

Исследование прогностических показателей стимуляционной миографии сокращений при окклюзионных поражениях сосудов нижних конечностей

В. И. Бабинков

Контактное лицо: Виктор Иванович Бабинков, v.babinkov@mail.ru

В качестве прогностических показателей жизнеспособности тканей нижней конечности при множественном поражении мышц использовали процентное соотношение высоко-, средне- и низкоамплитудных сократительных реакций (СР) или их отсутствие, регистрируемые стимуляционной импедансной миографией сокращений (СИМС). После исследования границ разброса показателей ампер-омических кривых мышц конечности пациентов определили усредненные значения максимальных сократительных реакций (МСР) и распределили их в координатной плоскости по секторам углов наклона кривых в обратной зависимости амплитуды от величины стимула в виде гиперболы, содержащей высоко-, средне- и низкоамплитудные МСР, по процентному содержанию которых строили профили гистограмм пациентов с известными клиническими диагнозами. Сопоставление профилей гистограмм разных стадий хронического ишемического синдрома между собой показывало их высокую различительную способность и корреляцию гистограмм с диагнозами.

Ключевые слова: прогностические показатели, множественные поражения мышц, ишемические синдромы конечностей, метод стимуляционной импедансной миографии сокращений, ампер-омические кривые сокращений, угол наклона кривых и максимальная амплитуда сокращений, гистограммы амплитуды сократительных реакций, соответствие профилей гистограмм стадиям ишемического синдрома, различительная способность гистограмм.

Для цитирования: Бабинков В. И. Исследование прогностических показателей стимуляционной миографии сокращений при окклюзионных поражениях сосудов нижних конечностей. Раны и раневые инфекции. Журнал им. проф. Б. М. Костюченка. 2020; 7(2): 22-27.

DOI: 10.25199/2408-9613-2020-7-2-22-27

Study of stimulation impedance myography contractions predictive indicators in occlusion lesions of lower extremities vessels

V. I. Babinkov

As a predictive indicator of tissue viability in multiple muscle lesions used the percentage of high-, medium- and low amplitude contracting reactions (CR) or their absence, recorded by stimulation impedance myography contraction (SIMC). After examining the boundaries of the scattering of amp-omic muscle curves of the limbs, the patients determined the distribution of maximum contractile reactions (MSRs) by the angles of tilt curves in the coordinate plane. After examining the boundaries of the scattering of amp-omic muscle curves of the limbs, the patients determined the distribution of maximum contractile reactions (MCRs) by the angles of tilt curves in the coordinate plane. Average sectoral values of MSR were distributed in reverse dependence of amplitudes on the amount of stimulus in the form of hyperbole containing high-, medium-, and low-amplitude MSD, the percentage of which were based on the profiles of histograms of patients with known clinical diagnoses. Comparison of histogram profiles of different stages of chronic ischemic syndrome among themselves showed their high distinguishing ability and correlation of histograms with diagnoses.

Key words: prognostic indicators, multiple muscle lesions, ischemic limb syndromes, the method of stimulation impedance myography contractions, amp-omic contractions, angle of inclination and maximum amplitude of contractions, histograms of amplitude of reduced reactions, conformity of histogram profiles of stages of ischemic syndrome, the distinctive ability of the histograms.

For citation: Babinkov V. I. Study of stimulation impedance myography contractions predictive indicators in occlusion lesions of lower extremities vessels. Wounds and wound infections. The Prof. B. M. Kostyuchenok Journal. 2020, 7(2): 22-27.

Введение

В случаях множественного поражения мышц при ишемических синдромах и механической травме (краш-синдроме в том числе), при ранениях и других обширных поражениях мягких тканей нижней конечности

возникают непростые вопросы о возможности ее сохранения или пригодности для протезирования. Время полной ишемии мышц при краш-синдроме из-за вероятности сохранения коллатерального кровотока часто остается неизвестным. В таких случаях состояние

мышц конечности на момент исследования оказывается основным прогностическим показателем ее репаративной возможности, а сократимость — главным и специфичным свойством мышечной ткани. Однако прогностические показатели, основанные на оценке сократимости, исследованы недостаточно.

