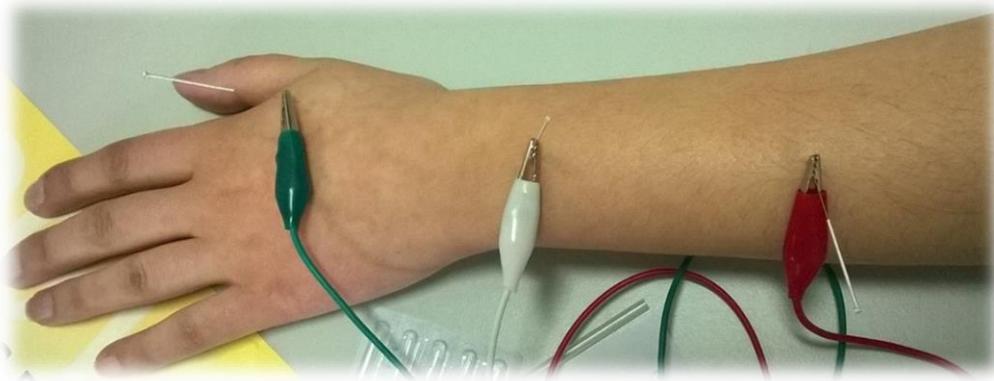




• U • C •

FMUC FACULDADE DE MEDICINA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Potenciais Elétricos nas Agulhas de Punctura Seca



Mestrado Integrado em Medicina Dentária

Autor: Joana Matos Alves

Orientador: Mestre Eng.º José Ricardo Cabeças

Coorientador: Professor Doutor António Silvério Cabrita

Coimbra, julho de 2016

“Courage is not having the strength to go on; it is going on when you don't have the strength.”

Theodore Roosevelt

Potenciais Elétricos nas Agulhas de Punctura Seca

Alves, J.^{1*}; Cabeças, J. R.²; Cabrita, A. S.³

¹ Aluna do Mestrado Integrado em Medicina Dentária da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

² Aluno de Doutoramento em Engenharia Biomédica da Universidade de Coimbra

³ Professor Doutor auxiliar da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

Área de Medicina Dentária, FMUC, Coimbra, Portugal

Avenida Bissaya Barreto, Blocos de Celas

3000-075 Coimbra

Tel.: +351 239 484 183

Fax: +351 239 402 910

*e-mail do autor: matosjoana93@gmail.com

Índice

Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	vi
Lista de Siglas e Símbolos.....	vii
Resumo	viii
Abstract	ix
Introdução.....	1
Acupunctura	1
Bioeletricidade	3
Elétrodos e Dispositivos Eletrônicos	7
Objetivos.....	7
Materiais e Métodos.....	8
Resultados.....	10
Discussão.....	17
Conclusões.....	20
Agradecimentos.....	21
Bibliografia.....	22

Lista de Figuras

1. Visualização de componentes do circuito elétrico: placa OpenBCI. 8
2. Localização dos buracos selecionados para o estudo: 9
 - 04 IG – crocodilo verde acoplado à agulha;
 - 05 SJ – crocodilo branco;
 - Referência – crocodilo vermelho.
3. Variação da média da diferença de potencial durante os 5 min de punctura: 12
 - (a) Canal 0 – buraco 04 IG;
 - (b) Canal 1 – buraco 05 SJ.

Lista de Tabelas

I.	Recolha de dados dos questionários dos voluntários.	10
II.	Valores médios da diferença de potencial (μV) em cada minuto, do Canal 0 – buraco 04 IG, e respectivos desvios-padrão de cada voluntário, durante os 5 minutos da punctura.	11
III.	Valores médios da diferença de potencial (μV) em cada minuto, do Canal 1 – buraco 05 SJ, e respectivos desvios-padrão de cada voluntário, durante os 5 minutos da punctura.	12
IV.	Valores médios e desvios-padrão da densidade de potência ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) para ambos os canais.	15
V.	Valores médios e desvios-padrão do VMRS (μV) para ambos os canais.	15
VI.	Valores de p da análise t de <i>Student</i> entre a diferença de potencial em cada minuto, de ambos os canais, com as variáveis do questionário.	16
VII.	Valores de p da análise t de <i>Student</i> entre a densidade de potência e o VMRS, de ambos os canais, com as variáveis do questionário.	16
VIII.	Valores de p da análise t de <i>Student</i> entre as médias da densidade de potência, do VMRS e da diferença de potencial, por minuto, entre o Canal 0 (04 IG) e o Canal 1 (05 SJ).	16

Lista de Siglas e Símbolos

NGF – Fator de Crescimento Neuronal

CGRP – Polipeptídeo Relacionado com o Gene da Calcitonina

VIP – Peptídeo Intestinal Vasoativo

SNC – Sistema Nervoso Central

SNA – Sistema Nervoso Autônomo

ρ – Resistividade (Ohm-cm)

σ – Condutividade (Siemens/cm)

V – Tensão ou Diferença de Potencial (Volts)

R – Resistência (Ohms)

I – Intensidade (Amperes)

G – Condutância (Siemens)

Na⁺ – íão Sódio

K⁺ – íão Potássio

Ca²⁺ – íão Cálcio

Cl⁻ – íão Cloreto

CHUC – Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, EPE

04 IG – 4 Intestino Grosso

05 SJ – 5 San Jiao

EEG – Eletroencefalografia

EMG – Eletromiografia

EKG – Eletrocardiografia

VMRS – Valor Eficaz (ou Raiz do Valor Quadrático Médio) da Tensão

STAI – Inventário de Ansiedade Estado-Traço

Resumo

Introdução: A energia elétrica dos seres vivos deve-se às variações das concentrações iônicas existentes através das suas membranas celulares. Na presença de um estímulo, como a punctura com agulhas, ocorrem reações elétricas e químicas que permitem a criação de correntes iônicas que geram diferenças de potenciais elétricos entre os meios intra e extracelulares. Esta redistribuição iônica tem como fim permitir a recuperação de condições fisiológicas em desequilíbrio para condições normais equilibradas. **Objetivos:** Este ensaio tem como objetivo estudar os potenciais elétricos em agulhas de acupunctura durante o tratamento por punctura seca, em voluntários. **Materiais e Métodos:** O estudo contou com 20 voluntários, estudantes universitários, de ambos os sexos, com idades entre os 22 e os 26 anos. O protocolo consistiu numa sessão por voluntário, com punctura seca, durante 5 minutos, dos buracos 04 IG, 05 SJ e um buraco neutro acima do anterior, que serviu como referência, com registo dos valores da tensão. Foi feito o cálculo da média e desvio-padrão das diferenças de potencial por minuto, da densidade de potência e do valor eficaz da tensão, seguido de uma análise estatística dos dados referentes ao questionário individual e às medições da tensão, através do teste t de *Student*, com $\alpha = 0,05$. **Resultados:** A média da tensão no canal 0 – buraco 04 IG, no primeiro minuto foi de $-20749,37 \pm 1620,04 \mu\text{V}$; no segundo minuto $-16301,13 \pm 919,62 \mu\text{V}$; no terceiro minuto $-14788,74 \pm 543,69 \mu\text{V}$; no quarto minuto $-14281,08 \pm 390,76 \mu\text{V}$ e no quinto minuto $-14641,54 \pm 255,94 \mu\text{V}$. No canal 1 – buraco 05 SJ, no primeiro minuto $-35822,79 \pm 2440,80 \mu\text{V}$; no segundo minuto $-30453,00 \pm 1399,04 \mu\text{V}$; no terceiro minuto $-20880,64 \pm 495,42 \mu\text{V}$; no quarto minuto $-16883,14 \pm 436,60 \mu\text{V}$ e no quinto minuto $-14641,54 \pm 263,15 \mu\text{V}$. O canal 0 apresentou uma média de densidade de potência de $-8,47 \pm 8,59 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e de valor eficaz de tensão de $4,97 \pm 15,73 \mu\text{V}$ e o canal 1 uma média de densidade de potência de $-4,15 \pm 8,62 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e de valor eficaz de tensão de $7,65 \pm 22,54 \mu\text{V}$. Valores de $p < 0,05$ apenas entre a densidade de potência do canal 0 (04 IG) e voluntários saudáveis/não saudáveis, com $p = 0,0139$. **Discussão:** Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos potenciais elétricos entre os buracos de punctura, muito provavelmente por se encontrarem próximos a um nível anatómico, com estruturas celulares semelhantes. O valor de p estatisticamente significativo encontrado sugere que a variedade inter individual das patologias sistêmicas e suas respetivas medicações influenciam os potenciais elétricos. **Conclusões:** Dos resultados obtidos, verifica-se que as agulhas de punctura seca apresentam, em média, diferença de potencial elétrico maior aquando do início do tratamento, que vai diminuindo ao longo do tempo do mesmo, nas condições da experiência. **Palavras-chave:** “mecanismos analgesia acupunctura”; “bioeletricidade”; “potenciais elétricos acupunctura”.

