

О. П. Страхова, А. А. Рыжов

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОКОЖНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Запорожский государственный медицинский университет

Поиск критерия экспресс-оценки функционального состояния человека и его текущего изменения – важная исследовательская задача. Для этой цели использовались разнообразные методы определения электрокожных характеристик. Наряду с легкостью в применении, они не всегда дают точную оценку текущего функционального состояния обследуемого. Рассмотрены распространенные методы измерения кожной проводимости и существующие правила обработки полученных результатов. На собственном исследовательском материале показана разработка статистически верной стратегии определения функционального состояния человека по его электрокожным характеристикам.

Ключевые слова: электрокожные характеристики, экспресс-оценка функционального состояния человека, statistical processing, однородность данных

Существует несколько основных методов исследования электрических свойств различных участков кожных покровов человека: с применением устройств, работающих на постоянном токе разной полярности; на переменном токе разной частоты; на импульсном токе. Они позволяют измерять проводимость или электрокожное сопротивление (обратная величина) и используют существование корреляции между электрокожными характеристиками отдельных микрзон кожи и состоянием внутренних органов и систем человека. Начиная с исследований Р. Фолля и Й. Накатани в 40-50-х гг. прошлого века, авторы отмечают, что в микрзонах на теле человека, соответствующих точкам, описанным в традиционной китайской медицине как точки акупунктуры, сопротивление кожного покрова резко падает, до $70 \div 300$ Ом. Площадь таких участков кожи составляет $1 \div 2$ мм² [3, 5, 7].

Основной проблемой обоснования достоверности результатов исследований ЭКХ МЗ является отсутствие специфичной морфологической структуры таких образований. Проведенные в разных странах исследования участков кожи с найденными в них низкоомными площадками не выявили каких-либо особенных клеточных структур, которые могли бы быть представлены как специфичные электрические проводники, или необычных клеточных образований. Некоторые авторы отмечают относительно большее количество тучных клеток в МЗ по сравнению с произвольно взятыми образцами кожи, не имеющими таких МЗ [1, 2].

Специфичные электрические свойства МЗ кожи нельзя считать следствием ее смачивания при потоотделении (пот представляет

собой электролитический раствор), потому что они присущи кожному покрову не только человека, но и животных – крыс, кошек, собак, птиц, – и даже тем из них, у которых в коже анатомически отсутствуют потовые железы.

Акупунктурные точки и их объединения, называемые «меридианами», обладают особыми биофизическими свойствами. Известным французским классиком акупунктуры профессором Ж.Е.Н. Нибуе было установлено [6], что: 1) в акупунктурных зонах, описанных в древнекитайской медицине, всегда имеется точка наименьшего электрического сопротивления; 2) эти точки постоянно обнаруживаются на симметричных частях тела с точностью до 1 мм; 3) между двумя точками одного и того же «меридиана» сопротивление электрическому току меньше, чем между одной из них и любой другой точкой кожной поверхности.

Реальность существования МЗ, кроме стабильно низкого сопротивления, подтверждается только эмпирическим путем, по результатам воздействия на них в терапевтических целях, при адекватном выборе лечащим врачом комплексов МЗ.

Цель работы – анализ распространенных методов измерения электрокожных характеристик в микрзонах (ЭКХ МЗ) на теле человека; обоснование выбора оптимального метода измерения ЭКХ МЗ; анализ способов обработки результатов измерений ЭКХ МЗ разными методами, а также обоснование предлагаемого способа статистической обработки результатов измерения ЭКХ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Устройством измерения ЭКХ МЗ был выбран прибор «Рада-5», схемотехнически характеризующийся высокой помехоустойчиво-

стью и малым температурным дрейфом нуля, что обеспечивает точность измерений ЭКХ. Статистическая обработка результатов измерений осуществлялась с помощью стандартного пакета программ STATISTICA 6.0.

Обзор основных методов диагностики по ЭКХ. К методам определения ЭКХ МЗ на постоянном токе относятся упомянутые, получившие широкое мировое распространение и признание методы Накатани и Фолля. Импульсы с частотой в 10 Гц (и неизвестной амплитудой и скважностью) использовались при диагностике с помощью раздражающих токов для обнаружения «одонтогенных очагов» [1]. На переменном токе в 80-90-ые гг. прошлого века были проведены работы под руководством д.т.н. Ф. Г. Портнова [3]. Отличие исследований, проводимых с использованием различных видов тока, состоит в том, что при исследовании электрических свойств кожи с применением постоянного тока любой полярности не учитываются емкостные свойства исследуемых кожных покровов, в то время как при исследовании импеданса эти составные части общего кожного сопротивления вносят свой вклад в общее значение сопротивления кожного покрова.

