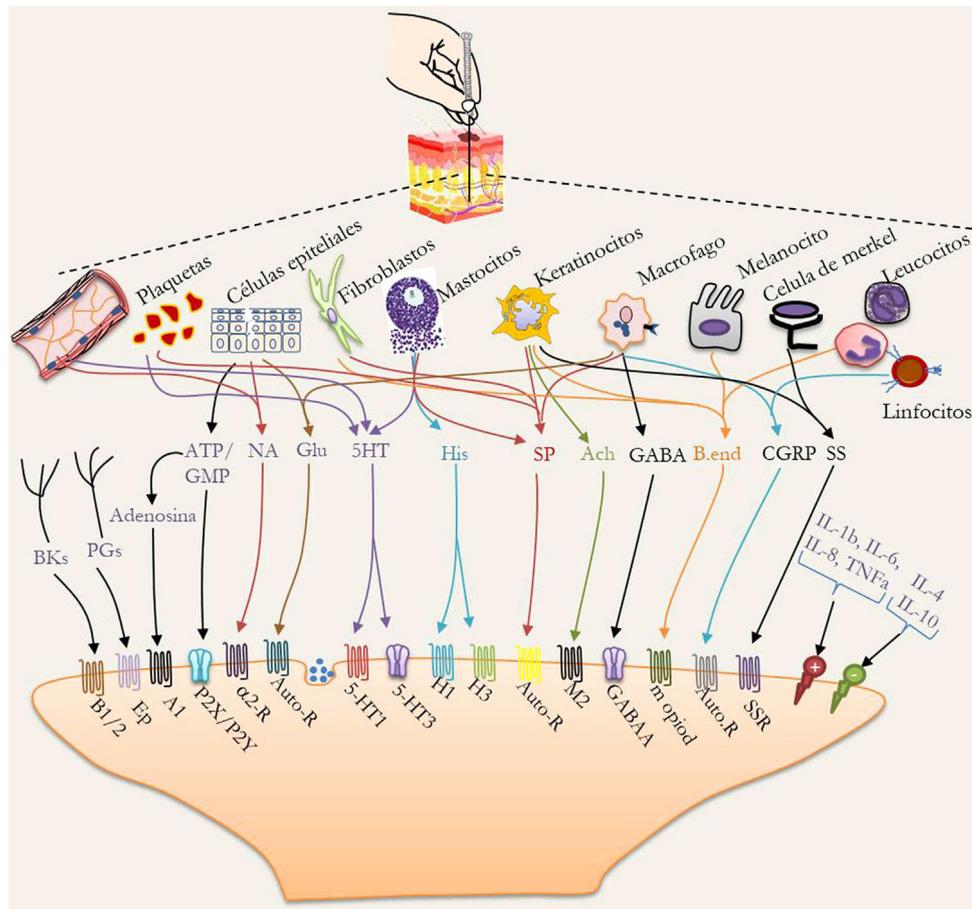
formado por dispositivos de entrada-salida constituidos por un receptor, una vía aferente, un centro de integración, una vía eferente y un efector (fig. 1A).

### Dispositivos de entrada

Un dispositivo de entrada es un dispositivo periférico que se emplea para enviar instrucciones y datos al centro de procesamiento<sup>25</sup>. Los dispositivos de entrada permiten que el sistema informático interactúe con el mundo exterior al ingresar los datos al interior del sistema. En el organismo, los receptores de las células constituyen los dispositivos de entrada. Su objetivo es recibir los diferentes tipos de información o estímulos externos para posteriormente transducirlos

en señales químicas y/o eléctricas<sup>28,29</sup>. Se encuentran en las membranas plasmáticas de las células epiteliales, musculares, nerviosas y de tejido conectivo. Otros más se localizan en los organelos y el núcleo celular.

Al momento de introducir la aguja de acupuntura en los tejidos se activan diferentes receptores sensoriales localizados en piel, fascia, músculo y tejido conectivo<sup>30</sup>. El grado de actividad de los receptores varía en cuanto a la magnitud del estímulo y por el grado de sensibilidad y las propiedades del receptor activado<sup>28</sup>. Tal y como se ha demostrado en diferentes tipos de receptores sensoriales, como los quimiorreceptores a citocinas inflamatorias, adenosina, glutamato, sustancia P, endorfinas y noradrenalina (fig. 2), al igual que diferentes tipos de mecanorreceptores como los corpúsculos de Meissner, Pacini, Ruffini, Krause y Merkel<sup>28,29</sup>.



**Figura 2 – Receptores localizados en las fibras aferentes y que son activados por la acupuntura. 5HT: serotonina; A<sub>1</sub>: receptor de adenosina 1; α<sub>2</sub>R: receptor alfa 2; Ach: acetilcolina; ATP: trifosfato de adenosina; Auto-R: autorreceptores; β-END: betaendorfinas; BK: bradicinina; CGRP: péptido relacionado con el gen de la calcitonina; GABA: ácido gamma-aminobutírico; Glu: glutamato; GMP: monofosfato de guanosina; H<sub>1</sub>: receptor a histamina 1; H<sub>2</sub>: receptor a histamina 2; His: histamina; IL: interleucina; M<sub>2</sub>: receptor muscarínico; NA: noradrenalina; P<sub>2</sub>X: receptor purinérgico 2X; P<sub>2</sub>Y: receptor purinérgico 2Y; PG: prostaglandina; SP: sustancia P; SS: somatostatina; SSR: receptor de somatostatina; TNF-α: factor de necrosis tumoral alfa. Adaptado de Zhang et al<sup>59</sup>.**

