

Ю.Н. Орлов

ЭЛЕКТРОСОМАТОГРАФИЯ КАК МЕТОДИКА СОПУТСТВУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ

Аннотация

Приведено описание электросоматографии как методики сопутствующего контроля физиотерапевтического лечения. Описаны принципы получения и информационное значение электросоматографии, применяемой при физиотерапевтическом лечении на группе условно здоровых пациентов, у пациентов с травмами, с хроническими заболеваниями.

Электрографические исследования как метод регистрации и анализа биоэлектрических процессов в клетках, тканях и органах пациентов широко используются в обширном классе медико-биологических задач: в практическом здравоохранении, в биологических и физиологических экспериментах, исследованиях в области физиологии труда и спорта, в авиационной и космической медицине и т. д. Распространенность электрографии объясняется полным отсутствием энергетического воздействия на пациента, возможностью получения объективных диагностических признаков по большому числу электрогенных структур – клеток, тканей и органов, неинвазивностью методики и т. д. Поэтому неудивительно, что по частоте обращения одна из методик электрографии – электрокардиография – занимает первое место среди всех диагностических процедур. Вместе с тем диагностические возможности электрографии далеко не исчерпаны.

Изученной биофизической основой информационного электрофизиологического сигнала являются клеточные (мембранные) ионообменные процессы, приводящие к появлению специфических мембранных потенциалов – потенциалов покоя (поляризации) и возбуждения (деполяризации-реполяризации). Эти потенциалы присущи всем живым клеткам. Быстрая динамика процессов деполяризации – реполяризации характеризуется временами, не превышающими долей секунды, и соответствует частотному диапазону от сотен до тысяч герц.

Заметим, что такие быстроизменяющиеся биоэлектрические сигналы характерны лишь для группы нервных и нервно-мышечных тканей в моменты их возбуждения, однако именно эти сигналы лежат в основе наиболее известных электрофизиологических методик ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ и др.

Значительная часть клеточных структур (эпителиальных, волокнистых соединительных, костных, хрящевых, сухожильных и связочных тканей, а также жидких субстанций организма) в электрофизиологическом плане характеризуется наличием явно выраженного мембранного потенциала покоя. Последний представляет собой квазистационарный потенциал с заметной при внимательном наблюдении временной составляющей, проявляющейся с периодичностью от секунд до суток (в зависимости от типа

клеток), что соответствует частотному диапазону ниже нижнего порога крайне низких частот (КНЧ).

Величина мгновенных значений медленно изменяющихся электрических потенциалов клеток (а затем тканей и органов) отражает как медленные естественные ритмические колебания параметров биообъекта, так и появление патологических процессов в нем. Поэтому электрография биообъекта в нижней области КНЧ может способствовать выявлению диагностических признаков патологических процессов (воспалительных, инфекционных, онкологических и др.), а также нарушений травматического характера, приводящих к изменению мембранного потенциала покоя.

Однако разработка и эксплуатация средств измерений медицинского назначения, предназначенных для работы именно в этом частотном диапазоне, является технически более сложной задачей, что затрудняет разработку и внедрение приборов такого типа в медицинскую практику.

Ниже описаны методики и технические средства электрографии, используемые для суммарной оценки электрофизиологической активности клеточно-тканевого соматического уровня организма в процессе лечения пациента.

Под вводимым термином «электросоматография» (ЭСГ) в данной статье понимается методика исследования электрофизиологического статуса соматических структур пациента в нижней области КНЧ (ниже 3 Гц), заключающаяся в униполярном измерении медленно изменяющихся биоэлектрических потенциалов дистальных окончаний каждой из четырех конечностей (L, R, N и F), суммировании их потенциалов, регистрации и визуализации получаемой электрограммы.

При разработке методики и технических средств ЭСГ использован ряд решений, описание которых приведено ниже.

Модифицированная система организации виртуального нуля [1]

Наиболее универсальной и методически совершенной в исследовании биоэлектрических потенциалов является методика униполярных измерений, при которой осуществляется измерение биоэлектрического потенциала в любой заданной точ-

ке биообъекта относительно другой, условно нулевой точки, потенциал которой при измерениях остается постоянным. Примером такой методики в электрокардиографии является униполярная система грудных отведений по Вильсону (отведения $V_1 \dots V_6$) с использованием виртуальной электрической нулевой точки, физически не существующей, но реально получаемой при суммации потенциалов трех конечностей – L, R и F.