Для учета вклада емкостной и индуктивной составляющих в общее сопротивление кожи, учитывая все вышесказанное, на первый взгляд, целесообразно применять метод измерения импеданса. Но в работе [3] показано, что при проведении исследования функционального состояния пациентов, когда измеряемыми параметрами были модуль и аргумент импеданса, обнаружено, что изменения аргумента происходят хаотично и не имеют четко определенной зависимости с изменением состояния обследуемого. Автор приходит к выводу, что диагностически значимы только измерения модуля. Это значит, что в комплексном сопротивлении показательна активная составляющая, аналогичная сопротивлению по постоянному току, а фазовый сдвиг лишь вносит некоторый шум в итоговое значение сопротивления. Поэтому предпочтительными методами исследования можно считать методы с применением постоянного тока.

Регистрация параметров. Широко распространенные методы регистрации ЭКХ МЗ Фолля и Накатани основаны на учете показате-

телей проводимости по постоянному току кожных покровов человека в местах, соответствующих классическим акупунктурным «точкам-источникам» меридианов», так как значения этих показателей коррелируют с состоянием определенных внутренних органов и систем [1, 5]. «Точки-источники» 12 основных меридианов, имеющих органную принадлежность, расположены симметрично на правой и левой стороне тела, на дистальных отделах конечностей, всего 24 точки.

В устройстве регистрации параметров ЭКХ МЗ, используемом в методе Фолля, применен метод измерения точечным электродом, с площадью касания к коже около 1 мм². Аппаратно обеспечивается преобразование электрокожного сопротивления, подключаемого к цепи между измерительным и индифферентным электродами для заданного постоянного измерительного тока, в выходные сигналы, регистрируемые в условных единицах «проводимости» по линейной измерительной шкале [5]. Исследование проводится при положительной полярности измерительного электрода.

Измерение ЭКХ МЗ выполняется при напряжении 1,2-1,5 В и силе тока 1-20 мА. Фиксируются ЭКХ МЗ в процентах шкалы.

В методе Накатани напряжение 9-12 В формирует величину тока 20-100 мА при токе короткого замыкания 200 мА. Полярность измерительного электрода отрицательная.

Полученные данные нормируются с помощью специальной эмпирически выведенной логарифмической «аппроксимирующей» формулы с поправочными коэффициентами для вычисления величины проводимости МЗ каждого меридиана и отдельных поправочных коэффициентов – для так называемых шкал средних значений [2]:

$$R_j = 0.866 * H_{max} * \ln(1 + I_j / b_j);$$

где R_j – высота точки, откладываемой на шкале R-карты для меридиана j ; H_{max} – максимальная высота шкалы R-карты (мм); I_j – измеренное значение тока для j меридиана (мкА); b_j – коэффициент для j меридиана; j изменяется от 1 до 12.

Коэффициенты b_j для каждого меридиана приведены в таблице 1.

Полученные расчетные величины R_j откладываются на соответствующих шкалах R_j

Таблица 1 — Поправочные коэффициенты для построения R-карты в методе Накатани

Меридиан	H1	H2	H3	H4	H5	H6	F1	F2	F3	F4	F5	F6
b_j	81	69	81	94	94	76	60	76	70	60	67	89

карты Накатани, отдельных для каждой исследуемой МЗ. Аппроксимирующая формула для среднего значения, рассчитываемого для всех измерений, имеет тот же вид, что и для отдельного меридиана, коэффициент $b_{cp}=76$. С точки зрения автора, так можно определить системы организма, отклоняющиеся от физиологической нормы для данного человека и требующие коррекции или лечения.

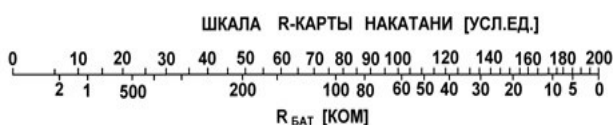


Рисунок 1 — Вид нелинейных шкал в методе Накатани

Создание диагностического заключения. В методе Накатани «коридор нормы» рассчитывается, исходя из среднего значения всех ЭКХ МЗ организма конкретного человека. Автор предположил, что текущее функциональное состояние организма определяет исходную величину электропроводности кожи в целом, а в здоровом организме все МЗ должны иметь одинаковую проводимость [5].