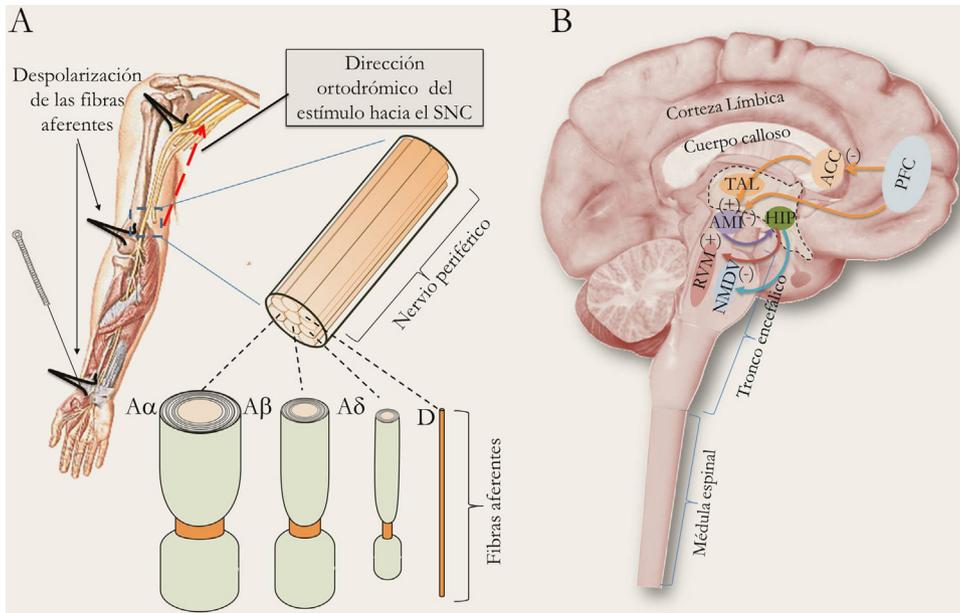
## Transmisión de datos

La transmisión de datos ocurre a través de un medio de comunicación que, en términos informáticos, corresponde al bus de datos o placa base; la cual permite la transferencia eficiente e ininterrumpida de datos<sup>25</sup>. En un animal, la transmisión de datos hacia el centro de procesamiento recae en las fibras aferentes localizadas en los nervios periféricos (fig. 3A), así como en los vasos sanguíneos. En función de la intensidad y la frecuencia de estimulación de la acupuntura, se pueden activar diferentes tipos de fibras aferentes<sup>29,31</sup>. Para el caso de la acupuntura, se ha mostrado la activación de fibras Aα, Aβ, Aδ y C<sup>29</sup>.

## Centro de integración

Las acciones de la acupuntura se integran y procesan a diferentes niveles del SNC (fig. 3B), siendo uno de ellos la médula

espinal; la cual constituye el centro de integración de los reflejos somatoviscerales segmentarios, miotáticos y de la nocicepción<sup>15,16</sup>. Existen otros niveles de procesamiento que participan en la modulación de la función visceral mediante acupuntura. El tronco del encéfalo (bulbo raquídeo, protuberancia, mesencéfalo) contiene núcleos como el núcleo del tracto solitario, el núcleo motor dorsal del vago y la médula rostral ventrolateral<sup>31</sup>. Su función es provocar una acción facilitadora o represora en función del estímulo transmitido por el sistema simpático o parasimpático<sup>24,32,33</sup>. En el tronco del encéfalo también se localizan los núcleos del rafe, el locus cerúleo y la sustancia gris periacueductal, los cuales son de relevancia para la nocicepción y la analgesia acupuntural<sup>34</sup>. Otro nivel de procesamiento corresponde al diencefalo (tálamo, hipotálamo, subtálamo, epitálamo), donde la acupuntura activa diversos núcleos del hipotálamo indispensables para el funcionamiento de múltiples procesos biológicos, tales como la secreción de hormonas y la regulación del sistema autónomo. A través del tálamo, la acupuntura modula las conexiones funcionales entre la corteza y



**Figura 3 – A) Fibras aferentes que participan en la transmisión de los estímulos generados por la acupuntura. La despolarización de las fibras aferentes primarias localizadas en los puntos de acupuntura es indispensable para la generación de los potenciales de acción en los nervios periféricos. B) Centros de procesamiento que participan en los efectos moduladores de la acupuntura. ACC: corteza cingulada anterior; AMI: amígdala; HIP: hipotálamo; NMDV: núcleo motor dorsal del vago; PFC: corteza prefrontal; RVM: médula rostral ventrolateral; SNC: sistema nervioso central; TAL: tálamo.**

las estructuras subcorticales<sup>34</sup>. Por ejemplo, se ha demostrado que la acupuntura activa los centros de procesamiento de las funciones cerebrales superiores, como la corteza prefrontal, así como diversos centros relacionados con el procesamiento de las emociones, tales como el hipocampo, el complejo amigdalino, el área septal, el lóbulo límbico y la corteza del cíngulo, entre otros (fig. 3B). El grado de activación de los distintos centros neuronales mediante la acupuntura depende del sitio de estimulación, la frecuencia, la intensidad y la modalidad de estimulación periférica.