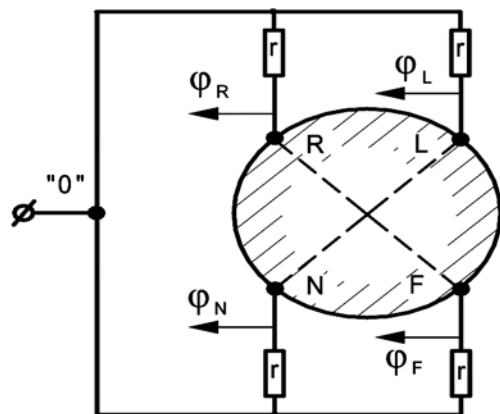


Рис. 1. Формирование виртуальной нулевой точки суммированием потенциалов конечностей ϕ_L , ϕ_R , ϕ_F и ϕ_N

В описываемой методике предложена модифицированная система униполярных отведений, при которой в физическую модель биообъекта заложена прямоугольная геометрическая конфигурация электрической цепи (в отличие от треугольника Эйнтховена в электрокардиографии). Виртуальная нулевая точка формируется при этом электрическим соединением потенциалов четырех конечностей – L, R, F и N (рис. 1).

Система отведений и суммации биоэлектрических потенциалов

Реализация предложенной методики базируется на суммации и униполярном измерении биопотенциалов дистальных окончаний каждой из четырех конечностей – L, R, F и N.



Рис. 2. Методика измерения суммарных потенциалов конечностей. Сзади слева видны измерительные электроды, контактирующие с конечностями через раствор NaCl

Физическое (электрическое) суммирование биопотенциалов каждой из конечностей осуществляется путем размещения их дистальных участков в ванночках с электропроводным физиологическим 0,9%-ным раствором NaCl и съема суммарных потенциалов с электролита ванн. Предложенная методика съема биопотенциалов приводит к некоторому усложнению процедуры измерения, однако при этом минимизируются ошибки топографии электродов, а также артефакты движения (рис. 2).

Идеологической основой идентификации получаемого сигнала как электрограммы всего пациента служит известная (Р. Фолль, Пак Дже Ву [2], [3]) информационная (электрическая) связь всех органов и тканей организма, осуществляемая посредством:

- электропроводных жидких структур (биоэлектролитов) организма (крови, лимфы, межклеточной жидкости и т. д.);
- системы электропроводных путей – меридианов с биологически активными точками.

Наличие перечисленных проводящих путей позволяет считать, что дистальные окончания конечностей несут информацию о состоянии всех соматических тканей организма пациента. Левая рука при этом несет преимущественную информацию о левом верхнем квадранте тела пациента, правая нога – о правом нижнем квадранте и т. д.

Измеренные значения потенциалов конечностей L, R, F и N с учетом знака (т. е. направления) проецируются на сформированные на мониторе компьютера оси отведений L-N и R-F, и далее, как векторные величины, суммируются. Суммарный биоэлектрический потенциал организма отражается в полярной системе координат радиус-вектором r , характеризующим амплитудное значение и квадрант, в котором выявляется преобладающее значение биопотенциалов организма пациента.

Измерительный комплекс

Измерительный комплекс (рис. 3) включает в себя кресло пациента, электродную систему, содержащую электроды 2-го рода и 4 ванночки для конечностей с электролитом (физиологическим 0,9%-ным раствором NaCl), многоканальный усилитель биоэлектрических потенциалов, схемотехнические средства усиления, обеспечения электрической безопасности пациента, АЦП и интерфейс [4]-[7]. Программное обеспечение и экранные формы ориентированы на медперсонал, не имеющий специальной технической подготовки. В числе рабочих экранных форм – лист-анкета пациента, 4 временных электрограммы конечностей 0R, 0L, 0F и 0N и интегральная электрограмма в полярных координатах. Измерение и анализ ЭСГ в течение заданного времени (например, до, во время и после процедуры лечения, в период реабилитации и т. д.) обеспечивают возможность описания в терминах электрогенеза динамики метаболизма соматических тканей пациента.