При оценке состояния одной мышцы методом СИМС во время ее раздражения импульсами тока возрастающей амплитуды возникают увеличивающиеся сократительные реакции, что регистрируется методом контактной кондуктометрии при снижении электрического сопротивления току высокой частоты [1]. Кривые зависимости амплитуды сократительных реакций (СР) от силы тока можно подвергнуть графической линеаризации, что позволит судить о сократительной способности мышцы по углу наклона характеристик или тангенсу угла наклона. Эти зависимости отражают вполне определенные свойства мышцы: минимальное значение функции соответствует порогу возбудимости, угол наклона (крутизна) указывает на интенсивность вовлечения сократительных единиц в сокращение на каждую единицу силы тока (рекрутбельность), а максимальная сократительная реакция (МСР) соответствует количеству активированных актомиозиновых мостиков. Таким образом, усилие не будет развиваться или будет ослабляться при недостатке или отсутствии АТФ. Этот метод объективен при оценке состояния одной мышцы. Его недостаток — невозможность суммарной оценки состояния большого количества мышц при обширных поражениях мягких тканей конечности.

В отличие от оценки состояния одной мышцы, для исследования обширных поражений мышечной ткани необходимо иметь систему сравнения по функциональным показателям большинства основных мышц. Предположительно, такой системой может служить метод сравнения мышц конечности для данной патологии, позволяющий характеризовать ее по наличию высокоамплитудных, среднеамплитудных и низкоамплитудных сокращений или по их отсутствию в совокупности с показателями исследуемых мышц, другими словами, по профилю гистограммы амплитуды сокращений. Пределы вариативности признака сократимости и сопутствующих признаков (длительности сокращения и др.) по изменению ампер-омических кривых методом СИМС при ишемических синдромах не изучены.

Задачи исследования

1. Определить границы диапазона отклонений ампер-омических кривых мышц пострадавших нижних конечностей группы пациентов по углам наклона кривых и максимальным амплитудам сократительных реакций (МСР) при ишемических синдромах методом СИМС.

2. Сгруппировать кривые по углам наклона характеристик и проанализировать зависимость высокоамплитудных, среднеамплитудных и низкоамплитудных сократительных реакций и сопутствующих параметров (длительность СР и др.) от величины тока стимула, выделив четыре статистически различных типа повреждения мышц для характеристики множественного поражения мышц конечности по гистограммам сокращений, учитывая зависимость МСР от угла наклона кривых ампер-омических характеристик (АОХ).

3. Определить профили гистограмм четырех типов хронического ишемического поражения мышц наблюдавшихся пациентов с известными клиническими диагнозами и достоверность различительной способности профилей гистограммы.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований были пациенты, страдающие атеросклеротическими поражениями аорты и магистральных артерий нижних конечностей, лечившиеся в 90-е годы XX века в отделении сосудистой хирургии городской клинической больницы № 7 г. Москвы (зав. — проф. Г. С. Кротовский) и в отделении ран и раневых инфекций (зав. — проф. А. М. Светухин). Как правило, это были больные со II–IV степенью хронической артериальной недостаточности [2, 3].

Всего исследовано 234 мышцы. В контрольной серии исследовано 22 мышцы. С целью получения стандартной матрицы данных для типирования тяжести поражения всей конечности или ее сегмента мышцы исследовали в 13 участках по схеме их расположения, используемой при определении мышечной возбудимости в классической электродиагностике, начиная с межплюсневых мышц и мышц свода стопы до головок четырехглавой мышцы бедра [4]. Электрические параметры вызванных сокращений (ЭПВС) регистрировали в участках двигательных точек. При такой методике исследования образуется стандартная матрица точек для группирования данных, и состояние конечности при этом определяется не случайной локализацией электрода у разных пациентов, а функциональными показателями в пронумерованных точках, принадлежащих своим мышцам.

Сократительные реакции записывали на тепловой бумаге регистратора при скорости 5,0 и 50,0 мм/с. Индифферентный электрод крепили под коленной чашечкой на голени спереди (в неподвижной области) с помощью резинового жгута через марлевую прокладку, обработанную токопроводящей пастой. Игольчатый электрод поочередно погружали в ткани в области двигательных точек и регистрировали вызванные сокращения. Атрауматические игольчатые электроды, изолированные на всем протяжении, за исключением токопроводящей части, диаметром 0,3–0,5 мм, стерильные, для индивидуального пользования,

Таблица 1. Обратная зависимость параметров сокращений от степени повреждения мышц 1–4 и от силы стимулирующего тока (пояснения в тексте)

Table 1. The inverse dependence of contractions parameters on the degree of muscle 1–4 damage and on the strength of the stimulating current (explanations in the text)