Abstract

Introduction: The living beings' electric energy is due to variation of the ionic concentrations through their cellular membranes. In the presence of a stimulus, such as needle puncturing, there are electrical and chemical reactions which allow the creation of ionic currents that generate differences in electrical potential between the intracellular and extracellular media. This ionic redistribution has, as purpose, enabling the recovery of unbalanced physiological conditions to balanced normal ones. **Objectives:** This essay aims to study the electrical potentials in acupuncture needles during dry puncture needling in volunteers. **Materials and Methods:** The study included 20 volunteers, university students, of both sexes, aged 22 to 26 years old. The protocol consisted in one session per volunteer with dry needling, for 5 minutes, in puncture holes 04 IG, 05 SJ and a neutral hole above the previous one, to serve as a reference, with recording of the voltage values. It was then calculated the mean and standard deviation of potential differences per minute, power density and the effective voltage value, followed by a statistical analysis of data on personal questionnaire and voltage measurements, using the t-Student test, with $\alpha = 0.05$. **Results:** The mean voltage on channel 0 – hole 04 IG, in the first minute was $-20749,37 \pm 1620,04 \mu\text{V}$; in the second minute $-16301,13 \pm 919,62 \mu\text{V}$; in the third minute $-14788,74 \pm 543,69 \mu\text{V}$; in the fourth minute $-14281,08 \pm 390,76 \mu\text{V}$ and in the fifth minute $-14641,54 \pm 255,94 \mu\text{V}$. On channel 1 – hole 05 SJ, in the first minute $-35822,79 \pm 2440,80 \mu\text{V}$; in the second minute $-30453,00 \pm 1399,04 \mu\text{V}$; in the third minute $-20880,64 \pm 495,42 \mu\text{V}$; in the fourth minute $-16883,14 \pm 436,60 \mu\text{V}$ and in the fifth minute $-14641,54 \pm 263,15 \mu\text{V}$. The channel 0 presented a mean power density of $-8,47 \pm 8,59 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ and a mean effective voltage value of $4,97 \pm 15,73 \mu\text{V}$ and channel 1 a mean power density of $-4,15 \pm 8,62 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ and a mean effective voltage value of $7,65 \pm 22,54 \mu\text{V}$. P values < 0.05 only found between the potency density of channel 0 (04 IG) and healthy/unhealthy volunteers, with $p = 0.0139$. **Discussion:** No statistically significant differences in electrical potential between the puncture holes were observed, most likely because they are near in an anatomical level, with similar cellular structures. The statistically significant p value found suggests that the inter-individual variety of systemic diseases and their respective medications influence the electrical potential. **Conclusions:** From the results, it is found that the dry puncture needles have, on average, greater electrical potential difference at the beginning of treatment, which decrease over time, under the conditions of this experiment. **Keywords:** “acupuncture analgesic mechanism”; “bioelectricity”; “acupuncture electric potentials”

Introdução

Acupunctura

A acupunctura baseia-se, de uma forma mais simplificada, na punctura de uma ou mais agulhas finas e sólidas na superfície corporal, de forma a atingir zonas específicas ao nível da pele ou músculo, com interesse terapêutico (1-3), que apresenta efeito analgésico na maioria das condições de dor (4).

Com as suas origens na Medicina Tradicional Chinesa, a acupunctura tem vindo a ser cada vez mais praticada como tratamento ou adjuvante do tratamento de um grande espectro de doenças, principalmente em diversas condições de dor (4-6).

Foram os Chineses que realizaram as primeiras investigações científicas neste ramo da medicina. Tais investigações levaram à descoberta que a acupunctura funciona através da estimulação do sistema nervoso, principalmente das fibras nervosas mielinizadas pequenas, quer na pele – fibras nervosas A δ , quer no músculo – fibras nervosas tipo II/III (1, 2, 7), através de mecanismos de regulação neuronais, humorais e bio eletromagnéticos, para efeitos de analgesia (3).

A punctura com agulhas de acupunctura têm como objetivo produzir uma sensação que os Chineses denominaram de “*sensação de qi*”, descrita por apresentar quatro componentes: dormência, distensão, sensação de peso e de formigueiro (fadiga muscular) (1-5). Estas sensações são, habitualmente, bem distinguidas pelos doentes das sensações normais de uma picada de agulha, que são comumente referidas como dores agudas (1, 2, 8).

A ação da acupunctura sobre o sistema nervoso efetua-se em quatro níveis: local, segmentar, extra segmentar e supra segmentar (ou central) (1, 2).

A punctura com a agulha induz um estímulo das terminações nervosas livres que, através do reflexo axonal, produz potenciais de ação que estimulam a libertação de alguns neuro peptídeos como a substância P, o fator de crescimento neuronal (NGF), o polipeptídeo relacionado com o gene da calcitonina (CGRP), a histamina, a serotonina, o peptídeo intestinal vasoativo (VIP), o neuro peptídeo Y, entre outros (1, 3, 8-10).

Estes neuro peptídeos, por sua vez, causam fenómenos de vasodilatação e aumento do aporte sanguíneo local, uma vez que promovem a neogénese de vasos sanguíneos e a vasodilatação propriamente dita, isto é, facilitam os processos de cicatrização. Daí os doentes sentirem sensações de calor e rubor na região sujeita à punctura (1, 3, 8, 10).

Ainda dentro da ação local, ocorre também uma libertação de opióides, como a β -endorfina, pelas células inflamatórias locais, o que gera efeitos de analgesia local (1, 5).

Estes efeitos locais podem ser obtidos através da inserção correta das agulhas em quase toda a superfície corporal, contudo há locais cuja efetividade dos efeitos tem vindo a ser cada vez mais comprovada: os buracos de acupunctura. Distribuídos por meridianos que dividem o corpo humano em várias direções, quer à superfície como em profundidade, os buracos de acupunctura estão descritos um pouco por toda a literatura, contudo sem um consenso sobre as suas localizações exatas, continuando como um dos paradoxos na pesquisa da acupunctura (1, 3, 4).

Existem vários sistemas de numeração dos buracos distribuídos por meridianos. As abreviaturas-padrão clássicas para os buracos consistem em duas letras maiúsculas – normalmente referentes a um órgão, seguidas de um número (1, 3, 4). A nomenclatura utilizada na Escola de Acupunctura de Coimbra consiste em duas letras maiúsculas, precedidas de dois dígitos.

No que diz respeito à ação segmentar (ou analgesia segmentar), esta caracteriza-se pela inibição da via nociceptiva a nível do corno dorsal da medula espinal. Inicialmente, dá-se também a estimulação das fibras nervosas mielinizadas pequenas – A δ na pele e tipo II/III no músculo. Estas fibras ativam as células intermediárias pequenas a nível do corno dorsal, o que provoca a libertação de neurotransmissores como a encefalina cuja função é inibir as células da substância gelatinosa para bloquear a transmissão da dor. Esta ação pode demorar alguns minutos a surgir, contudo ultrapassa a duração da estimulação local (1, 2, 5, 10).

A sua aplicação clínica principal é a estimulação dos nervos no mesmo segmento espinal do da origem da dor pois, para além da sensação de alívio, também reverte aumentos de tonicidade muscular, o que encoraja a mobilização e, por conseguinte, a melhoria do fluxo sanguíneo e cura da dor (1, 3, 7, 10, 11).

Em casos de síndrome de dor mio fascial, por exemplo, a eficácia da punctura seca a nível dos pontos-gatilho mio fasciais tem vindo a ser comprovada, uma vez que, para além de desorganizar os pontos-gatilho ao garantir a diminuição da tonicidade muscular devida à despolarização das fibras musculares, também garante a ativação de mecanismos de controlo da dor a nível do corno dorsal da medula (7, 8, 11).

Além destes efeitos a nível do sistema nervoso central (SNC), a acupunctura também provoca efeitos no sistema nervoso autónomo (SNA), com respostas quer a curto como a longo prazo e, tal como o efeito na dor acumula ao longo do número de sessões, também os reflexos autónomos acumulam (1).

Como método reforçativo da ação segmentar surge a ação extra segmentar. Ação inespecífica, através da punctura em zonas distantes do sítio com dor que ativa um sistema de analgesia mais geral. Apesar da seleção dos buracos de acupunctura não ser crítica para garantir o surgimento desta ação extra segmentar, esta pode ser obtida de uma forma mais eficaz em determinados buracos *major* nos braços e nas pernas (1, 2).

Normalmente é necessário realizar movimentos rotatórios nas agulhas (após inserção) e estas devem estar inseridas durante cerca de 20 a 30 minutos, pois esta ação demora mais tempo a surgir (1, 2).

Por último, a ação supra segmentar ou central. Sabe-se que a dor apresenta uma componente sensorial – normalmente tratada eficazmente através da ação local/segmentar/extra segmentar da acupunctura e registada a nível do córtex somatossensorial, e uma componente afetiva – aspeto emocional, registada no sistema límbico. É neste último sistema que melhor se verificam os efeitos da regulação central da acupunctura, uma vez que este pode ser estimulado por punctura não específica enquanto a analgesia segmentar depende mais da provocação da “*sensação de qi*” no segmento apropriado (1, 4).