### Transmisión de la respuesta

La respuesta al estímulo corresponde a la transferencia de datos del centro de procesamiento hacia los efectores a través de un canal de comunicación<sup>25</sup>. Para el caso del sistema biológico, la transmisión de la respuesta ocurre a través de las fibras eferentes (fig. 3). Se ha evidenciado que los elementos de salida de los circuitos que participan en la respuesta a la acupuntura son las fibras eferentes, ya sea simpáticas, parasimpáticas o somáticas<sup>24,29,33</sup>. También se ha mostrado que la activación del hipotálamo, como resultado de la acupuntura, induce la liberación de hormonas; las cuales viajan por el torrente sanguíneo hacia los sitios de acción u órganos blancos, como en el caso de la hormona adrenocorticotropa<sup>21</sup>.

### Dispositivos de salida

Finalmente, los comandos o señales de respuesta que emergen de los centros de procesamiento y viajan a través de

los canales de comunicación arriban a los dispositivos de salida<sup>25</sup>. En los dispositivos de salida se ve reflejada la señal con información procesada en los centros de integración. En los humanos, los dispositivos de salida tienen su equivalente con los efectores orgánicos que constituyen los sistemas cardiovascular, genitourinario, gastrointestinal, endocrino, respiratorio, osteomioarticular y hematopoyético (fig. 4).

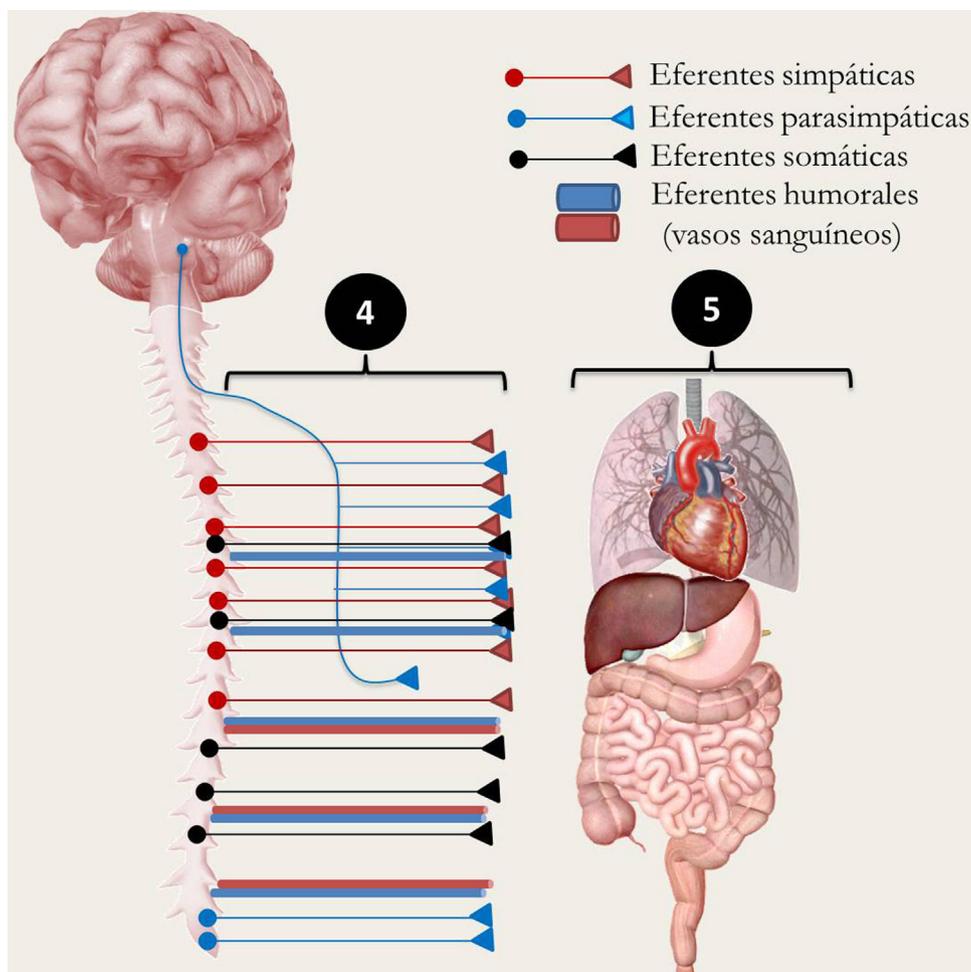
### Propuestas de circuitos

A continuación se proponen algunos circuitos informáticos que participan en la regulación de la actividad cardíaca y vascular y del sistema digestivo, así como en la nocicepción.

### Regulación cardíaca

#### Dispositivos de entrada

En algunos estudios se ha mostrado que la activación de los corpúsculos de Pacini, así como los de Meissner es capaz de inducir los efectos moduladores que ejerce la acupuntura a nivel cardiovascular<sup>35</sup>. También se ha demostrado que la activación de los receptores de norepinefrina o adenosina ejerce acciones cardiovasculares semejantes a los de la acupuntura<sup>36</sup>. Por otra parte, la excitación de los receptores sensoriales periféricos es crucial para activar las fibras aferentes y, en consecuencia, la transmisión del estímulo acupuntural hacia el centro de procesamiento cardíaco<sup>35,37</sup>.