Автор метода заметил, что некоторые МЗ всегда имеют устойчиво более (или менее) высокие значения проводимости, чем другие меридианы. Но, желая представить «коридор нормы» в виде прямой линии, он в поправочные коэффициенты для расчета расстояний между делениями шкал, учитывающие нелинейность характеристик входящих в измерительную схему электрорадиоэлементов, добавил долю, вносимую собственно различиями показателей ЭКХ МЗ, отдельно для каждого меридиана. Это позволило с определенной степенью приближения располагать результаты измерений во всех измеряемых МЗ примерно на одной высоте и сделало коридор допустимых значений прямым, а диагностирование более очевидным. Непонятно, почему в качестве верхней и нижней границ нормы в этом вычисляемом коридоре даны линии, располагающиеся на расстоянии именно 7 мм выше и ниже средней, которая к тому же откладывается на отдельной шкале, не сходной с большинством шкал меридианов.

В методе Фолля автор за норму принял середину своей процентной шкалы, или 50%

от возможного максимума показаний прибора для данного обследуемого. «Коридор нормы» формируется силовым способом, располагаясь в диапазоне от 50 до 65 единиц шкалы. Показания ЭКХ МЗ ниже 50 и выше 65 единиц шкалы отнесены к проявлениям разной степени патологии [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализировав существующие методы проведения измерений ЭКХ МЗ и способы формирования диагностического заключения, проведено собственное исследование ЭКХ МЗ для контингента, однородного по возрасту и роду занятий (студенты медицинского вуза, юноши и девушки, в возрасте 18-19 лет), всего 157 участников.

В исследовании был применен прибор, основным измерительным устройством которого является автоматический уравновешенный мост Уитстона, очень чувствительный к самым маленьким изменениям проводимости измеряемого объекта. Измерение проводилось сухим точечным электродом.

Электропитание устройства от батареек 9В, сила тока 1-20 μ А. Измерительный ток постоянный, отрицательной полярности. Контрольными МЗ в нашем исследовании выбраны те же 24 МЗ – «источники», по 12 на правой и левой стороне тела.

Результаты измерений заносились в сводные таблицы, в которых строка представляет собой все результаты измерений одного обследуемого, а каждый столбец содержит все результаты измерений одной МЗ у всего обследованного контингента.

Проведенная обработка результатов исследования исключала априорное предположение, что у всех МЗ тела должно быть одинаковое значение «нормы» и потому для всех МЗ может существовать одинаковый «коридор нормы». Все рассматриваемые способы определения ЭКХ МЗ основаны на одном теоретическом методе – традиционной акупунктуре. Исследователи определяют ЭКХ не кожи в разных частях тела, а в каждой МЗ находим ЭКХ отдельных органов и систем, чье функциональное состояние и его изменения, благодаря кожно-висцеральным связям, отражается в измеряемых параметрах МЗ. Вычисление среднего значения для всех измеренных МЗ (как в методах Фолля и Накатани) нарушает осново-

Таблица 2 — Таблица для внесения результатов измерений ЭКХ МЗ

Правая сторона												Левая сторона											
Н	Н	Н	Н	Н	Н	F	F	F	F	F	F	Н	Н	Н	Н	Н	Н	F	F	F	F	F	F
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6

полагающий в статистике принцип однородности анализируемых данных. Несмотря на то, что среднее значение может быть подсчитано, оно не описывает ни одного базового свойства представленного множества МЗ.

Так как показатели ЭКХ МЗ зависят от текущего функционального состояния данного органа или системы, а каждая МЗ характеризует состояние одного органа или системы в данный момент времени, то делать выводы об имеющемся устойчивом изменении в функциональном состоянии человека или ставить достоверный диагноз невозможно по одному измерению. Единичное измерение отражает текущие значения ЭКХ МЗ, которые могут иметь величины, описанные в методиках как патологические. На самом деле, они являются лишь отражением того, что отдельный орган или система находится в таком же функциональном состоянии, как если бы у обследуемого был бы холелитиаз, или остеохондроз, или панкреатит, т.е. это фиксация напряженной работы органа или системы только в данный момент времени. В следующий момент значения могут заметно измениться, и предполагаемый диагноз будет другим.