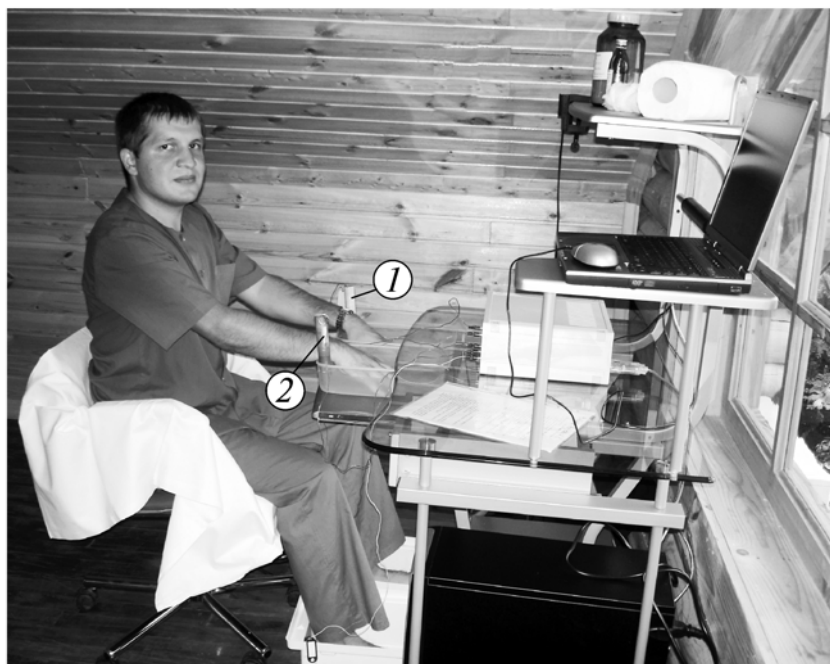


Рис. 3. Общий вид измерительного комплекса для электросоматографии: 1, 2 – электроды, установленные в ванночках для рук

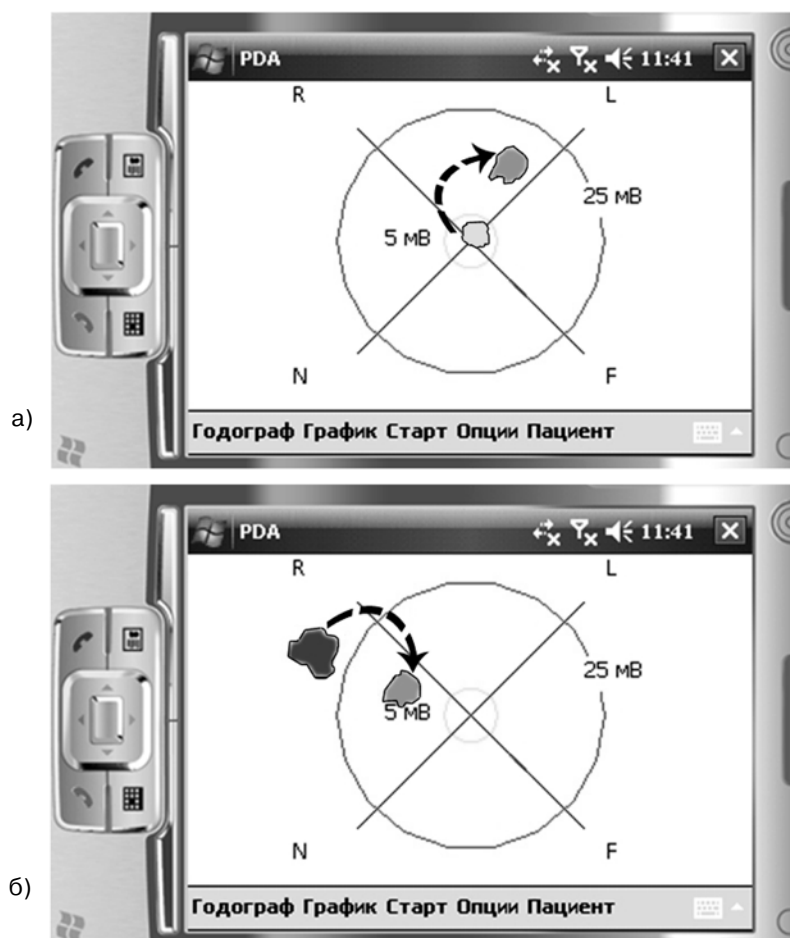


Рис. 4. Формирование в координатах RF-LN пространства нормы ($5 < \phi < 25$ мВ): результаты лечения хронического больного (а), пациента с травмой (б)