**Figura 4 – Fibras eferentes y efectores que participan en los efectos moduladores de la acupuntura. Se numeran como elemento (4) a las eferentes simpáticas (rojo), parasimpáticas (azul), somáticas (negro), así como los vasos sanguíneos (azul y rojo). También se muestran el efector cardíaco, el pulmonar y el gastrointestinal.**

### Transmisión de información

La electroacupuntura (EA) en los puntos *Neiguan* (PE 6), *Jianshi* (PE 5), *Zusanli* (E 36) y *Shangjuxu* (E 37) provoca la activación de las fibras A $\delta$  del nervio mediano y peroneo profundo y deprimen significativamente las respuestas cardiovasculares simpático-excitadoras reflejas inducidas por distensión gástrica<sup>38,39</sup>. La activación por EA (50Hz) de fibras del grupo A $\alpha$ , A $\beta$  y A $\delta$  en el nervio femoral y el nervio ciático produce bradicardia, y la de las fibras C taquicardia<sup>40</sup>. En modelos animales de isquemia, la acupuntura en el punto PE 6 (localizado sobre el nervio mediano) disminuye la apoptosis y promueve la angiogénesis en el área de infarto a través de la activación de fibras aferentes del grupo A $\delta$ <sup>41</sup>. La EA sobre PE 5 y E 36, puntos de acupuntura localizados sobre el nervio mediano y el nervio peroneo profundo, a intensidades de reclutamiento de fibras A $\delta$  y C, reduce la ocurrencia de extrasístoles ventriculares en un modelo de arritmia experimental<sup>35,37</sup>.

### Centro de integración

Los efectos inhibidores de la EA sobre las respuestas presoras reflejas se efectúan a través de centros de integración. Estos centros son: núcleo arcuato del hipotálamo ventral, núcleo rafe pálido, sustancia gris periacueductal ventrolateral y médula rostral ventrolateral<sup>42,43</sup>. Para reducir el daño producido por la isquemia en el miocardio, se ha demostrado que la EA ejerce un efecto modulador sobre la médula rostral ventrolateral; así como en las neuronas de las astas dorsales de la médula espinal<sup>35</sup>.

### Vías eferentes y efectores

La inhibición de la salida simpática de la médula rostral ventrolateral hacia el corazón constituye la vía eferente del circuito que participa en los efectos cardioinhibidores de la EA<sup>35</sup>. En este circuito participan opiáceos endógenos, GABA (ácido gamma-aminobutírico) y óxido nítrico. Alternativamente, los

efectos presores y cronotrópicos de la EA se asocian a la excitación del nervio cardíaco simpático<sup>44</sup>.

## Regulación vascular

### Vía aferente

La estimulación de las fibras A $\beta$  y A $\delta$  en el nervio cubital incrementa el flujo sanguíneo cortical durante el tratamiento con acupuntura en puntos del canal de Corazón<sup>40</sup>. La estimulación de las raíces dorsales del sexto segmento lumbar de la médula espinal incrementa el flujo sanguíneo intra- y extrafascicular del nervio ciático sin provocar cambios en la presión arterial<sup>45,46</sup>. La acupuntura aplicada al músculo paravertebral (adjunto a la vértebra L6) produce efectos similares a los descritos anteriormente. Por su parte, el estímulo de fibras A $\delta$  del nervio ciático aumenta el flujo sanguíneo en el músculo; así como la presión arterial<sup>29</sup>.

### Centro de integración y procesamiento

El núcleo basal de Meynert constituye el centro de integración para inducir la vasodilatación intracerebral por la estimulación mediante EA de los puntos de acupuntura en el canal del Corazón<sup>47</sup>.

### Transmisión de la respuesta y efector

Las fibras colinérgicas que emergen del núcleo basal de Meynert y la liberación de acetilcolina constituyen la salida eferente que induce el incremento del flujo sanguíneo cortical, a efecto de la estimulación acupuntural, en puntos localizados sobre el nervio cubital<sup>47</sup>. Por su parte, la activación mediante EA de los nervios eferentes parasimpáticos pélvicos incrementa el flujo sanguíneo uterino<sup>48</sup>. El incremento en el flujo sanguíneo ovárico por EA se lleva a cabo por vía de los nervios simpáticos y los receptores  $\alpha$  del ovario<sup>49,50</sup>.

## Regulación de la digestión

### Vía aferente

La activación de las fibras A $\delta$  y C mediante acupuntura constituye la vía aferente para modificar la motilidad del tubo digestivo<sup>51</sup> y modular la secreción de jugo gástrico<sup>24,52</sup>. La EA de tales fibras ejerce efectos regenerativos sobre la mucosa gástrica al inducir la expresión del factor de crecimiento epidérmico y del factor trébol intestinal, así como incrementar la expresión de la ciclooxygenasa-2<sup>53</sup>. Por otro lado, las aferentes cutáneas y musculares de los nervios periféricos intercostales T9, T10, T11 y T12 incrementan la motilidad gástrica y la secreción de catecolaminas<sup>29</sup>.

### Centro de procesamiento

El núcleo motor dorsal del vago constituye un centro de procesamiento asociado a las repuestas colinérgicas involucradas en los reflejos somatoviscerales no segmentarios<sup>51,54</sup>.