Тип повреждения мышц Type of muscle damage	Стимулирующий ток, мА Stimulating current, mA	Амплитуда (а), Ом Amplitude (a), Ω	Наклон характеристики Characteristics slope	Общая длительность (I), с Total duration (I), s	Длительность до пика (I1), с Duration to peak (I1), s	a/I	Сопротивление начальное (базовое), Ом Initial resistance (basic), Ω
1	1,27	3,20	85°	0,416	0,085	7,70	360
2	4,50	1,20	61°	0,380	0,084	3,16	300
3	7,80	0,41	31°	0,311	0,079	1,32	243
4	27,0	0,15	4°	0,271	0,062	0,55	209

исключают излишнее травмирование мышц и защищают от попадания инфекции в ткань.

Перед работой прибор калибровали, 1 Ом снижения импеданса соответствовал 10,0 мм амплитуды сократительной реакции на записи. Величину базового сопротивления определяли по специальной шкале прибора и записывали на бумажной ленте вместе с краткими данными о пациенте и с диагнозом болезни. В каждой исследуемой точке мышцы определяли и записывали ток стимула, пороговый ответ, сократительные реакции на возрастающий по силе ток при нескольких его значениях, величину максимально достигаемой сократительной реакции (МДСР) и соответствующую ей силу тока, которая задавалась вручную или автоматически.

Полученные кривые роста амплитуды подвергали выравниванию графическим путем [5]. Кривые веерообразно располагались в координатах угла от 0 до 90°, их МДСР сдвигались вправо по оси абсцисс по мере увеличения пороговых токов и снижения амплитуды в сильно пострадавших мышцах.

Наибольшая плотность расположения наблюдалась около осей абсцисс и ординат, поэтому были выделены секторы 0–4° и 90–75°, в пределах которых проведены усреднения углов наклона. Поскольку полученная обратно пропорциональная зависимость МДСР от силы тока (см. таблицу) имеет вид гиперболы, правомерно говорить о вертикальной и горизонтальной асимптоте гиперболы в этих зонах. Верхний предел вертикальной асимптоты ограничен возможностями перьевой записи регистратора и имеет усеченный вид (рис. 1), а для других кривых роста амплитуды — точкой верхнего изгиба усредненной кривой в пределах выбранного сектора. Горизонтальная асимптота

гиперболы определяется усредненным значением локальных сокращений ткани мышцы.

Остальной сектор I квадранта осей координат был разделен по границе 45°: от 4 до 45° и от 45 до 75°, в которых тоже проведено усреднение параметров кривых амплитуды сокращений в точках изгиба. Усредненные результаты представлены в таблице и на рис. 1.

В таблице и на диаграмме (рис. 1) показано, что по мере снижения реактогенной способности мышц угол наклона характеристических кривых снижается, пороговые токи увеличиваются, а сами кривые и их максимально достигаемые точки сдвигаются по оси абсцисс вправо. Такое расположение точек МДСР дает

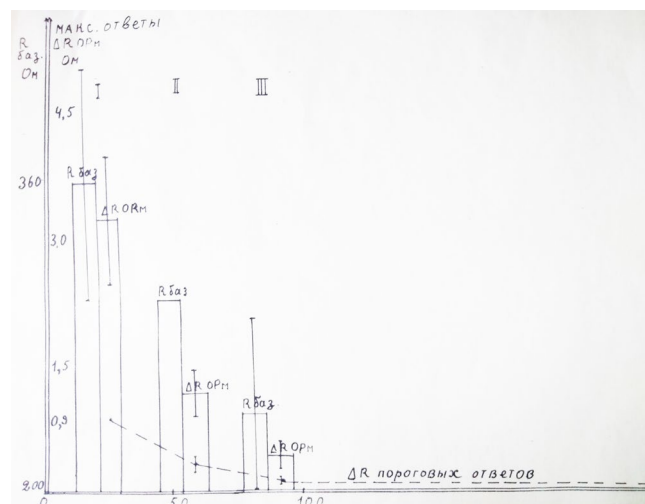


Рис. 1. Обратная зависимость параметров сокращений от степени повреждения мышц 1–4 и от силы стимулирующего тока (пояснения в тексте)

Fig. 1. The inverse dependence of contractions parameters on the degree of muscle 1–4 damage and on the strength of the stimulating current (explanations in the text)

возможность выделить статистическим методом и разделить графически неперекрывающиеся зоны, в которых группируются характеристические кривые в зависимости от реактогенности мышц. В пределах зоны, равной двум величинам сигмы вверх и в стороны от усредненных точек МДСР, можно выделить неперекрывающиеся зоны с точностью 95,5 % [5].