Desta forma, o tratamento com acupunctura pode estar associado a vários efeitos mentais profundos, entre os quais a sensação de euforia, relaxamento e calma, extremamente benéficos, especialmente para doentes com dores músculo-esqueléticas crónicas, fibromialgia, dores lombares crónicas e lesões cervicais crónicas (1, 8, 12, 13), podendo assim fazer parte do plano de tratamento complexo destas doenças (8, 13).

A acupunctura é considerada uma terapia bastante segura, caso seja realizada por profissionais – médicos, fisioterapeutas ou outros especialistas da dor, com formação adequada. Contudo, estão reportados na literatura alguns efeitos secundários da terapia por punctura seca como resultado do trauma direto ou de processos inflamatórios: dores ligeiras, pequenas hemorragias locais no local de punctura após tratamento e alguns relatos de respostas de síncope (6, 8).

A profundidade, a direção e a angulação da agulha aquando da punctura são cruciais, principalmente em certas regiões, como a torácica por exemplo, de forma a serem evitadas complicações iatrogénicas (6).

Bioeletricidade

A eletricidade presente nos seres vivos – bioeletricidade, é semelhante à existente em objetos inanimados, contudo, uma das principais diferenças é o facto dos sistemas vivos obterem a sua energia elétrica das diferenças de concentrações iónicas que existem através das suas membranas celulares (14, 15).

Sendo que todas as interações moleculares são de natureza elétrica (16) e as fontes de energia estão distribuídas no espaço ao longo da membrana, para a criação de uma corrente elétrica é necessária a existência de um fluxo de corrente através desta. Isto é, ao contrário do que acontece nos sistemas desenhados pelo ser humano, a existência de correntes dentro e fora das células elétricas ativas é essencial, necessária e não algo que ocorre devido a perdas energéticas do sistema (14, 15).

A corrente é definida pela taxa a que cargas elétricas fluem através de um determinado ponto do circuito (17). Nós, humanos, e qualquer ser vivo, funcionamos como grandes volumes de soluções condutoras, com correntes iônicas em movimento constante, o que implica a existência de um campo elétrico que, para além de descrever a força exercida por unidade de carga, também quantifica a força que move os iões (elementos constitutivos da corrente) de um local para outro – tensão (Volts) ou diferença de potencial (14, 16-18).

Em materiais não homogêneos, como os seres humanos, é esperada uma resistividade – ρ (ou inverso da condutividade – σ) (14, 17, 19). Em termos físicos, a resistência mede a magnitude da tensão à volta de um determinado elemento quando está sujeito a uma corrente, tal como nos diz a lei de Ohm: $V = I R$., sendo V a tensão (Volts), I a intensidade da corrente (Amperes) e R a resistência (Ohms) (14, 17).

A resistência é um elemento físico e o seu valor pode ser avaliado através da divisão da tensão total à volta do elemento pela corrente, ou seja $R = V / I$ (14, 20). Contudo, em materiais biológicos, as propriedades resistivas são diferentes das dos objetos, uma vez que são constituídos por células de dimensões espaciais significativas e sujeitas a constantes alterações. Logo, em vez de uma resistência total R , estes materiais apresentam resistividade – ρ (Ohm-cm) (14, 17).

Algumas vezes, torna-se conveniente o uso da condutividade – σ na análise de certas situações biológicas, sendo esta o recíproco da resistividade, isto é, $\sigma = 1 / \rho$ (Siemens/cm) (14, 17, 19). Tal como a condutividade (σ) é o recíproco da resistividade (ρ), a condutância – G (Siemens) apresenta-se como o recíproco da resistência (R) (Ohms), isto é, $\sigma = 1 / \rho$ e $G = 1 / R$ (14).

As substâncias portadoras de carga presentes nos seres vivos são então os elementos constituintes da corrente – os iões, que se encontram dentro dos eletrólitos – soluções de sais, ácidos e bases que conduzem a eletricidade. Estes iões estão presentes tanto dentro como fora das células, permitindo assim o fluxo da corrente de um meio para o outro – fluxo iónico. Este fluxo, apesar de apresentar semelhanças com o fluxo de corrente nos fios elétricos – fluxo de eletrões, é realizado através do espaço circundante às células e não apenas dentro delas, como acontece nos dispositivos eletrónicos (14, 15, 18, 21).

Os movimentos iónicos podem ser descritos quer de uma forma química quer de uma forma elétrica, isto é, um fenómeno único pode ser descrito como um fluxo de partículas (Moles/segundo/unidade de Área) e como uma corrente elétrica (Coulombs/segundo/unidade de Área ou Amperes/unidade de Área, uma vez que 1 Ampere = 1Coulomb/segundo), simultaneamente (14, 17, 21).

Do ponto de vista elétrico, os iões mais importantes são o ião Sódio – Na^+ e o ião Potássio – K^+ , apesar do ião Cálcio – Ca^{2+} e do ião Cloreto – Cl^- também desempenharam papéis importantes em certas situações (14, 16, 18, 22, 23).

As diferenças nas concentrações destes iões – Na^+ e K^+ , entre os meios intra e extracelulares são particularmente importantes para as células excitáveis, uma vez que são as precursoras das mudanças na tensão transmembranar (14, 16, 18, 22).

As células excitáveis estão rodeadas por uma membrana plasmática cuja função principal é controlar a passagem de moléculas e iões para dentro e fora da célula. Este comportamento membranar irá traduzir as propriedades elétricas dos tecidos (14-16, 21, 23).

A diferença de potencial através da membrana – potencial transmembranar (0,1 volt, aproximadamente), pode ser encontrada se, em repouso, forem comparados o potencial elétrico da superfície interna da membrana de uma célula excitável com o da superfície externa (14-16, 19). Como a membrana apresenta resistência, ou seja, não é um isolante perfeito, surge assim uma corrente transmembranar que, por definição, tem sinal positivo quando o fluxo é do interior para o exterior (14). Os processos de despolarização da membrana geram uma corrente de propagação de saída enquanto os de repolarização geram uma corrente de entrada (23).

As proteínas existentes nos canais iónicos membranares permitem a sua abertura e fecho em resposta a estímulos, tanto químicos como elétricos. Desta forma, as células têm acesso à energia armazenada nos gradientes iónicos transmembranares e geram os sinais elétricos que percorrem os nossos nervos e músculos. Assim, estes canais têm como função principal responder ao estímulo, abrir e deixar os iões fluírem através dos seus gradientes eletroquímicos (21, 24).

O movimento de partículas com carga dentro do campo elétrico da membrana, mediante uma mudança no potencial desta, leva à abertura e ao fecho desses canais iónicos (23).

Em células vivas, a distribuição dos iões em ambos os lados da membrana e o movimento iónico através desta, estão sujeitos tanto a processos de difusão como às forças dos campos elétricos. Os iões difundem-se do local onde se encontram em maior concentração para o local em menor concentração, contudo a taxa de difusão não depende só das diferenças de concentração, mas também da permeabilidade da membrana a esse ião, uma vez que uma das características mais importantes da membrana plasmática é a sua permeabilidade seletiva aos diferentes iões (14-16, 18, 21).

A partir dessa difusão segundo o gradiente de concentração, os iões com carga vão-se acumulando na membrana e criam um campo elétrico, tanto à volta como no interior da mesma, que exerce forças em todas as partículas com carga que se encontram na membrana. Isto é, quando as partículas com carga se acumulam nas interfaces da membrana, quer para com meio intracelular (citoplasma), como para com o extracelular, estabelece-se um potencial transmembranar induzido e ocorre uma redistribuição do campo elétrico (14-16, 18, 19).

Um aumento do potencial transmembranar, pela criação da corrente, leva a uma rápida despolarização e/ou hiperpolarização da membrana, que se encontrava numa condição de repouso. De seguida, dá-se uma recuperação lenta de novo para a condição de repouso. Estas mudanças geram a excitação ou inibição da célula (14, 15, 19, 22, 25).

Quando a despolarização atinge o limiar necessário para gerar um potencial de ação, dá-se a abertura dos canais iónicos dependentes de tensão, como os de sódio e de potássio. Em casos de membranas extensas, o potencial de ação gerado numa zona específica da membrana irá iniciar potenciais de ação em zonas adjacentes, originando-se uma sequência de potenciais de ação ao longo de toda a membrana. Isto pode ser observado através do registo da tensão transmembranar ao longo do tempo (14, 15, 19, 22, 25).

Os potenciais de ação surgem como consequência de um estímulo, contudo são gerados pela energia da carga armazenada nas diferentes concentrações que existem ao longo da membrana excitável, como já foi referido. Ao permitirem a abertura dos canais iónicos dependentes da tensão, provocam um aumento rápido da permeabilidade membranar ao sódio, e, por conseguinte, um aumento no fluxo dos iões de Sódio, o que aumenta a tensão. De seguida, ocorre a mesma sequência de eventos para os iões de Potássio, com o objetivo de diminuir a tensão (14, 21, 25).