### Transmisión de la respuesta y efector

La disminución en la motilidad gástrica, así como en la secreción de ácido gástrico que se induce por acupuntura abdominal, ocurre por un incremento en la actividad eferente simpática. La reducción en la secreción ácida mediante EA se acompaña de un incremento en la concentración plasmática de somatostatina, péptido intestinal vasoactivo y betaendorfinas<sup>55</sup>, así como de una reducción en las concentraciones plasmáticas de gastrina<sup>56</sup>. Por el contrario, el incremento en la motilidad gástrica y la secreción de ácidos gástricos se produce por un aumento en la actividad del nervio vago<sup>24</sup>.

## Regulación de la nocicepción

### Dispositivos de entrada

Diversas evidencias experimentales han demostrado que la activación de receptores polimodales, receptores adenosina A1<sup>57</sup>, así como diversos neuromoduladores como la sustancia P, el óxido nítrico, la norepinefrina y las citocinas proinflamatorias se liberan por el traumatismo de una aguja<sup>29,58,59</sup>.

### Transmisión de la información

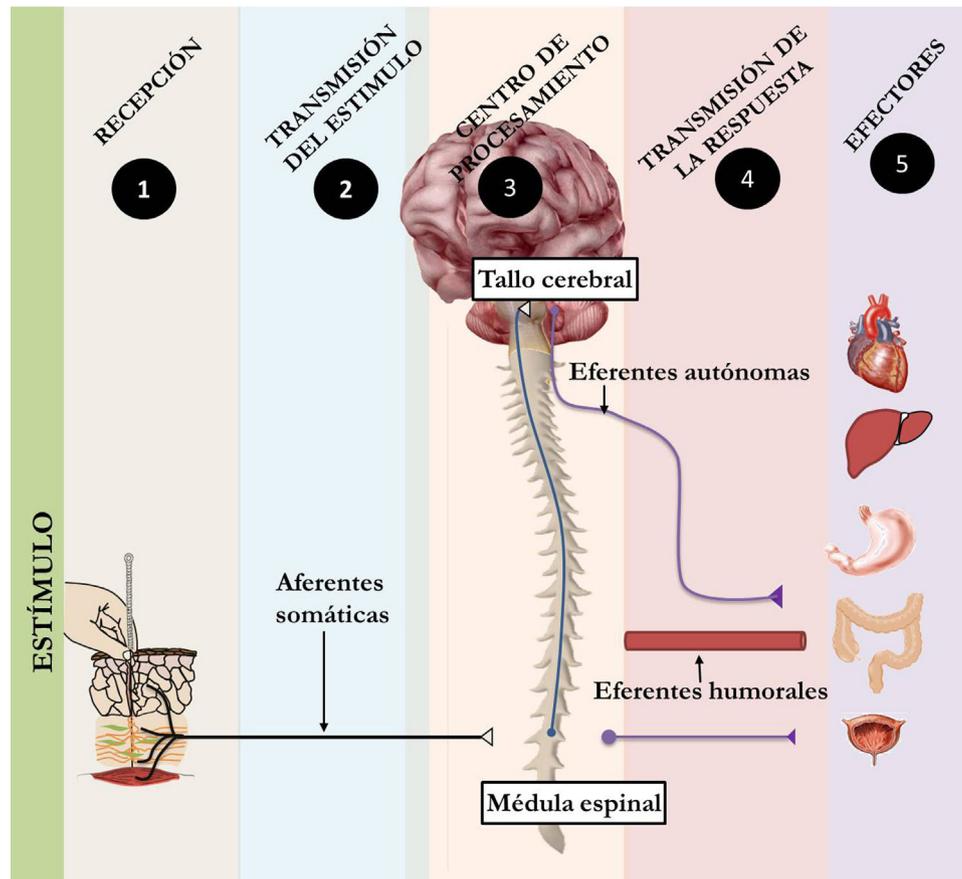
La estimulación de fibras A $\delta$  y C por la EA (a 2 Hz) constituyen la vía aferente para inducir una depresión de larga duración sobre la actividad de neuronas espinales que reciben información nociceptiva. También se ha mostrado que la EA, a través de la activación de las fibras A $\beta$  y A $\delta$ , reduce la excitabilidad de las neuronas nociceptivas espinales en un modelo de colitis<sup>60</sup>. En el roedor, la destrucción selectiva de fibras C reduce la analgesia inducida por EA, incluso cuando se bloquea la conducción de las fibras A $\beta$  y A $\delta$ , lo que sugiere la participación de los 3 tipos de fibras en el control de la nocicepción<sup>34</sup>.

### Centro de integración y procesamiento

En la analgesia inducida mediante acupuntura participan núcleos supraespinales, los cuales son: sustancia gris periaqueductal, núcleo magno del rafe y la formación bulbar rostro ventrolateral<sup>34</sup>. La EA también modula la transmisión nociceptiva en otros centros nerviosos de integración y procesamiento, tales como la región caudal del núcleo del caudado (generando analgesia), el tálamo y la corteza somatosensorial, así como la ínsula, la corteza prefrontal dorsolateral y la corteza cingular<sup>59</sup>. En la analgesia inducida por EA del dolor inflamatorio se ha demostrado la participación del núcleo paraventricular del hipotálamo<sup>61</sup>.