В ходе медико-биологического этапа работы определялся амплитудно-фазовый портрет ИЭГ для группы условно здоровых пациентов, его изменения при заболеваниях, а также при физиотерапевтическом воздействии (лечении) условно здоровых пациентов и пациентов с известными патологиями. В группу условно здоровых пациентов были включены практически здоровые (по историям болезней) 20...25-летние психологически и профессионально подготовленные студенты (76 человек). В группу пациентов с заболеваниями отбирались преимущественно спортсмены с повреждениями опорно-двигательной системы. Исследования проводились под наблюдением врача-физиотерапевта. На пациентов по решению врача оказывалось какое-либо стандартное лечебное физиотерапевтическое воздействие (с использованием низкочастотного ультразвука, магнитного поля, оптического облучения потоком красного, инфракрасного и синего диапазонов спектра, лазерного и магнитолазерного излучения, электролечения и т. д.).

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

- ЭСГ во всех случаях имеет индивидуальный характер для каждого обследуемого и локализуется в квадранте, определяемом локализацией максимально активных в момент измерения электрогенных клеточных и структурно-функциональных систем пациента;
- модуль вектора ЭСГ в норме равен (20 ± 5) мВ, образуя в координатах L-N и R-F окружность – «пространство нормы» (рис. 4);
- в течение суток, в соответствии с биоритмикой внутренних систем пациента, наблюдается изменение биопотенциалов конечностей, что отражается в изменениях амплитудно-фазового портрета ЭСГ. Вектор ЭСГ, меняя свое угловое положение, не выходит при этом по амплитудному значению из пространства нормы;
- патологии, развивающиеся по типу воспаления (в том числе вывихи, растяжения, ушибы и пр.), характеризуются в начальный период повышенным (до 100 мВ и более) уровнем амплитуд ИЭГ, образуя «пространство патологии»;
- хронические заболевания характеризуется уменьшенной (до 2...5 мВ) величиной модуля вектора ЭСГ.

Типовые физиотерапевтические процедуры, проводимые в группе условно здоровых пациентов, не приводили к существенным изменениям состояния пациентов и соответственно характеристик ЭСГ. Адекватно назначенное физиотерапевтическое лечение пациентов с воспалительными процессами или травматическими повреждениями приво-

дило к уменьшению амплитуды ЭСГ (перемещению электрофизиологического показателя из пространства патологии в пространство нормы), при этом субъективно отмечалось улучшение состояния пациентов. При неадекватно назначенных физиотерапевтических процедурах были отмечены случаи увеличения модуля сигнала ЭСГ. При физиотерапевтическом лечении пациентов с хроническими заболеваниями опорно-двигательной системы наблюдался рост амплитуды от минимальных значений до значений, соответствующих пространству нормы ЭСГ.

Список литературы:

1. Орлов Ю.Н. Противоречия систем отведения в электрокардиографии / Тезисы докладов 4-й научно-технической конференции «Медико-технические технологии на страже здоровья». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
2. Фолль Р. Топографическое положение точек замера при электроиглотерапии. Том 1. – М.: ТЕХАРТ, 1993. 200 с.
3. Пак Чжэ Ву, Оннури Су. Су Джок терапия. – М.: Су Джок Академия, 1999. 124 с.
4. Григорьян О.Н., Невский Д.И., Орлов Ю.Н. Технические средства сопутствующего контроля при лечении метаболических заболеваний. Тезисы докладов / 6-я научно-техническая конференция «Медико-технические технологии на страже здоровья». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
5. Артюхов Ю.А., Ишутин Д.В., Орлов Ю.Н., Суглобова О.Н. Методика исследования интегральной электрограммы человека и область ее применения / Всероссийская научно-практическая конференция «Теория и практика новой мед. техники и мед. технологий». – М.: ВНИИИМТ, 2006.
6. Орлов Ю.Н., Ребров И.Е., Федоров С.А., Хучуа Н.С. Оценка корректности униполярных методик отведений биопотенциалов / Международная научно-практическая конференция «Медико-техническое обеспечение образовательных учреждений». – М.: АМТН, 2009.
7. Орлов Ю.Н. Проектирование медицинских измерительных преобразователей. Часть 2. Измерительные преобразователи электрических полей живого организма (биоэлектрические электроды) для диапазона крайне низких и низких частот. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 84 с.

Юрий Николаевич Орлов,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра биомедицинских технических систем,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,
e-mail: orlovmgtu@mail.ru

* * * * *