Aquando de membranas muito extensas, o mecanismo que permite que um potencial de ação numa zona da membrana cause outro potencial de ação numa zona adjacente, denomina-se de mecanismo de correntes axiais de um local para outro, uma vez que a corrente sai da membrana num sítio diferente do que entra, o que, por conseguinte, leva à excitação de um sítio diferente da membrana (14, 18, 19, 25).

Tal como a membrana plasmática, também as fibras nervosas mielinizadas são maioritariamente constituídas por material lipídico – bainha de mielina (invólucro lipoproteico), exceto em certos pontos de exposição – nós de Ranvier (falhas na mielina). É nesses nós que estão confinadas as correntes transmembranares e a maioria dos canais de Sódio, ao contrário dos canais de Potássio, mais localizados nas regiões internodais. Deste modo, a propagação numa fibra mielinizada procede-se de um nó ativo para o nó adjacente mais próximo através das correntes de circuito locais, uma vez que a bainha de mielina nestas fibras funciona como um isolante elétrico, devido à sua composição lipídica. A propagação do impulso é, desta forma, mais rápida, comparativamente às fibras nervosas não mielinizadas, visto que se dá apenas nos pontos de separação da mielina, o que gera movimentos em saltos que estimulam a transmissão dos impulsos (14).

Eléttodos e Dispositivos Eletrônicos

Os elétrodos são considerados dispositivos quer de entrada como de saída de corrente num sistema. Proporcionam a conexão entre o corpo/células vivas e o sistema de aquisição e permitem a captação das correntes iônicas. Na interface eléttodo-tecido – superfície de detecção, é necessário que ocorra uma reação eletroquímica que, de certa forma, troque elétrões do eléttodo por iões em solução e que funcione como um filtro que permita a passagem de baixas frequências sem grandes dificuldades, bem como atenuar a amplitude das frequências maiores que a frequência de corte (14, 17).

Há vários fatores a ter em conta na escolha de materiais para um eléttodo: compatibilidade passiva entre este e os tecidos; extensão do comportamento reversível e compatibilidade mecânica com o tecido. Mais usados: platina, platina-irídio, aço inoxidável (14).

Quanto aos restantes dispositivos eletrônicos constituintes de um circuito, para além dos fios/cabos condutores e dos elétrodos, temos a placa de circuito propriamente dita, que pode funcionar como um sensor capacitivo pois, apesar de não detetar a capacitância absoluta, deteta mudanças na capacitância. Produz um sinal excitatório que cria um campo elétrico local (20).

Um transdutor é o componente responsável por converter o sinal de tensão resultante analógico num sinal digital, através da criação de uma série de tensões altas e baixas. Pode ser usado para biossensores, como por exemplo os eletroquímicos, pois consegue medir pequenas alterações de tensão, corrente ou resistência e condutância (17).

Tal como já Benjamin Franklin referia, cargas positivas movem-se do terminal positivo (de alta tensão) para o terminal negativo da bateria, ao que denominou de corrente elétrica. Hoje em dia sabe-se que, dentro dum circuito elétrico, as cargas em movimento são elétrões livres e não cargas positivas, elétrões esses que se movem na direção oposta. Contudo, de uma forma mais convencional, a definição de Franklin continua a ser utilizada (17).

Objetivos

Este ensaio tem como objetivo estudar os potenciais elétricos em agulhas de acupunctura durante o tratamento por punctura seca, em voluntários.

Materiais e Métodos

Antes do início do estudo, cada voluntário foi informado e esclarecido oralmente acerca das características do ensaio, aceitando a sua participação na experiência. A cada voluntário foi feito um pequeno questionário individual com os seguintes itens: altura, peso, idade, sexo, patologias sistêmicas, estado psicológico/emocional e prática de exercício físico regular. Foram incluídos neste estudo 20 voluntários, estudantes universitários, 15 do sexo feminino e 5 do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 22 e os 26 anos.

O protocolo do estudo consistiu numa sessão única por voluntário. Os voluntários foram encaminhados a uma sala nas instalações do Departamento de Estomatologia e Medicina Dentária do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra, EPE (CHUC) e, individualmente, sujeitos a punctura seca superficial, na mão e antebraço esquerdos, durante 5 minutos, com agulhas de acupunctura de aço inoxidável.

Antes do início da sessão de punctura, foi pedido aos voluntários que deixassem os telemóveis e quaisquer aparelhos eletrónicos que estivessem na sua posse, fora da sala, de forma a evitar interferências eletromagnéticas. Deste modo, os únicos dispositivos eletrónicos dentro da sala eram a placa do circuito – placa OpenBCI (**Fig.1**) e o computador, sendo que este último se encontrava afastado dos voluntários.

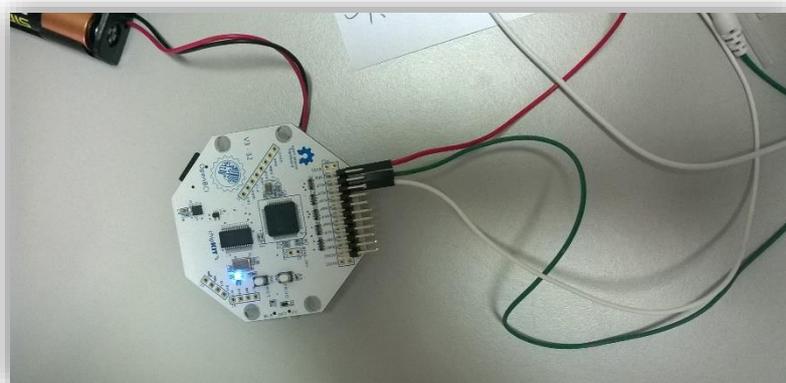


Fig.1 – Visualização de componentes do circuito elétrico:

- Placa OpenBCI

Foram selecionados três buracos para o estudo: um na mão - 4 Intestino Grosso (04 IG); dois no braço – 5 San Jiao (05 SJ) e um buraco neutro 3cm acima do anterior, para servir de referência (**Fig.2**), buracos estes de fácil acesso e aplicabilidade dos elétrodos.

A punctura foi superficial e perpendicular à superfície corporal, tendo sido realizada por ordem ascendente, isto é, primeiro na mão – buraco 04 IG, de seguida no antebraço – buraco 05 SJ e buraco neutro. Foram colocados crocodilos com diferentes cores em cada agulha, tal como descrito na legenda da **Fig.2**.

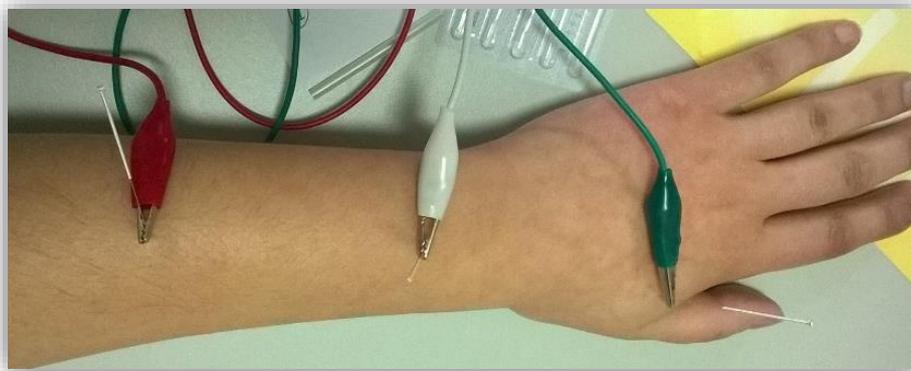


Fig.2 – Localização dos buracos selecionados para o estudo:

- 04 IG – crocodilo verde acoplado à agulha;
- 05 SJ – crocodilo branco;
- Neutro – crocodilo vermelho.

Os crocodilos foram conectados à placa OpenBCI (**Fig.1**) que serviu para medir e registrar a atividade elétrica proveniente das agulhas de acupuntura. O OpenBCI é uma plataforma de código aberto. A placa pode ser usada para medir e registrar a atividade elétrica produzida pelo cérebro (eletroencefalografia – EEG), pelos músculos (eletromiografia – EMG) e pela atividade cardíaca (eletrocardiografia – EKG). Neste trabalho, foi utilizada para registrar a atividade elétrica das agulhas de acupuntura.

Durante o tempo de punctura foram registados os valores de tensão, os quais foram recolhidos diretamente para o computador. De seguida removeram-se os crocodilos, seguidos das agulhas. As zonas de punctura foram limpas com algodão esterilizado embebido em álcool etílico.

Posteriormente fez-se o cálculo da média e desvio-padrão das diferenças de potencial, da densidade de potência e do valor eficaz (ou raiz do valor quadrático médio) da tensão (VMRS) para ambos os buracos de punctura (04 IG e 05 SJ). As médias e desvios-padrão das diferenças de potencial dividiram-se em cinco intervalos de um minuto, para ambos os buracos.

Utilizou-se o teste t de *Student* para análise estatística dos dados, assumiu-se que a distribuição dos valores das variáveis segue uma distribuição normal, com variâncias homogêneas. Definiu-se como hipótese não nula haver diferenças estatisticamente significativas entre os sinais dos dois canais, para um grau de significância de $\alpha = 0,05$.

