

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ В ОРГАНАХ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ЭЛЕКТРОТЕРАПИИ ПО ОТВЕДЕНИЮ «РУКА-РУКА»

М.Ю. Готовский¹, С.Ю. Перов², О.В. Белая²

¹Центр интеллектуальных медицинских систем «ИМЕДИС» (г. Москва),

²ФГБУ Научно-исследовательский институт медицины труда РАМН (г. Москва)

Numerical modeling of current distribution in human body organs during electropunctural therapy

M.Yu. Gotovskiy¹, S.Yu. Perov², O.V. Belaya²

¹Center of intellectual medical systems «IMEDIS» (Moscow, Russia),

²SRI of Occupational Medicine (Moscow, Russia)

РЕЗЮМЕ

Выполнено математическое моделирование характера распределения токов в органах организма человека при электропунктурной терапии по отведению «рука-рука» с помощью программы SEMCAD X v. 14.8. Получены конкретные величины и характер распределения токов в численной модели фантома человека и проведена их теоретическая оценка. Показана перспективность использования математического моделирования для совершенствования методов электропунктурной терапии.

Ключевые слова: электропунктурная терапия, математическое моделирование, фантом человека, плотность тока.

RESUME

Numerical modeling of current distribution in human body organs during electropunctural therapy on pathway "hand-hand" was realized by means of software SEMCAD X v. 14.8. Current density values and character of current density distribution in human body model were obtained and theoretically evaluated. Numerical modeling showed to be a perspective direction for study and optimization of electropunctural therapy.

Keywords: electropunctural therapy, numerical modeling, human body model, current density.

ВВЕДЕНИЕ

Электропунктурная терапия является лечебным методом, заключающимся в воздействии на определенные биологически активные точки или зоны кожи постоянным, переменным или импульсным электрическим током. Электропунктура по сравнению с классической акупунктурой позволяет точно дозировать силу и характер воздействия, чего невозможно достигнуть при введении иглы. Совершенствование метода электропунктурной терапии обусловлено теоретическим обоснованием этого метода, связанного с органоспецифической направленностью воздействия, тогда как в настоящее время в основном превалирует эмпирический подход. Один из основоположников электропунктурной терапии в нашей стране Ф.Г. Портнов, рассматривая механизмы этого

метода, указывал на сложность в интерпретации характера прохождения и распределения электрического тока в тканях: «При наложении электродов между ними возникает электрическое поле... многослойность и различная электропроводность тканей является причиной того, что силовые линии электрического поля в организме не всегда совпадают с кратчайшим путем между электродами, а могут захватывать отдаленные области. Ток устремляется в межклеточные пространства, заполненные проводящей жидкостью, по ходу кровеносных и лимфатических сосудов, оболочкам нервных стволов, через протоки потовых и отчасти сальных желез, т.е. по пути минимального сопротивления» [1, с. 120–121]. Изучение функциональных взаимосвязей в организме человека между кожей и внутрен-

ними органами на протяжении длительного времени проводилось эмпирическим путем, методом «проб и ошибок», что позволило значительно развиваться практическим методам лечения. Изучение характера взаимодействия электрического тока с функционально связанными органами при воздействии на биологически активные точки и зоны кожи будет способствовать оптимизации электропунктурной терапии и сделает возможным ее сравнение по новым критериям с другими методами терапии.

В связи с этим целью настоящего исследования стала оценка с помощью теоретического моделирования характера распределения протекающих в органах организма человека токов и их величин при электропунктурной терапии по методу Р. Фолля с использованием отведения «рука - рука».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях проводилось численное моделирование с помощью программы SEMCAD X v.14.8, разработанной Schmid & Partner Engineering AG, «SPEAG», Zurich, Switzerland [2] совместно с Foundation for Research on Information Technology in Society (IT'IS) Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland [3]. В качестве метода электропунктурной терапии при моделировании использовался метод квадрантного выравнивания энергетического баланса

биологически активных зон с использованием отведения «рука - рука» по Р. Фоллю [4]. Использовался численный фантом взрослого человека, у которого отведение «рука - рука» моделировалось положительным электродом с напряжением 1,2 В, расположенным в правой руке, и отрицательным электродом – в левой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применение программы SEMCAD позволило теоретически определить величину и характер распределения плотности токов J (мА/м²), которые протекают в органах организма человека при проведении электротерапии по отведению «рука - рука».