### Transmisión de la respuesta y efector

Se ha demostrado que de los centros de procesamiento activados por la acupuntura manual así como la EA emergen vías eferentes que convergen en la médula espinal y que inhiben, tanto de forma pre- como postsináptica, las señales nociceptivas provenientes de la periferia<sup>16</sup>. Tales vías neuronales utilizan el GABA, la glicina, la serotonina y los péptidos



**Figura 5 – Resumen de los 5 elementos que participan en los efectos moduladores de la acupuntura. Se muestran los elementos de recepción, transmisión del estímulo, centro de procesamiento y almacenamiento, transmisión de la respuesta y efectores.**

opiáceos como mediadores<sup>62</sup>. Entre los mecanismos eferentes también se encuentra la liberación del hipotálamo de la hormona liberadora de corticotropina, que a su vez induce la liberación de la hormona adrenocorticotropa por la adenohipofisis, y posteriormente cortisol de las glándulas adrenales (eje hipotálamo-hipofisis-adrenal)<sup>10</sup>, dando como resultado la depresión de la actividad de las células proinflamatorias, así como de las señales nociceptivas activadas por los mediadores de la inflamación<sup>16,61</sup> (fig. 5).

## Perspectivas

El presente modelo constituye el primer abordaje para el estudio y comprensión de los mecanismos de acción de la acupuntura a partir de la compartimentalización y organización de circuitos neuronales formados por elementos de un sistema informático. Para ejemplificar, se consideraron las evidencias experimentales de los efectos de la acupuntura en los sistemas cardiovascular, digestivo y nociceptivo. No obstante, el presente modelo de circuitos no profundiza en los mecanismos de control o dinámica regulatoria sistémica, los cuales se analizarán posteriormente desde un enfoque de las

ciencias de la complejidad y dinámica de sistemas. El objetivo es encontrar rasgos generales compartidos entre los diferentes elementos que puedan explicar la acupuntura desde la óptica holística-sistémica.

El modelo de biocircuitos de la acupuntura tiene como fundamento la teoría general de sistemas en la que todo se compartimentaliza y cada elemento se coloca sobre una caja negra o cuadro para, posteriormente, definir la forma en que se interrelacionan cada uno de los elementos o compartimentos entre sí. Este tipo de análisis es de uso frecuente en diversas áreas de ingeniería, computación y otras con el objetivo de establecer la ruta crítica para llevar a cabo alguna actividad o proyecto (diagrama de flujo), así como para diseñar sistemas de control.

Por lo tanto, en el modelo de biocircuitos se puede observar que, al compartimentalizar los efectos y mecanismos de la acupuntura en 5 elementos, puede definirse la forma en que se encuentran interrelacionando entre sí a través de elementos de entrada y salida, con rutas críticas hacia los centros de procesamiento y efectores. Asimismo, tales elementos son comunes a los diferentes sistemas del organismo; lo que permitiría integrar posibles mecanismos de la regulación homeostática o sistemas de control basados principalmente en retroalimentación.