Resultados

Os resultados do questionário individual estão presentes na **Tabela I**.

Os voluntários do presente estudo apresentam uma idade média de $22,75 \pm 1,07$ anos, com um peso médio de $61,45 \pm 11,16$ kg e uma altura média de $1,66 \pm 0,08$ m. Sendo 25% do sexo masculino e 75% feminino. 20% apresentam patologias sistémicas – rinite alérgica, hipotiroidismo subclínico e anemia ferropénica. 75% dos voluntários referem alterações no estado psicológico/emocional desde stress, nervosismo, ansiedade e cansaço e 40% praticam exercício físico regularmente.

Tabela I: Recolha de dados dos questionários dos voluntários.

Voluntário nº	Altura (m)	Peso (kg)	Idade (anos)	Sexo	Patologias Sistémicas	Estado Emocional	Exercício Físico Regular
1	1,6	46	22	F	Não	Alterado	Não
2	1,65	88	22	F	Não	Alterado	Não
3	1,6	85	24	F	Não	Alterado	Sim
4	1,68	51	23	F	Não	Alterado	Sim
5	1,68	60	22	M	Não	Normal	Sim
6	1,65	60	23	F	Não	Alterado	Não
7	1,73	70	22	M	Sim (Rinite Alérgica)	Normal	Sim
8	1,74	67	26	F	Não	Alterado	Sim
9	1,73	63	23	M	Não	Normal	Sim
10	1,65	64	22	F	Sim (Rinite Alérgica)	Normal	Não
11	1,81	67	23	M	Não	Alterado	Sim
12	1,6	55	22	F	Não	Alterado	Não
13	1,6	58	22	F	Não	Alterado	Sim
14	1,61	56	22	F	Sim (Hipotiroidismo Subclínico)	Alterado	Não
15	1,64	58	23	F	Não	Alterado	Não
16	1,55	52	24	F	Não	Alterado	Não
17	1,84	73	22	M	Não	Alterado	Não
18	1,57	49	22	F	Não	Alterado	Não
19	1,63	56	22	F	Sim (Anemia Ferropénica)	Alterado	Não
20	1,63	51	24	F	Não	Normal	Não

As médias das medições da diferença de potencial (microvolts - μV) podem ser visualizados na **Tabela II** para o canal 0 – buraco 04 IG aquando do minuto 1, 2, 3, 4 e 5, bem como os respetivos desvios-padrão. O mesmo para o canal 1 – buraco 05 SJ, na **Tabela III**.

A média da tensão registrada no canal 0 (04 IG), para os 20 voluntários, no primeiro minuto é de $-20749,37 \pm 1620,04 \mu\text{V}$; no segundo minuto $-16301,13 \pm 919,62 \mu\text{V}$; no terceiro minuto $-14788,74 \pm 543,69 \mu\text{V}$; no quarto minuto $-14281,08 \pm 390,76 \mu\text{V}$ e no quinto minuto $-14641,54 \pm 255,94 \mu\text{V}$. Esta progressão da diferença de potencial médio no buraco 04 IG, ao longo dos cinco minutos, pode ser visualizada na **Fig.3 (a)**.

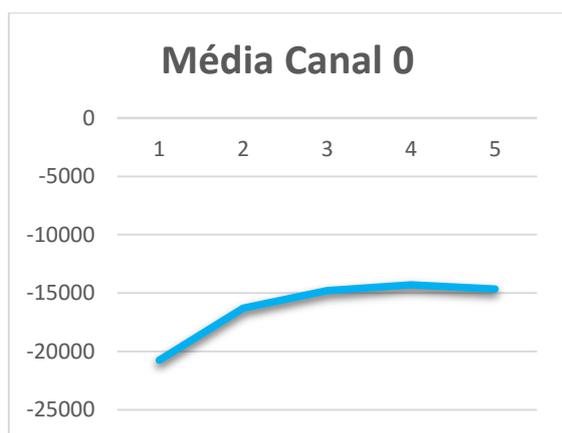
A média da tensão registrada no canal 1 (05 SJ), para os 20 voluntários, no primeiro minuto é de $-35822,79 \pm 2440,80 \mu\text{V}$; no segundo minuto $-30453,00 \pm 1399,04 \mu\text{V}$; no terceiro minuto $-20880,64 \pm 495,42 \mu\text{V}$; no quarto minuto $-16883,14 \pm 436,60 \mu\text{V}$ e no quinto minuto $-14641,54 \pm 263,15 \mu\text{V}$. Esta progressão da diferença de potencial no buraco 05 SJ, ao longo dos cinco minutos, pode ser visualizada na **Fig.3 (b)**.

Tabela II: Valores médios da diferença de potencial (μV) em cada minuto, do Canal 0 – buraco 04 IG, e respectivos desvios-padrão de cada voluntário, durante os 5 minutos da punctura.

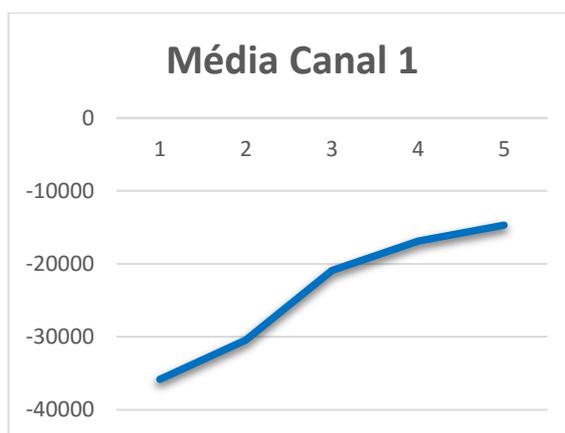
Nº	Tensão (μV) Canal 0 – Buraco 04 IG									
	1º Minuto		2º Minuto		3º Minuto		4º Minuto		5º Minuto	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
1	15727,45	3737,71	8959,80	644,51	6886,49	948,07	3811,95	844,47	1396,81	614,03
2	-34603,74	278,94	-17675,80	6947,07	-14412,63	47,32	-14537,07	50,73	-14784,28	80,09
3	-19673,79	3464,31	-13785,47	402,14	-15164,86	421,62	-16571,07	380,31	-17449,97	160,71
4	-35418,81	858,26	-35997,85	120,71	-35690,87	113,67	-35266,40	243,75	-34284,26	240,03
5	9632,80	1332,04	4277,26	1621,40	-116,62	870,51	-2390,41	488,79	-3756,08	310,86
6	-35629,65	3230,82	-24329,96	2904,54	-15359,36	2300,81	-8641,71	1570,63	-4534,14	841,84
7	-12700,06	2637,68	-7373,79	374,52	-7122,21	278,31	-8060,89	163,10	-8543,84	182,83
8	-56008,40	4072,48	-42114,83	6709,11	-31740,50	1431,13	-27904,58	848,93	-25650,34	496,68
9	-47079,73	920,32	-44287,85	907,35	-40793,26	942,36	-37856,36	746,42	-35698,11	525,2
10	-43614,17	5303,69	-35831,38	1070,73	-30984,78	1150,76	-28118,21	636,12	-26403,78	378,82
11	-1963,23	688,92	-620,00	311,35	-1299,24	500,84	-3413,74	836,38	-6243,52	744,21
12	-33246,22	6906,40	-42900,91	931,9	-45502,90	591,17	-47155,80	401,2	-48283,25	271,85
13	-21853,30	1908,04	-28023,20	1856,58	-29537,99	152	-29717,94	182,19	-30382,58	187,72
14	-12912,70	1258,30	-14885,35	1547,59	-11772,66	667,12	-10449,97	209,5	-10110,34	38,25
15	-14516,15	589,41	-14926,45	732,49	-13905,45	61,17	-14025,09	105,09	-14498,80	173,00
16	-136765,63	5419,31	-125425,67	1823,97	-120162,94	1337,97	-115998,89	1108,04	-112713,31	783,29
17	-1688,70	112	-1482,87	45,19	-1572,33	93,17	-1833,85	82,54	-2154,51	97,18
18	-21824,95	400,92	-23327,91	389,28	-23447,17	57,86	-23577,39	27,34	-23419,24	84,97
19	9139,87	296,10	9308,45	404,08	11127,99	586,53	12461,96	129,60	12590,12	20,39
20	76798,61	9435,90	72748,21	10632,11	66268,46	392,12	67908,63	489,8	69402,96	391,00
Média	-20749,37	1620,04	-16301,13	919,62	-14788,74	543,69	-14281,08	390,76	-14641,54	255,94

Tabela III: Valores médios da diferença de potencial (μV) em cada minuto, do Canal 1 – buraco 05 SJ, e respectivos desvios-padrão de cada voluntário, durante os 5 minutos da punctura.