Общий вид фантома взрослого человека с результатами моделирования приведен на рис. 1. Вычисленные величины плотностей токов J , мА/м² в органах представлены в табл. 1. Наибольшие значения плотности тока отмечаются в следующих органах: щитовидная железа – до 29 мА/м², пищевод – до 24 мА/м², тимус – до 21 мА/м², желудок – до 19 мА/м², сердце – до 18 мА/м², диафрагма – до 16 мА/м², поджелудочная железа и легкие – до 12 мА/м², желчный пузырь – до 8 мА/м², селезенка – до 5 мА/м², печень – до 4 мА/м², почки и шейно-грудной отдел позвоночника – до 3 мА/м². Характер и структура распределения плотностей токов в сагиттальном сечении фантома представлен на рис. 2, а при фронтальном сечении в пи-

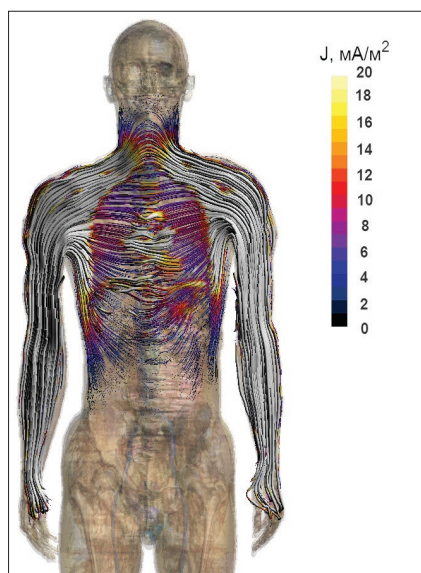


Рис. 1. Характер и структура распределения плотностей токов в фантоме взрослого человека (вид спереди).

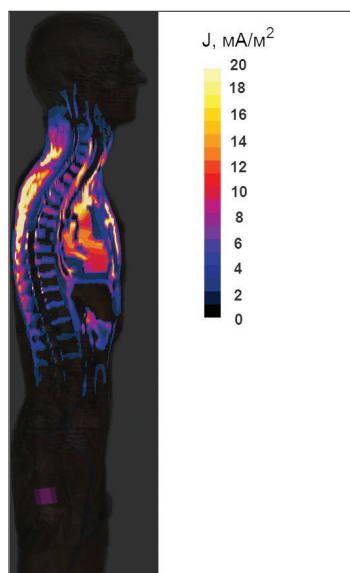


Рис. 2. Характер и структура распределения плотностей токов в фантоме взрослого человека (сагиттальное сечение).

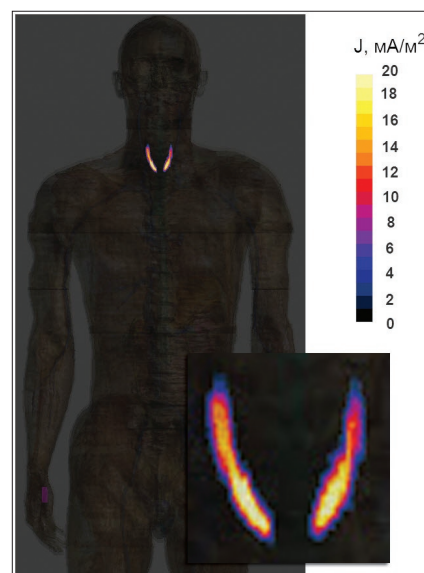


Рис. 3. Распределение плотностей токов J , мА/м² в щитовидной железе (фронтальное сечение).

Таблица 1

Средние величины плотностей тока (J , мА/м^2) в органах, взаимосвязанных с отведением «рука - рука»

№	Орган	J , мА/м^2
1.	Щитовидная железа	7,5
2.	Пищевод	5,5
3.	Тимус	6,6
4.	Желудок	4,4
5.	Сердце	5,2
6.	Диафрагма	4,0
7.	Поджелудочная железа	4,3
8.	Легкие	3,7
9.	Желчный пузырь	2,5
10.	Селезенка	1,4
11.	Печень	1,1
12.	Почки	0,8
13.	Шейно-грудной отдел позвоночника	0,003

щевод, желудке, сердце, диафрагме, легких и шейно-грудном отделе позвоночника на рис. 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, соответственно.