## Conclusión

Existe evidencia experimental para proponer el modelo de biocircuitos de la acupuntura, que tiene como base la teoría general de sistemas, el cual permite iniciar el estudio de los mecanismos de acción de la acupuntura a partir de la organización de circuitos neuronales formados por elementos de un sistema informático.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cao BB. Current status and future prospects of acupuncture and traditional Chinese medicine in Canada. *Chin J Integr Med.* 2015;21:166-72.
- Zhang K, Zhou S, Wang C, Xu H, Zhang L. Acupuncture on Obesity: Clinical Evidence and Possible Neuroendocrine Mechanisms. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2018;14:1-15.
- De Lima Pimentel R, Duque AP, Moreira BR, Rodrigues LF. Acupuncture for the treatment of cardiovascular diseases: a systematic review. *J Acupunct Meridian Stud.* 2018;18:1-8.
- Ulloa L, Quiroz-Gonzalez S, Torres-Rosas R. Nerve Stimulation: Immunomodulation and Control of Inflammation. *Trends Mol Med.* 2017;23:1103-20.
- Zhu L, Ma Y, Ye S, Shu Z. Acupuncture for Diarrhoea-Predominant Irritable Bowel Syndrome: A Network Meta-Analysis. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2018;2018:1-12.
- Li H, Wang YP. Effect of auricular acupuncture on gastrointestinal motility and its relationship with vagal activity. *Acupunct Med.* 2012;31:57-64.
- Cai W, Shen WD. Anti-Apoptotic Mechanisms of Acupuncture in Neurological Diseases: A Review. *Am J Chin Med.* 2018;46:515-35.
- Escobar-Corona C, Torres-Castillo S, Rodríguez-Torres EE, Segura-Alegría B, Jiménez-Estrada I, Quiroz-González S. Electroacupuncture improves gait locomotion, H-reflex and ventral root potentials of spinal compression injured rats. *Brain Res Bull.* 2017;131:7-17.
- She Y, Ma L, Zhu J, Qi C, Wang Y, Tang L, et al. Comparative study on skin temperature response to menstruation at acupuncture points in healthy volunteers and primary dysmenorrhea patients. *J Tradit Chin Med.* 2017;37:220-8.
- Yu JS, Zeng BY, Hsieh CL. Acupuncture stimulation and neuroendocrine regulation. *Int Rev Neurobiol.* 2013;111:125-40.
- Wang J, Li J, Yu X, Xie Y. Acupuncture Therapy for Functional Effects and Quality of Life in COPD Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Biomed Res Int.* 2018;20:1-19.
- Xie Y, Wang JJ, Li GY, Li XL, Li JS. Acupuncture for idiopathic pulmonary fibrosis: Protocol for a systematic review. *Medicine (Baltimore).* 2017;96:1-4.
- Yu JS, Ho CH, Wang HY, Chen YH, Hsieh CL. Acupuncture on Renal Function in Patients with Chronic Kidney Disease: A Single-Blinded, Randomized, Preliminary Controlled Study. *J Altern Complement Med.* 2017;23:624-31.
- Liang R, Li P, Peng X, Xu L, Fan P, Peng J, et al. Efficacy of acupuncture on pelvic pain in patients with endometriosis: study protocol for a randomized, single-blind, multi-center, placebo-controlled trial. *Trials.* 2018;19:2-6.
- Quiroz-González S, Li L, Reza Xavier A, Jiménez Estrada I. Electroacupuntura y neuromodulación en la médula espina: implicaciones en el dolor neuropático. *Rev Int Acupuntura.* 2017;11:85-95.
- Quiroz González S, Rodríguez Torres E, Jiménez Estrada I. Multifactorial influences of electroacupuncture on non-painful and painful sensory pathways in the spinal cord: an option for the treatment of neuropathic pain. En: Costa A, Villalba E, editores. *Horizons in Neuroscience Research.* New York: Nova Science Publishers; 2016. p. 1-27.
- Coutaux A. Non-pharmacological treatments for pain relief: TENS and acupuncture. *Joint Bone Spine.* 2017;84:657-61.
- Quiroz-González S, Torres-Castillo S, López-Gómez RE, Jiménez Estrada I. Acupuncture Points and Their Relationship with Multireceptive Fields of Neurons. *J Acupunct Meridian Stud.* 2017;10:81-9.
- Quiroz-González S, Segura-Alegría B, Jiménez-Estrada I. Depressing effect of electroacupuncture on the spinal non-painful sensory input of the rat. *Exp Brain Res.* 2014;232:2721-9.
- Quiroz-González S, Segura-Alegría B, Guadarrama-Olmos JC, Jiménez-Estrada I. Cord dorsum potentials evoked by electroacupuncture applied to the hind limbs of rats. *J Acupunct Meridian Stud.* 2014;7:25-32.
- Wang SJ, Zhang JJ, Yang HY, Wang F, Li ST. Acupoint specificity on acupuncture regulation of hypothalamic-pituitary-adrenal cortex axis function. *BMC Complement Altern Med.* 2015 Mar 27;15:87.
- Von Neumann J. *The Computer and the Brain*, 2nd ed. Mrs. Hepsa Ely Silliman Memorial Lectures. New Haven: Yale University Press; 2000.
- Li F, He T, Xu Q, Lin LT, Li H, Liu Y, et al. What is the Acupoint? A preliminary review of Acupoints. *Pain Med.* 2015;16:1905-15.
- Sato A, Sato Y, Schmidt RF. The impact of somatosensory input on autonomic functions. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 1997;130:1-328.
- Flanders A. *Computers and Networking.* En: Branstetter BF, editor. *Practical Imaging Informatics: Foundations and Applications for PACS Professionals.* New York: Springer; 2009. p. 16-7.
- Whitworth B, Gallupe B, McQueen R. Generating agreement in computer-mediated groups. *Small Group Research.* 2001;32:621-61.
- Swanson LW. Quest for the basic plan of nervous system circuitry. *Brain Res Rev.* 2007;55:356-72.
- Kim SA, Lee BH, Bae JH, Kim KJ, Steffensen SC, Ryu YH, et al. Peripheral afferent mechanisms underlying acupuncture inhibition of cocaine behavioral effects in rats. *PLoS One.* 2013;188:810-8.
- Kagitani F, Uchida S, Hotta H. Afferent nerve fibers and acupuncture. *Auton Neurosci.* 2010;157:2-8.
- Kawakita K, Okada K. Acupuncture therapy: mechanism of action, efficacy, and safety: a potential intervention for psychogenic disorders? *Biopsychosoc Med.* 2014;8:1-4.
- Zhou W, Fu LW, Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Afferent mechanisms underlying stimulation modality-related modulation of acupuncture-related cardiovascular responses. *J Appl Physiol.* 2005;98:872-80.
- Chen JDZ, Ni M, Yin J. Electroacupuncture treatments for gut motility disorders. *Neurogastroenterol Motil.* 2018;30:1-6.
- Sato A. Somatovisceral reflexes. *J Manipulative Physiol Ther.* 1995;18:597-602.
- Zhao ZQ. Neural mechanism underlying acupuncture analgesia. *Prog Neurobiol.* 2008;85:355-75.
- Longhurst J. Acupuncture's Cardiovascular Actions: A Mechanistic Perspective. *Med Acupunct.* 2013;25:101-13.