Tensão (μV) Canal 1 – buraco 05 SJ										
Nº	1º Minuto		2º Minuto		3º Minuto		4º Minuto		5º Minuto	
	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio	Média	Desvio
1	-87231,7	20674,82	-15947,4	628,35	-13965,29	873,10	-11150,25	777,65	-8935,75	567,64
2	-6819,14	157,05	-7250,17	218,03	-7014,28	58,57	-7139	59,77	-7386,84	85,81
3	-3747,82	1430,5	-6386,39	407,84	-7768,53	426,74	-9178,61	385,87	-10104,27	219,44
4	-43766,4	452,62	-39976	1248,42	-37582,88	585,61	-35544,65	627,32	-34220	244,13
5	-7813,03	1106,19	-9691,33	420,41	-8238,75	425,12	-9767,15	485,97	-11028,50	236,37
6	-56152,3	16361,66	-31562,8	2911,02	-22633,19	2324,7	-15955,3	1564	-11870,79	864,16
7	-28144,1	18430,4	16132,14	3900,29	18941,21	896,1	21595,88	635,75	23097,52	406,36
8	-40806,3	4427,13	-31165,9	2355,01	-24415,68	1438,5	-20575,6	846,39	-18322,01	500,26
9	-54203,9	990,88	-53825,1	3133,63	-48000,49	938,53	-45075,29	744,22	-42926,00	524,01
10	-26614,8	1674,12	-29740,1	569,01	-30965,44	115,04	-30910,11	33,03	-30735,67	93,91
11	33493,15	9900,86	10448,67	414,04	10677,38	367,5	12347,52	716,42	14500,88	383,96
12	-29259,6	3094,44	-35602,3	937,24	-38212,06	597,9	-39869,98	409,61	-41000,60	282,16
13	-37400,6	1787,16	-42914,8	2781,25	-36681,77	129,96	-36863,19	165,94	-37527,62	172,73
14	-100140	3960,4	-42477,1	28257,91	-19128,11	664,4	-17810,97	207,50	-17472,62	34,03
15	89283,59	12215,57	30301,05	1549,66	29104,45	71,99	29155,93	82,06	29543,196	145,30
16	-124310	1019,88	-118487	1819,19	-113199,58	1338,7	-109012,39	1116,6	-105711,82	794,03
17	-34244,9	16458,79	-8867,96	60,25	-8956,58	97,81	-9217,59	85,31	-9536,87	100,34
18	-67851,3	3708,6	-48249,7	13637,84	-30740,26	56,88	-30866,73	29,77	-30707,19	85,18
19	1528,84	560,75	-808,044	616,79	-2853,26	564,09	-4601,20	463,6	-6052,47	403,79
20	-43412,3	1479,13	-50370,6	1583,12	-49853,17	194,08	-50911,04	401,37	-52078,28	297,33
Média	-35822,79	2440,80	-30453,00	1399,04	-20880,64	495,42	-16883,14	436,60	-14671,71	263,15



(a)



(b)

Fig.3 – Variação da média da diferença de potencial durante os 5 min de punctura:

- (a) Canal 0 – buraco 04 IG;
- (b) Canal 1 – buraco 05 SJ.

Para além da diferença de potencial também se procedeu ao registo da densidade de potência (microvolts ao quadrado por Hertz - $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) e do valor eficaz (ou raiz do valor quadrático médio) da tensão (VMRS) (μV).

Os valores médios da densidade de potência ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) para cada voluntário e os seus respetivos desvios-padrão estão dispostos na **Tabela IV** quer em relação ao canal 0 (04 IG) quer ao canal 1 (05 SJ). O canal 0 (04 IG) apresenta uma média de densidade de potência de $-8,47 \pm 8,59 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e o canal 1 (05 SJ) $-4,15 \pm 8,62 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$.

Os valores médios do VMRS (μV), para cada voluntário, e os seus respetivos desvios-padrão estão dispostos na **Tabela V**, quer em relação ao canal 0 (04 IG) quer ao canal 1 (05 SJ). O canal 0 (04 IG) apresenta uma média de VMRS de $4,97 \pm 15,73 \mu\text{V}$ e o canal 1 (05 SJ) $7,65 \pm 22,54 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº1**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-2,36 \pm 12,21 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $30,49 \pm 16,12 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-9,09 \pm 15,01 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $52,43 \pm 40,11 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº2**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-13,77 \pm 8,74 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,31 \pm 16,79 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $3,31 \pm 5,5 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,24 \pm 4,59 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº3**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-12,65 \pm 9,51 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,60 \pm 10,47 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $4,75 \pm 5,50 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $4,91 \pm 5,56 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº4**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-6,03 \pm 7,17 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,37 \pm 12,89 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $4,91 \pm 6,76 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $4,75 \pm 18,05 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº5**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $2,95 \pm 8,16 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $8,81 \pm 10,28 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $0,05 \pm 8,36 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $7,86 \pm 12,56 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº6**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-7,86 \pm 11,26 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $6,55 \pm 35,12 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-10,94 \pm 12,35 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $10,14 \pm 50,94 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº7**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-11,39 \pm 7,80 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,7 \pm 7,38 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-10,01 \pm 10,08 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $5,91 \pm 30,02 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº8**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $0,42 \pm 6,60 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,82 \pm 23,61 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $1,59 \pm 6,79 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,82 \pm 18,26 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº9**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-13,6 \pm 8,49 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,45 \pm 16,68 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-11,92 \pm 8,98 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,33 \pm 18,89 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº10**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-13,09 \pm 8,34 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,76 \pm 18,08 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-1,29 \pm 6,78 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,10 \pm 9,08 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº11**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $3,22 \pm 5,34 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,98 \pm 1,57 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-1,03 \pm 6,60 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,83 \pm 17,64 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº12**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-15,05 \pm 9,55 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,09 \pm 9,38 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $2,37 \pm 6,88 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $4,53 \pm 9,05 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº13**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-12,09 \pm 10,13 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,39 \pm 11,64 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-13,18 \pm 9,37 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,17 \pm 14,18 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº14**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-12,42 \pm 7,40 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,46 \pm 6,97 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-14,41 \pm 10,59 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $4,30 \pm 35,31 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº15**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-13,49 \pm 7,71 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,48 \pm 5,95 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-13,71 \pm 10,78 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,21 \pm 35,92 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº16**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-6,25 \pm 11,28 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $7,19 \pm 60,03 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $5 \pm 7,66 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $9,97 \pm 48,16 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº17**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-7,50 \pm 6,26 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $0,92 \pm 1,68 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-11,94 \pm 10,49 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $3,26 \pm 19,81 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº18**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-12,64 \pm 7,57 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,07 \pm 8,08 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-14,99 \pm 10,91 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,59 \pm 28,62 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº19**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-11,08 \pm 8,09 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $1,41 \pm 4,82 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $-0,81 \pm 6,02 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $2,90 \pm 3,54 \mu\text{V}$.

No voluntário **nº20**, o canal 0 (04 IG) apresenta uma densidade de potência de $-4,80 \pm 10,2 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $14,63 \pm 37,21 \mu\text{V}$; o canal 1 (05 SJ) uma densidade de potência de $8,42 \pm 7 \mu\text{V}^2/\text{Hz}$ e um VMRS de $16,80 \pm 30,45 \mu\text{V}$.

Tabela IV: Valores médios e desvios-padrão da densidade de potência ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$) para ambos os canais.

Nº	Densidade de potência ($\mu\text{V}^2/\text{Hz}$)			
	Canal 0 (04 IG)		Canal 1 (05 SJ)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
1	-2,36	12,21	-9,09	15,01
2	-13,77	8,74	3,31	5,5
3	-12,65	9,51	4,75	5,50
4	-6,03	7,17	4,91	6,76
5	2,95	8,16	0,05	8,36
6	-7,86	11,26	-10,94	12,35
7	-11,39	7,80	-10,01	10,08
8	0,42	6,60	1,59	6,79
9	-13,6	8,49	-11,92	8,98
10	-13,09	8,34	-1,29	6,78
11	3,22	5,34	-1,03	6,60
12	-15,05	9,55	2,37	6,88
13	-12,09	10,13	-13,18	9,37
14	-12,42	7,40	-14,41	10,59
15	-13,49	7,71	-13,71	10,78
16	-6,25	11,28	5	7,66
17	-7,50	6,26	-11,94	10,49
18	-12,64	7,57	-14,99	10,91
19	-11,08	8,09	-0,81	6,02
20	-4,80	10,2	8,42	7
Média	-8,47	8,59	-4,15	8,62

Tabela V: Valores médios e desvios-padrão do VMRS (μV) para ambos os canais.