При статистической обработке были использованы стандартные методы: Стьюдента, χ^2 , определялись корреляционные коэффициенты. Различия считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

На рис. 1 можно видеть, что пороговые локальные сокращения (прерывистая кривая внизу), которые отображают прямую (саркотубулярную) возбудимость мышечной ткани, повторяют значения МСР, указывая на их взаимосвязь. Это соответствует литературным данным о том, что терминали мотонейронов могут возбуждаться высокими спайками окружающих мышечных волокон, которые активируют все волокна двигательной единицы путем аксон-рефлекса [6].

По мере снижения МДСР уменьшается и базовое сопротивление (см. таблицу), однако степень его снижения в меньшей мере соответствует степени снижения сократительной способности, амплитуда сокращений падает значительно глубже, чем базовое сопротивление. Такое несоответствие может объясняться отеком тканей, снижающим межэлектродное сопротивление, который обычно сопровождает некробиоз. Отек увеличивает объем конечности, создает окольные пути движения ионов и, кроме того, ослабляет эффект стимуляции через игольчатый электрод.

В отличие от базового сопротивления, выявляется сильная связь между снижением амплитуды сокращений и укорочением времени сокращения, особенно фазы расслабления мышц. Коэффициент a/I сильно снижается со степенью ишемии. Эти процессы связаны с энергозатратными механизмами формирования актомиозиновых мостиков и с работой кальциевого насоса саркоплазматического ретикулума, поэтому в условиях дефицита АТФ они страдают в первую очередь.

Номограмма для типирования мышц по степени их повреждения представлена на рис. 2, на котором показаны характеристические зоны типов мышц, используемые для определения степени их ишемического повреждения 1–4. По вертикальной оси представлены амплитуды СР в единицах сопротивления, по горизонтальной показана сила стимулирующего тока в мА.

На рис. 2 можно видеть, что амплитуда МСР мышц в зависимости от стадии ишемического поражения падает в обратной зависимости от силы стимулирующего тока.

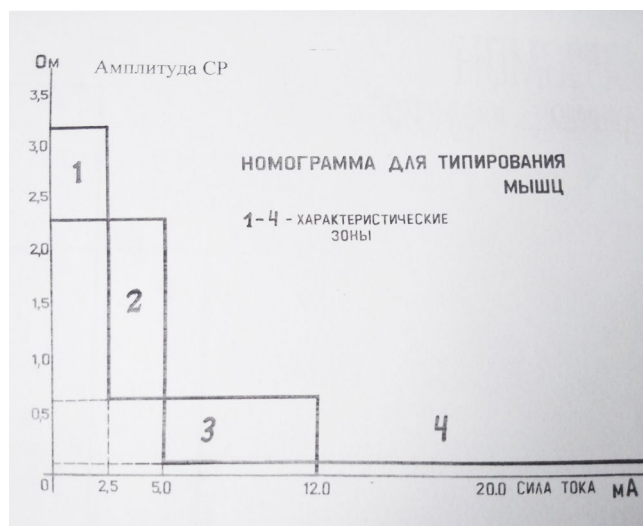


Рис. 2. Номограмма для типирования мышц по степени их ишемического поражения

Fig. 2. Nomogram for typing muscles according to the degree of their ischemic damage