36. Li F, He T, Xu Q, Lin LT, Li H, Liu Y, et al. What is the Acupoint? A preliminary review of Acupoints. *Pain Med.* 2015;16:1905-15.
37. Li P, Tjen-A-Looi SC. Mechanism of the inhibitory effect of electroacupuncture on experimental arrhythmias. *J Acupunct Meridian Stud.* 2013;6:69-81.
38. Zhou W, Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Regulation of sympathoexcitatory cardiovascular responses to gastric distension in rats: role of stimulation modality, frequency and acupoint location. *FASEB J.* 2004;18:1-6.
39. Zhou W, Fu LW, Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Afferent mechanisms underlying stimulation modality-related modulation of acupuncture-related cardiovascular responses. *J Appl Physiol.* 2005;98:872-80.
40. Uchida S, Kagitani F, Hotta H. Neural mechanisms of reflex inhibition of heart rate elicited by acupuncture-like stimulation in anesthetized rats. *Auton Neurosci.* 2010;157:18-23.
41. Fu SP, He SY, Xu B, Hu CJ, Lu SF, Shen WX, et al. Acupuncture promotes angiogenesis after myocardial ischemia through H3K9 acetylation regulation at VEGF gene. *PLoS One.* 2014;9:94604.
42. Tjen-A-Looi SC, Li P, Longhurst JC. Role of medullary GABA, opioids, and nociceptin in prolonged inhibition of cardiovascular sympathoexcitatory reflexes during electroacupuncture in cats. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2007;293:H3627-35.
43. Li P, Tjen-A-Looi SC, Longhurst JC. Nucleus raphe pallidus participates in midbrain-medullary cardiovascular sympathoinhibition during electroacupuncture. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2010;299:R1369-76.
44. Liao JM, Ting H, Lee SD, Yang CH, Liou YM, Peng ML, et al. Electroacupuncture-induced pressor and chronotropic effects in anesthetized rats. *Auton Neurosci.* 2006;124:18-25.
45. Hotta H, Nishijo K, Sato A, Sato Y, Tanzawa S. Stimulation of lumbar sympathetic trunk produces vasoconstriction of the vasa nervorum in the sciatic nerve via alpha-adrenergic receptors in rats. *Neurosci Lett.* 1991;133:249-52.
46. Sato A, Sato Y, Uchida S. Blood flow in the sciatic nerve is regulated by vasoconstrictive and vasodilative nerve fibers originating from the ventral and dorsal roots of the spinal nerves. *Neurosci Res.* 1994;21:125-33.
47. Akaishi T, Kimura A, Sato A, Suzuki A. Responses of neurons in the nucleus basalis of Meynert to various afferent stimuli in rats. *Neuroreport.* 1990;1:37-9.
48. Uchida S, Hotta H. Acupuncture affects regional blood flow in various organs. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2008;5:145-51.
49. Stener-Victorin E, Kobayashi R, Kurosawa M. Ovarian blood flow responses to electro-acupuncture stimulation at different frequencies and intensities in anaesthetized rats. *Auton Neurosci.* 2003;108:50-6.
50. Stener-Victorin E, Kobayashi R, Watanabe O, Lundeberg T, Kurosawa M. Effect of electro-acupuncture stimulation of different frequencies and intensities on ovarian blood flow in anaesthetized rats with steroid-induced polycystic ovaries. *Reprod Biol Endocrinol.* 2004;26:2-16.
51. Yin J, Chen JD. Gastrointestinal motility disorders and acupuncture. *Auton Neurosci.* 2010;157:31-7.
52. Lux G, Hagel J, Backer G, Vogl R, Ruppin H, Domschke S, et al. Acupuncture inhibits vagal gastric acid secretion stimulated by sham feeding in healthy subjects. 1994;35:1026-9.
53. Li XP, Yan J, Yi SX, Chang XR, Lin YP, Yang ZB, et al. Effect of electroacupuncture on gastric mucosal intestinal trefoil factor gene expression of stress-induced gastric mucosal injury in rats. *World J Gastroenterol.* 2006;12:1962-5.
54. Wang H, Liu WJ, Shen GM, Zhang MT, Huang S, He Y. Neural mechanism of gastric motility regulation by electroacupuncture at RN12 and BL21: A paraventricular hypothalamic nucleus-dorsal vagal complex-vagus nerve-gastric channel pathway. *World J Gastroenterol.* 2015;28:13480-9.
55. Jin HO, Zhou L, Lee KY, Chang TM, Chey WY. Inhibition of acid secretion by electrical acupuncture is mediated via beta-endorphin and somatostatin. *Am J Physiol.* 1996;271:524-30.
56. Uvnäs-Moberg K, Lundeberg T, Bruzelius G, Alster P. Vagally mediated release of gastrin and cholecystokinin following sensory stimulation. *Acta Physiol Scand.* 1992;146:349-56.
57. Goldman N, Chen M, Fujita T, Xu Q, Peng W, Liu W, et al. Adenosine A1 receptors mediate local anti-nociceptive effects of acupuncture. *Nat Neurosci.* 2010;13:883-8.
58. Ma SX. Nitric oxide signaling molecules in acupoints: Toward mechanisms of acupuncture. *Chin J Integr Med.* 2017;23:812-5.
59. Zhang ZJ, Wang XM, Mc Alonan GM. Neural acupuncture unit: a new concept for interpreting effects and mechanisms of acupuncture. *Evid Based Complement Alternat Med.* 2012;2012:1-23.
60. Xu GY, Winston JH, Chen JD. Electroacupuncture attenuates visceral hyperalgesia and inhibits the enhanced excitability of colon specific sensory neurons in a rat model of irritable bowel syndrome. *Neurogastroenterol Motil.* 2009;21:1302-2125.
61. Lin JG, Chen WL. Acupuncture analgesia: a review of its mechanisms of actions. *Am J Chin Med.* 2008;36:635-45.
62. Millan MJ. Descending control of pain. *Prog Neurobiol.* 2002;66:355-474.