Nº	VMRS (μV)			
	Canal 0 (04 IG)		Canal 1 (05 SJ)	
	Média	Desvio	Média	Desvio
1	30,49	16,12	52,43	40,11
2	2,31	16,79	3,24	4,59
3	2,60	10,47	4,91	5,56
4	2,37	12,89	4,75	18,05
5	8,81	10,28	7,86	12,56
6	6,55	35,12	10,14	50,94
7	1,7	7,38	5,91	30,02
8	3,82	23,61	3,82	18,26
9	1,45	16,68	3,33	18,89
10	1,76	18,08	2,10	9,08
11	2,98	1,57	3,83	17,64
12	2,09	9,38	4,53	9,05
13	3,39	11,64	3,17	14,18
14	2,46	6,97	4,30	35,31
15	1,48	5,95	3,21	35,92
16	7,19	60,03	9,97	48,16
17	0,92	1,68	3,26	19,81
18	1,07	8,08	2,59	28,62
19	1,41	4,82	2,90	3,54
20	14,63	37,21	16,80	30,45
Média	4,97	15,73	7,65	22,54

Os valores de p da análise estatística com o teste t de *Student* encontram-se na **Tabela VI** para a diferença de potencial em cada minuto, para ambos os canais, com as variáveis do questionário: sexo; patologias sistêmicas; prática de exercício físico e estado emocional. Na **Tabela VII** para a densidade de potência e o VMRS de ambos os canais, também com as mesmas variáveis. Na **Tabela VIII** encontram-se os valores de p para o Canal 0 (04 IG) e o Canal 1 (05 SJ), com as diferentes grandezas medidas.

Tabela VI: Valores de p da análise t de *Student* entre a diferença de potencial em cada minuto, de ambos os canais, com as variáveis do questionário.

	Diferença de Potencial - Canal 0 (04 IG)					Diferença de Potencial - Canal 1 (05 SJ)				
	Minuto 1	Minuto 2	Minuto 3	Minuto 4	Minuto 5	Minuto 1	Minuto 2	Minuto 3	Minuto 4	Minuto 5
Sexo	0,383	0,395	0,436	0,488	0,532	0,327	0,173	0,191	0,186	0,181
Patologias sistêmicas	0,643	0,554	0,447	0,406	0,387	0,813	0,395	0,247	0,271	0,295
Exercício	0,822	0,814	0,767	0,704	0,661	0,365	0,471	0,495	0,469	0,454
Estado Emocional	0,3796	0,359	0,363	0,352	0,338	0,912	0,979	0,896	0,871	0,848

Tabela VII: Valores de p da análise t de *Student* entre a densidade de potência e o VMRS, de ambos os canais, com as variáveis do questionário.

	Densidade de Potência		VMRS	
	Canal 0 (04 IG)	Canal 1 (05 SJ)	Canal 0 (04 IG)	Canal 1 (05 SJ)
Sexo	0,305	0,302	0,344	0,288
Patologias sistêmicas	0,014	0,462	0,055	0,149
Exercício	0,202	0,637	0,334	0,257
Estado Emocional	0,857	0,718	0,782	0,887

Tabela VIII: Valores de p da análise t de *Student* entre as médias da densidade de potência, do VMRS e da diferença de potencial, por minuto, entre o Canal 0 (04 IG) e o Canal 1 (05 SJ).

	Densidade de Potência	VMRS	Diferença de potencial				
			1º Minuto	2º Minuto	3º Minuto	4º Minuto	5º Minuto
Canal 0 (04 IG)	0,06	0,37	0,369	0,527	0,671	0,691	0,714
Canal 1 (05 SJ)							

Discussão

Estímulos externos biológicos causam reações elétricas e químicas que influenciam certas atividades biológicas importantes em qualquer ser humano. A acupunctura também funciona como um estímulo externo com o objetivo de provocar tais reações e permitir a recuperação de condições fisiológicas que se encontram em desequilíbrio para condições normais equilibradas (26).

Está descrito na literatura que a estimulação por acupunctura parece gerar cargas iônicas-elétricas e amplificar pequenas correntes e tensões biológicas. Estes fenômenos podem ser resultado quer do potencial elétrico, que surge pela corrente gerada através da estimulação dos buracos de acupunctura pela agulha, quer da reação química entre a agulha e o tecido vivo. Pode considerar-se que esta reação química apresenta o mesmo efeito que a elétrica, uma vez que afeta a distribuição iônica, logo também a carga bioelétrica (26).

Para permitir o restauro da condição normal ao doente, a acupunctura altera a condição em excesso ou em déficit das cargas iônicas-elétricas, o que implica que esteja intimamente relacionada com as transferências de carga bioelétrica (26).

A um nível microscópico, as células vivas têm diferentes propriedades elétricas, que são influenciadas quer pela membrana celular como pelo gradiente de eletrólitos entre o meio intracelular e o fluido extracelular. Como cada segmento do corpo humano é constituído por tecidos diferentes – pele, músculo, nervos, osso, entre outros, cada seção do nosso corpo tem propriedades da membrana celular únicas, como a sua capacidade isolante e de distribuição dos eletrólitos nos fluídos intra e extracelulares. Por conseguinte, as características da membrana, como a sua resistividade e condutância, também diferem consoante o segmento corporal em questão (27).

Ao analisar as diferenças de potencial no mesmo segmento do corpo humano em vários voluntários é de esperar uma certa homogeneidade, visto que os potenciais gerados são influenciados por membranas celulares e eletrólitos intra e extracelulares com as mesmas características (27).

Os resultados deste estudo indicaram que a média da diferença de potencial é máxima no momento de punctura e vai diminuindo à medida que os minutos passam (**Fig.3**) o que é de esperar, uma vez que um dos objetivos da acupunctura é a regulação da distribuição das cargas iônicas-elétricas para obtenção do equilíbrio (26-28). O facto do desvio-padrão médio também diminuir ao longo do tempo, em ambos os canais (**Tabela I e II**), reforça ainda mais a diminuição efetiva das médias da diferença de potencial.

Esta diminuição da diferença de potencial, ao longo do tempo de punctura, é mais abrupta no buraco 05 SJ [Fig.3 (b)], comparativamente ao buraco 04 IG [Fig.3 (a)], sendo que este último parece ter tendência a estabilizar mais cedo. Contudo, é de salientar que o tempo de punctura deste estudo foi relativamente curto – 5 minutos, para se tirarem conclusões mais abrangentes quanto ao tratamento por punctura seca, uma vez que este é, em média, efetuado durante períodos de tempo mais longos.

Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) entre os buracos de punctura 04 IG e 05 SJ, quer a nível da diferença de potencial, como da densidade da potência e do valor eficaz da tensão (VMRS), muito provavelmente por se encontrarem próximos a um nível anatómico e apresentarem estruturas celulares com membranas e eletrólitos intra e extracelulares com composição semelhante.

Quanto à análise estatística entre as diferentes variáveis do questionário individual aos voluntários e as diferentes medições, também não foram verificados resultados estatisticamente significativos à exceção da densidade de potencial do canal 0 – buraco 04 IG, nos voluntários com e sem patologias sistémicas, onde $p = 0,0139$. Para além disso, a relação do VMRS do canal 0 (04 IG), também nos voluntários saudáveis e não saudáveis, apresenta valor de $p = 0,0552$ que, apesar de não ser estatisticamente significativo, aproxima-se de o ser.

Neste estudo, dos vinte voluntários, quatro apresentam patologias sistémicas: rinite alérgica (voluntário 7 e 10), hipotireoidismo subclínico (voluntário 14) e anemia ferropénica (voluntário 19), sendo que se encontram todos a tomar medicação adequada à patologia, à exceção do voluntário 7. Tanto o facto de serem apenas quatro voluntários com patologias sistémicas, como o facto de serem patologias diferentes, com medicações diversas, pode ter contribuído para estes resultados, daí não se poderem retirar ilações conclusivas. Por outro lado, a ocorrência de diferenças significativas entre voluntários com patologias sistémicas e voluntários saudáveis aquando da presença de tão poucos indivíduos não saudáveis na amostra total pode ser considerada um fator de interesse em estudos futuros.

No que diz respeito às restantes variáveis analisadas: sexo, prática de exercício físico e estado emocional, estas não apresentaram diferenças estatisticamente significativas com a diferença de potencial, a densidade da potência e o VMRS quer para o buraco 04 IG como para o buraco 05 SJ.

O exercício físico foi considerado uma variável uma vez que estão relatadas na literatura mudanças do fluxo iónico induzidas pelo exercício, bem como diversas reações físico-químicas e processos metabólicos (27), daí o interesse na pesquisa se a prática de exercício físico regular pode causar qualquer alteração a nível dos potenciais elétricos nos tratamentos de acupunctura.

Apesar de não terem sido verificadas diferenças estatisticamente significativas, importa realçar que este estudo apresenta uma amostra pequena, onde oito dos vinte voluntários referiram a prática de exercício físico regular mas sem especificar a regularidade ou intensidade do exercício.

Conclusões

Dos resultados obtidos neste estudo conclui-se que as agulhas de punctura seca apresentam, em média, diferença de potencial elétrico maior aquando do início do tratamento, que vai diminuindo ao longo do tempo do mesmo, sem diferenças significativas entre os buracos de punctura seleccionados nesta experiência – 04 IG e 05 SJ, nem entre o sexo feminino e o sexo masculino, entre a prática de exercício físico regular e a não prática regular nem entre um estado emocional/psicológico normal e com alterações, para as condições do estudo. Importa referir que a análise do estado emocional poderia ter sido realizada de uma forma mais analítica através do recurso a ferramentas de medição, por exemplo, o Inventário de Ansiedade Estado-Traço (STAI), de maneira a analisar os vários níveis de ansiedade.