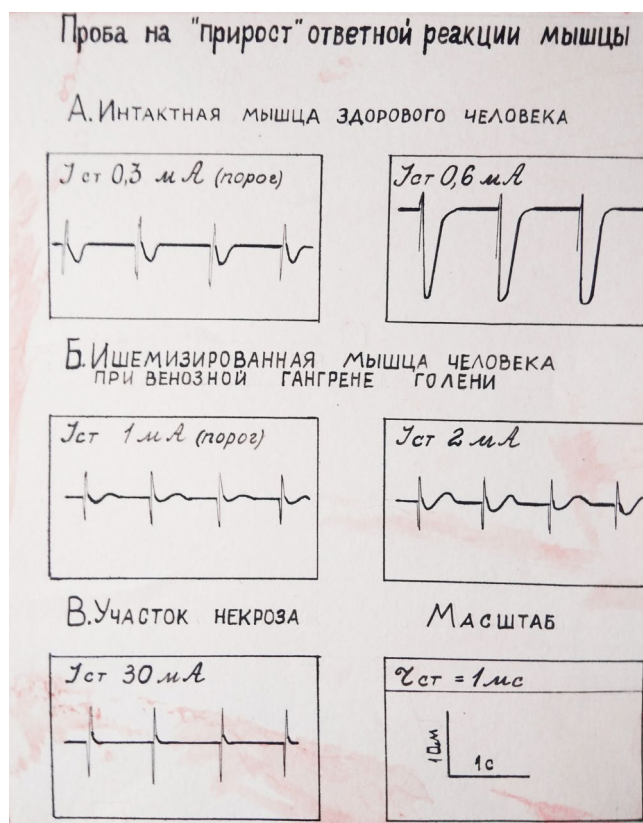


Рис. 3. Степень клинических проявлений окклюзии сосудов в группах пациентов и соответствующие им гистограммы поражения мышц (пояснения в тексте)

Fig. 3. The degree of clinical manifestations of vascular occlusion in patient groups and the corresponding histograms of muscle damage (explanations in the text)

Для определения диагностической эффективности способа подсчитано количество исследованных мышц по диагностическим диапазонам 1–5 у пациентов с окклюзионными поражениями сосудов нижних конечностей (к типу 5 отнесены мышцы с нулевой реакцией) и представлено в виде гистограмм по группам пациентов с разной степенью хронической ишемии конечностей и в референсной группе (рис. 3).

На рис. 3 видно, что по мере развития ишемии уменьшается количество высокоамплитудных СР, увеличивается число низкоамплитудных и нулевых реакций. Диагностические профили позволяют четко выявлять различия стадий ишемического поражения мышц. В референсной группе пациентов все сократительные реакции локализуются в зонах высокоамплитудных СР1, СР2 и среднеамплитудных СР3. Но уже на 2-й стадии хронической ишемии высокоамплитудные СР1 составляют менее 10,0 % (см. рис. 1). На 3-й стадии ишемии (см. рис. 2) появляются низкоамплитудные СР4 (до 30,0 %), а на 4-й стадии ишемии количество низкоамплитудных СР4 и нулевых СР приближается к 50,0 %. Различительная способность профилей — $p \leq 0,001$.

Обсуждение результатов исследования

Метод оценки степени повреждения органа может быть адекватен задачам исследования, если регистрируемые параметры всех точек принадлежат одной функциональной системе, т.е. реакция всех частей системы на стимул определяется одинаковыми механизмами. В случае мышечной ишемии такими механизмами являются последовательное выключение нервно-синаптических связей, синхронизирующих мышечные волокна, нарушение проведения возбуждения по мышце и функции мембранных каналов перемещения ионов, в частности Ca_2^+ , запускающего процесс сокращения. Анализ полученных характеристических кривых всех точек конечности показывает, что МСР кривых подчинены одной закономерности — обратной зависимости от силы тока и степени поражения мышц, что позволяет группировать и сравнивать показатели, используя матрицу, в которой суммируются и усредняются показатели каждой точки, принадлежащей своей мышце и своей системе.

Последовательность выключения механизмов синхронизации мышечных волокон при ишемии подтверждается экспериментами на животных с блокированием синаптической передачи d- тубокурарином. Способность к высокоамплитудным СР исчезает после блокирования синапсов, но прямая мышечная возбудимость сохраняется и обеспечивает не менее 30,0 % амплитуды вызванных сокращений, меняются угол наклона и форма характеристических кривых [7]. При ишемии низкоамплитудные СР переходят в локальные нераспространяющиеся сокращения, как в

4-м типе, и полностью исчезают в зонах некроза, показывая нулевую реакцию (см. рис. 3).

Нарушение синхронизации мышечных волокон при поражении внутримышечной нервно-синаптической сети проявляется в несоблюдении правила «сила воздействия — эффект» в «пробе на приращении СР» при удвоении силы порогового раздражения (см. рис. 3). На рисунке видно, что в интактной мышце удвоение порогового тока приводит к многократному увеличению СР, в ишемизированной мышце наблюдается атипичная волнообразная низкоамплитудная кривая, а в зоне некроза СР отсутствует.

Заключение

Зависимость амплитуды МСР от величины стимула (о которой судят по снижению мышечного импеданса при сокращении) представляет собой обратную зависимость максимальной амплитуды сокращения от силы тока в виде гиперболы, кривая которой сформирована высокоамплитудными — 1 и 2, среднеамплитудными — 3 и низкоамплитудными — 4 сократительными реакциями.