Структура прохождения и распределения плотности постоянного тока в органах и тканях организма человека определяется величиной их электрического сопротивления, которое является функцией силы тока, времени его прохождения и его направления и зависит от материала и конструктивного исполнения измерительных электродов [5]. Кроме того, при кратковременном приложении разности потенциалов возникает противоположно направ-

ленная электродвижущая сила, обусловленная процессами поляризации в тканях на границах раздела фаз [6]. В соответствии с законом Ома, сопротивление постоянному току определяется через измерение величины силы тока и напряжения, однако, как предполагалось, для живых тканей все это находится в некотором противоречии по сравнению с физическими системами [7]. Несмотря на эти проблемы, была найдена эмпирическая зависимость между сопротивлением постоянному электрическому току и функциональным состоянием органов и тканей. В результате многочисленных исследований было установлено, что окруженные мембраной клетки оказывают постоянному току очень высокое сопротивление, и весь ток проходит через заполненное электролитами межклеточное пространство. Однако клеточная мембрана не является идеальным диэлектриком, а характеризуется сопротивлением, определяемым ее ионной проницаемостью, которое при нарушении нормального функционирования клетки снижается и при необратимых изменениях стремится к нулю [8]. Структура распределения и величины постоянного тока в тканях, полученная в настоящем исследовании в результате выполненного моделирования, позволила сделать некоторые предварительные заключения.

Величины токов в различных органах прямо пропорциональны значениям электрической проводимости тканей, входящих в состав

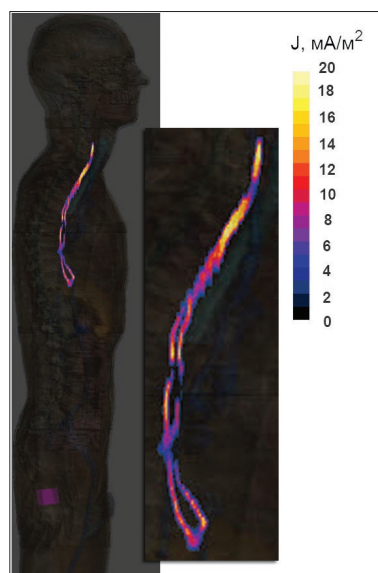


Рис. 4. Распределение плотностей токов J , мА/м^2 в пищеводе (сагиттальное сечение).

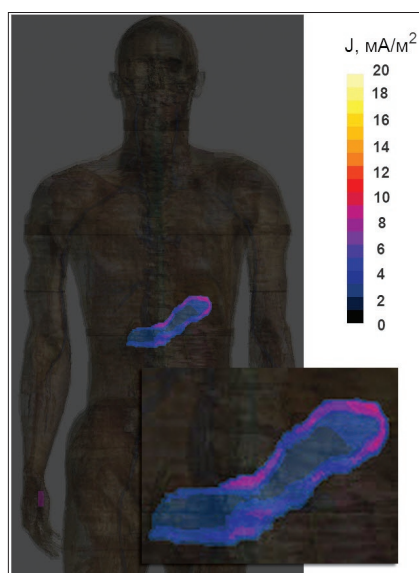


Рис. 5. Распределение плотностей токов J , мА/м^2 в желудке (фронтальное сечение).

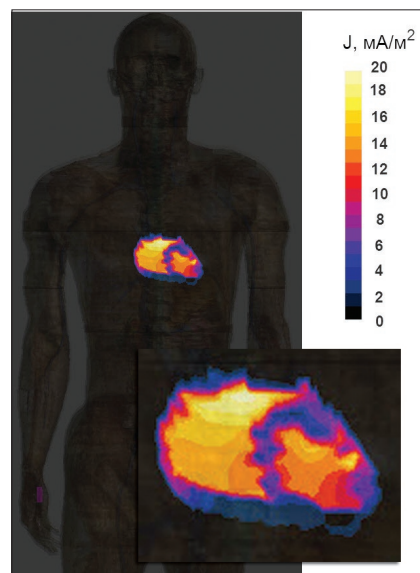


Рис. 6. Распределение плотностей токов J , мА/м^2 в сердце (фронтальное сечение).

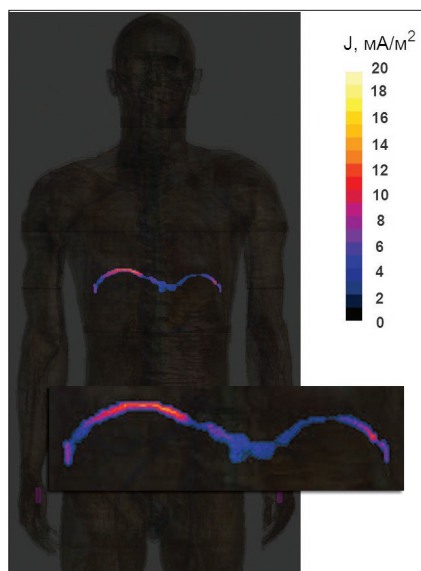


Рис. 7. Распределение плотностей токов J , mA/m^2 в диафрагме (фронтальное сечение).