Для определения выборочных характеристик и расчета «коридора» допустимых значений мы предлагаем два сходных между собой метода – популяционный и личный. Выбор метода зависит от цели проведения исследования. Популяционный метод применим, если исследователь намерен установить статистические значения и их возможные отклонения для определенной по возрасту группы или территориального контингента исследуемых. В случае динамического наблюдения за состоянием одного человека должен быть сформирован массив наблюдений одного человека с количеством таких наблюдений, достаточным для проведения статистической обработки по каждой измеряемой МЗ. Статистически достоверные выводы о состоянии здоровья пациента можно сделать при числе наблюдений не менее 50 [4]. Оба предложенных метода дополняют друг друга.

Чтобы получить сравнимые результаты, измеряемые величины необходимо нормализовать. Для этого каждое измерение надо начинать с калибровки шкалы прибора, т.е. адаптации измерительной шкалы к свойствам кожи каждого обследуемого человека. В нашем случае калибровка проводится путем выставления стрелки на измерительной шкале устройства в положение «100» при короткозамкнутых через тело обследуемого человека электродах. Короткое замыкание выполняется

при максимальном касании кожей человека всей контактной площади измерительного и индифферентного электродов. Время измерения каждой контрольной точки составляет 2-5 с, до получения максимума измерения. Сила нажатия на измерительный электрод не должна вызывать неприятных ощущений избыточного давления у обследуемого. Результаты измерений ЭКХ МЗ заносятся в таблицу.

Каждая строка такой таблицы соответствует одному измерению всех параметров ЭКХ МЗ одного человека. В варианте популяционного обследования в каждой строке будут данные о новом человеке, в личном обследовании – данные о новых измерениях одного и того же человека.

Сформированная таблица исходных данных в каждом столбце содержит информацию об ЭКХ одной МЗ, т.е. в каждом столбце находятся однородные данные, для которых можно вычислить описательные статистики, являющиеся в таком случае информативными. В этом случае вычисленное для каждого столбца среднее значение будет иметь смысл не средней проводимости кожного покрова человека, а средних значений ЭКХ для данного «меридиана», органа или системы, в популяции или у одного обследованного, за определенный период времени.

Средние значения ЭКХ МЗ могут быть визуализированы (рис. 2). Изображенные кривые представляют собой соединенные линией значения ЭКХ МЗ, отложенные в условных единицах измерительной шкалы; сначала 12 результатов измерений правой стороны тела, затем в такой же последовательности измерения ЭКХ МЗ левой половины тела.

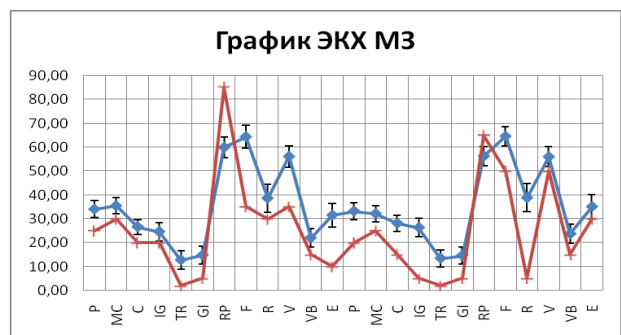


Рисунок 2 — График средних значений ЭКХ МЗ. Линия с планками погрешностей – график средних значений ЭКХ МЗ, вычисленных для обследованной однородной по возрасту и виду деятельности группы лиц в один сезон года; вторая линия – график ЭКХ МЗ одного человека

Названия МЗ даны во французской классификации. Хорошо видно, что правая часть графика средних значений, изображающая значения ЭКХ МЗ правой стороны тела, подоб-

на левой стороне. График одного человека имеет определенный разброс относительно аналогичных точек на графике средних, выходящий за пределы доверительных интервалов средних значений в отдельных МЗ. Среднее значение всех ЭКХ МЗ для всего обследованного контингента равно 35,1, для одного выбранного обследованного – 33,8. Показания отдельных МЗ и в контингенте, и у одного обследованного очень заметны и устойчиво отличаются от вычисленного среднего параметра. На этом основании делать заключение об отклонениях в функциональном состоянии у всего обследованного контингента ошибочно.