Характеристические зоны ампер-омических характеристик мышц, позволяющие различать высокоамплитудные, среднеамплитудные и низкоамплитудные сократительные реакции, могут быть использованы для построения гистограмм сокращений мышц конечности в целях диагностики их множественного поражения.

Статистическое сравнение полученных профилей гистограмм пациентов с известными клиническими стадиями хронического ишемического синдрома нижней конечности демонстрирует высокую различительную способность профилей гистограмм и их соответствие клиническим проявлениям ишемического синдрома.

Метод профилей гистограмм СР позволяет разработать количественную оценку тяжести ишемического поражения конечности [8].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бабинков В. И., Яковенко В. Н. Теоретическая основа способа измерения прямой мышечной возбудимости (экспериментальное исследование). Раны и раневые инфекции. 2017; 4(2): 12–17. [Babinkov V. I., Yakovenko V. N. The theoretical basis of the method for measuring direct muscle excitability (experimental study) = Babinkov V. I., Yakovenko V. N. Teoreticheskaya osnova sposoba izmereniya pryamoy myshechnoy vozбудимости (eksperimental'noye issledovaniye). Rany i ranevyye infektsii. 2017; 4(2): 12–17. (In Russ.)]
2. Покровский А. В. Клиническая ангиология. М.: Медицина, 1979. [Pokrovsky A. V. Clinical angiology = Pokrovskiy A. V. Klinicheskaya angiologiya. M.: Meditsina, 1979. (In Russ.)]
3. Савельев В. С., Затевахин В. И., Степанов Н. В. Острая непроходимость аорты и магистральных артерий конечностей. М.: Медицина, 1987. [Saveliev V. S., Zatevakhin V. I., Stepanov N. V. Acute obstruction of the aorta and main arteries of the extremities = Savel'yev V. S., Zatevakhin V. I., Stepanov N. V. Ostraya neprokhodimost' aorty i magistral'nykh arteriy konechnostey. M.: Meditsina, 1987. (In Russ.)]
4. Костадинов Д. Классическая электродиагностика и хронаксиметрия. В кн.: Функциональная диагностика в детском возрасте / под ред. С. Коларова, В. Гатева. София: Медицина и физкультура, 1979. [Kostadinov D. Classical electrodiagnostics and chronaximetry = Kostadinov D. Klassicheskaya elektrodiagnostika i khronaksimetriya. V kn.: Funktsional'naya diagnostika v detskom vozraste / pod red. S. Kolarova, V. Gateva. Sofiya: Meditsina i fizkul'tura, 1979. (In Russ.)]
5. Сепетлиев Д. Статистические методы в научных медицинских исследованиях: авт. пер. с бол. / под ред. А.М. Меркова. М.: Медицина, 1968. [Sepetliyev D. Statistical methods in scientific medical research = Sepetliyev D. Statisticheskiye metody v nauchnykh meditsinskikh issledovaniyakh: avt. per. s bol. / pod red. A.M. Merkova. M.: Meditsina, 1968. (In Russ.)]
6. Экклс Дж. Физиология синапсов: пер. с англ. М.: МИР, 1966. [Eccles J. Physiology of synapses = Ekkls Dz. Fiziologiya sinapsov: per. s angl. M.: MIR, 1966. (In Russ.)]
7. Бабинков В. И. Экспериментальное исследование прямой мышечной возбудимости после синаптической блокады методом стимуляционной импедансной миографии с использованием вольт-омических характеристик. Раны и раневые инфекции. 2017; 4 (4): 12–17. [Babinkov V. I. Experimental study of direct muscle excitability after synaptic blockade by the method of stimulation impedance myography using volt-ohmic characteristics = Babinkov V. I. Eksperimental'noye issledovaniye pryamoy myshechnoy vozбудимости posle sinapticheskoy blokady metodom stimulyatsionnoy impedansnoy miografii s ispol'zovaniyem vol't-omicheskikh kharakteristik. Rany i ranevyye infektsii. 2017; 4 (4): 12–17. (In Russ.)]
8. Способ определения поражения мышечной ткани голени и стопы. Положительное решение по заявке 5000746/14(063854). * [A method for determining the lesion of the muscle tissue of the leg and foot = Sposob opredeleniya porazheniya myshechnoy tkani goleni i stopy. Polozhitel'noye resheniye po zayavke 5000746/14(063854). (In Russ.)]

* Первый экспериментальный образец диагностического устройства разработан под руководством профессора МИФИ И. А. Дубровского.