Por outro lado, existem diferenças estatisticamente significativas entre os voluntários saudáveis e os voluntários não saudáveis apenas num dos buracos de punctura (04 IG), relativamente à densidade da potência, o que pode ter sido causado quer pela diversidade de patologias como pela medicação associada a estas, mas, devido ao número reduzido quer da amostra no geral quer do número de voluntários não saudáveis, não devem ser retiradas conclusões específicas.

Posto isto, conclui-se que é necessária a realização de estudos posteriores uma vez que não se deve excluir a hipótese de, caso se aumente a duração da punctura e a dimensão da amostra, se distribuam as variáveis em estudo de forma mais homogénea e se faça uma análise mais específica do estado emocional e da prática de exercício físico, possam surgir novos resultados que confirmem estas diferenças significativas nos potenciais elétricos de doentes comparativamente a pessoas sem patologias sistémicas, de forma a se retirarem ilações com um suporte científico de maior evidência.

Agradecimentos

A realização deste trabalho de investigação foi exequível graças a diversos apoios e incentivos sem os quais não teria sido possível a sua concretização, aos quais estarei eternamente grata:

Ao meu orientador, Mestre Eng.º José Ricardo Cabeças, pela disponibilidade, paciência, espírito de compreensão e de colaboração, por toda a ajuda que me prestou, desde esclarecimentos das mais variadas dúvidas, à análise estatística e formatação geral da tese e por todas as palavras de incentivo, desde o início até ao fim.

Ao meu coorientador, Professor Doutor António Silvério Cabrita, pela partilha constante do seu vasto conhecimento e por toda a disponibilidade que demonstrou ao longo da realização deste trabalho.

À minha família, especialmente aos meus pais, irmã e todos os “Famelgos”, por terem acreditado desde sempre em mim e nas minhas capacidades, por fazerem um esforço por compreender a pouca disponibilidade que tive para eles nestes cinco anos de faculdade, principalmente durante este último ano, por serem a minha “rede anti queda” em todas as situações e por serem mais do que família, serem dos meus melhores amigos. Não posso deixar de fazer especial referência à minha tia Sónia, por todas as ajudas e conhecimentos que desde cedo me transmitiu e por me ter ensinado a gostar de estudar.

A todos os meus amigos e colegas de curso, por todos os momentos bons e menos bons vividos em conjunto, durante estes cinco anos, em especial à minha eterna *roomie*, às “Miguitas” e aos “Originais 2011-2012” por terem partilhado esta caminhada comigo desde o início, por entrarem, viverem e saírem de Coimbra comigo. Levo-os comigo para a vida.

Bibliografia

1. White A, Cummings M, Filshie J. An Introduction to Western Medical Acupuncture. Livingstone C, editor: ELSEVIER; 2008. 1-240 p.
2. Leung AY, Kim SJ, Schulteis G, Yaksh T. The effect of acupuncture duration on analgesia and peripheral sensory thresholds. *BMC complementary and alternative medicine*. 2008;8:18.
3. Huang T, Yang L, Jia S, Mu X, Wu M, Ye H, et al. Capillary blood flow in patients with dysmenorrhea treated with acupuncture. *Journal of traditional Chinese medicine = Chung i tsa chih ying wen pan / sponsored by All-China Association of Traditional Chinese Medicine, Academy of Traditional Chinese Medicine*. 2013;33(6):757-60.
4. Yang M, Yang J, Zeng F, Liu P, Lai Z, Deng S, et al. Electroacupuncture stimulation at sub-specific acupoint and non-acupoint induced distinct brain glucose metabolism change in migraineurs: a PET-CT study. *Journal of translational medicine*. 2014;12:351.
5. Leung L. Neurophysiological Basis of Acupuncture-induced Analgesia—An Updated Review. *Journal of acupuncture and meridian studies*. 2012;5(6):261-70.
6. Karavis MY, Argyra E, Segredos V, Yiallouroy A, Giokas G, Theodosopoulos T. Acupuncture-induced haemothorax: a rare iatrogenic complication of acupuncture. *Acupuncture in medicine : journal of the British Medical Acupuncture Society*. 2015;33(3):237-41.
7. Rodriguez-Mansilla J, Gonzalez-Sanchez B, De Toro Garcia A, Valera-Donoso E, Garrido-Ardila EM, Jimenez-Palomares M, et al. Effectiveness of dry needling on reducing pain intensity in patients with myofascial pain syndrome: a Meta-analysis. *Journal of traditional Chinese medicine = Chung i tsa chih ying wen pan / sponsored by All-China Association of Traditional Chinese Medicine, Academy of Traditional Chinese Medicine*. 2016;36(1):1-13.
8. Kalichman L, Vulfsons S. Dry needling in the management of musculoskeletal pain. *Journal of the American Board of Family Medicine : JABFM*. 2010;23(5):640-6.
9. Zhang J, Wang X, Lu R. Analgesic effect of acupuncture at hegu (LI 4) on transvaginal oocyte retrieval with ultrasonography. *Journal of traditional Chinese medicine = Chung i tsa chih ying wen pan / sponsored by All-China Association of Traditional Chinese Medicine, Academy of Traditional Chinese Medicine*. 2013;33(3):294-7.
10. Skorupska E, Rychlik M, Samborski W. Intensive vasodilatation in the sciatic pain area after dry needling. *BMC complementary and alternative medicine*. 2015;15:72.

11. Perez-Palomares S, Olivan-Blazquez B, Arnal-Burro AM, Mayoral-Del Moral O, Gaspar-Calvo E, de-la-Torre-Beldarrain ML, et al. Contributions of myofascial pain in diagnosis and treatment of shoulder pain. A randomized control trial. *BMC musculoskeletal disorders*. 2009;10:92.
12. Sterling M, Valentin S, Vicenzino B, Souvlis T, Connelly LB. Dry needling and exercise for chronic whiplash - a randomised controlled trial. *BMC musculoskeletal disorders*. 2009;10:160.
13. Bai Y, Guo Y, Wang H, Chen B, Wang Z, Liu Y, et al. Efficacy of acupuncture on fibromyalgia syndrome: a Meta-analysis. *Journal of Traditional Chinese Medicine*. 2014;34(4):381-91.
14. Plonsey R, Barr RC. *Bioelectricity A Quantitative Approach*. Third ed: Springer; 2007. 1-531 p.
15. Gumbart J, Khalili-Araghi F, Sotomayor M, Roux B. Constant electric field simulations of the membrane potential illustrated with simple systems. *Biochimica et biophysica acta*. 2012;1818(2):294-302.
16. Brown SB, Dransfield I. Electric fields and inflammation: may the force be with you. *TheScientificWorldJournal*. 2008;8:1280-94.
17. Yoon J-Y. *Introduction to Biosensors From Electric Circuits to Immunosensors*: Springer; 2013. 1-266 p.
18. Andreev VP. Cytoplasmic electric fields and electroosmosis: possible solution for the paradoxes of the intracellular transport of biomolecules. *PloS one*. 2013;8(4):e61884.
19. Ye H, Steiger A. Neuron matters: electric activation of neuronal tissue is dependent on the interaction between the neuron and the electric field. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2015;12:65.
20. Rowe M. Sensor basics: Types, functions and applications. *EDN Network*. 2013:1-16.
21. Isacoff EY, Jan LY, Minor DL, Jr. Conduits of life's spark: a perspective on ion channel research since the birth of neuron. *Neuron*. 2013;80(3):658-74.
22. Rothberg BS. The BK channel: a vital link between cellular calcium and electrical signaling. *Protein & cell*. 2012;3(12):883-92.
23. Freites JA, Tobias DJ. Voltage Sensing in Membranes: From Macroscopic Currents to Molecular Motions. *The Journal of membrane biology*. 2015;248(3):419-30.
24. Teisseyre A, Gasiorowska J, Michalak K. Voltage-Gated Potassium Channels Kv1.3-- Potentially New Molecular Target in Cancer Diagnostics and Therapy. *Advances in clinical and experimental medicine : official organ Wroclaw Medical University*. 2015;24(3):517-24.

25. Rudy Y. Modelling the molecular basis of cardiac repolarization. *Europace : European pacing, arrhythmias, and cardiac electrophysiology : journal of the working groups on cardiac pacing, arrhythmias, and cardiac cellular electrophysiology of the European Society of Cardiology*. 2007;9 Suppl 6:vi17-9.
26. Lee YH, Ryu YH, Jung B. Investigation of electrical responses to acupuncture stimulation: the effect of electrical grounding and insulation conditions. *Journal of acupuncture and meridian studies*. 2009;2(1):49-55.
27. Kim SB, Lee NR, Shin TM, Lee YH. Development and evaluation of a multi-frequency bioelectrical impedance analysis analyzer for estimating acupoint composition. *Journal of acupuncture and meridian studies*. 2014;7(1):33-43.
28. Lee Y, Kim S, Son T, Kang D, Jung B. Meridian electrical potential response to acupuncture stimulation between operator and subject. *Journal of acupuncture and meridian studies*. 2010;3(4):249-54.