В результате проведенных измерений установлено, что а) средние по обследованной группе лиц ЭКХ каждой МЗ в действительности имеют устойчивые значения; б) их параметры справа и слева в симметричных МЗ сходны по величине; в) интервал нормы на показанном графике представлен планками погрешностей для каждой МЗ. Величины планок являются доверительным интервалом, рассчитанным для каждой МЗ.

ВЫВОДЫ

1. Однородными данными являются результаты измерения ЭКХ каждой отдельной МЗ, а не все измерения ЭКХ всех МЗ одного обследуемого за один раз.

2. При статистической обработке однородных информационных массивов, представляющих собой результаты измерений ЭКХ каждой отдельной МЗ, выявляется стабильность их средних значений в каждой данной группе измерений, аналогично справа и слева.

3. Средние значения ЭКХ МЗ имеют устойчивое взаимное распределение друг относительно друга в каждой данной группе, что

видно на представленном графике.

4. Имеет статистический смысл не «коридор нормы» в виде прямой полосы определенной ширины, а интервал нормы для каждой отдельной МЗ, равный доверительному интервалу.

5. Учитывая устойчивость, нехаотичность взаимного относительного распределения средних значений ЭКХ МЗ, можно предположить, что МЗ действительно существуют; каждая из них обладает определенными параметрами (как зубцы ЭКГ) и являются отражениями кожно-висцеральных связей. Возможно, речь идет еще об одной регуляторной системе организма.

ЛИТЕРАТУРА

1 Крамер Ф. Учебник по электроакупунктуре в 2-х томах. – М.: Имедис, 1995.— 328 с.

2 Метод Накатани. Методические указания Минздрава РФ №2002/34.

3 Портнов Ф. Г. Электростимуляционная рефлексотерапия. – Рига: Зинатне, 1982. – 311 с.

4 Халафян А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник. – М.: Бином-Пресс, 2007. – 512 с.

5 Nakatani Y. Ryodoraku Acupuncture / Y. Nakatani, K. Yamashita. – Tokyo, 1977. – 120 p.

6 Niboyet J. E. H. La moindre résistance a l'électricité de surfaces punctiformes et de trajectes cutanés concordant avec les points et méridiens, bases de l'acupuncture /J. E. H. Niboyet, R. J. Bourdiol, P. G. Regard //Traité D'Acupuncture. – Paris: Maisonneuve; 1963.— 420 p.

7 Voll R. Verification of acupuncture by means of electroacupuncture according to Voll // Am. J. Acupuncture. – 1978. – V. 6 (1). – P. 5-15.

Поступила 21.05.2014 г.

О. П. Страхова, А. А. Рыжов

ЭЛЕКТРОТЕРІЛІК СИПАТТАҒЫ ЗЕРТТЕУЛЕР ӘДІСТЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Адамның функционалдық жағдайы мен оның ағымдық өзгерістерін экспресс-бағалаудың өлшемдерін іздестіру – маңызды зерттеу міндеті. Осы мақсат үшін электротерілік сипаттамаларды анықтаудың әртүрлі әдістері қолданылды. Қолдануда жеңілдігімен қатар олар зерттелетін адамның функционалдық жағдайын үнемі дәл бағалай бермейді. Терінің өткізуін өлшеудің кең тараған әдістері мен алынған нәтижелерді өңдеудің қолданыстағы тәртібі қарастырылған. Дербес зерттеу материалында адамның функционалдық жағдайын оның электротерілік сипаттамалары бойынша анықтаудың статистикалық дұрыс стратегиясын әзірлеу көрсетілген.

Кілт сөздер: электротерілік сипаттамалар, функционалдық жағдайды экспресс-бағалау, статистикалық өңдеу, мәліметтердің біртектілігі

О. P. Strakhova, A. A. Ryzhov

PECULIARITIES OF THE RESEARCHES METHOD OF ELECTROCUTANEOUS CHARACTERISTICS

Searching the rapid assessment of the human's functional state criteria and his current change is an important research task. For this purpose, various methods have been used determine the characteristics electrocutaneous. Along with ease of use, they do not always give an accurate assessment of the human's current functional status. Considered measuring skin conductance methods and existing rules for processing the results. Our own research shows a statistically correct strategy for determining the human's functional state by electrocutaneous characteristics.

Keywords: electrocutaneous characteristics, a rapid functional state assessment, statistical processing, homogeneity of data