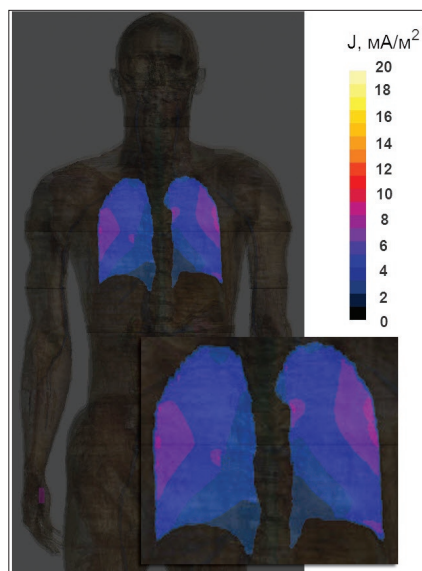


Рис. 8. Распределение плотностей токов J , mA/m^2 в легких (фронтальное сечение).

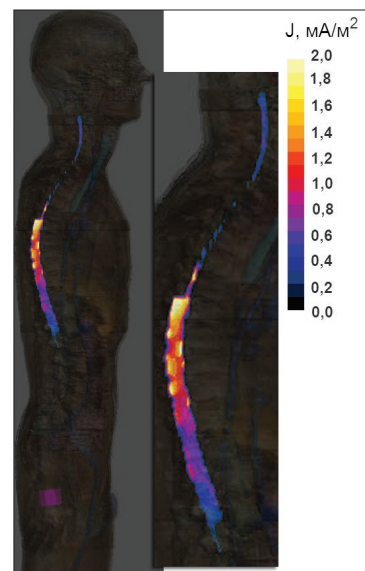


Рис. 9. Распределение плотностей токов J , mA/m^2 в шейно-грудном отделе позвоночника (сагиттальное сечение).

того или иного органа, которая зависит от содержания в них воды и растворенных в ней электролитов в физиологических концентрациях [5]. Так, например, ткани щитовидной железы и сердца характеризуются большей концентрацией в них воды, чем в легких или костно-хрящевых тканях позвоночника. Помимо этого, анализ полученных данных позволяет предполагать зависимость величины плотности тока от степени кровоснабжения тканей, образующих тот или иной орган, а также степени их функциональной взаимосвязи применительно к моделируемому отведению «рука - рука».

ВЫВОДЫ

В результате выполненного моделирования получены величины и картина распределения токов в органах на фантоме человека при электропунктурной терапии по методу Р. Фолля по отведению «рука-рука». Показана перспективность использования теоретического моделирования с помощью программы SEMCAD X v.14.8 для изучения механизмов и совершенствования методов электропунктурной терапии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Портнов Ф.Г. Электропунктурная рефлексотерапия. 3-е изд. перераб. и доп. – Рига: «Зинатне», 1988.
2. <http://www.speag.com/>
3. <http://www.itis.ethz.ch/>

4. Самохин А.В., Готовский Ю.В. Электропунктурная диагностика и терапия по методу Р. Фолля. – М.: ИМЕДИС, 1995.

5. Miclavčič D., Pavšelj N., Hart F.H. Electrical properties of tissues. – Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. – John Wiley & Sons, Inc., 2006. – P.1–12.

6. Martinsen Ø., Grimnes S., Schwan H.P. Interface phenomena and dielectric properties of biological tissue. – Encyclopedia of Surface and Colloid Science, Marcel Dekker, Inc., 2002. – P.2643–2652.

7. Кертис Г. Биоэлектрические измерения // Биофизические методы исследования / Под ред.Ф. Юбера. – М.: Изд-во ИЛ, 1956. – С.126–149.

8. Schwan H.P. Physical properties of biological matter: some history, principles, and applications // Bioelectromagnetics. – 1982. – Vol.3, N.1. – P.3–8.

Адрес автора

К.т.н. Готовский М.Ю.
Ген. директор ООО «ЦИМС «ИМЕДИС»
info@imedis.ru