

© КОСИНОВА А. А., КОВАЛЕВ А. В., ГРИНШТЕЙН Ю. И., СУХОВОЛЬСКИЙ В. Г., САВЧЕНКО А. А.

УДК 612.117:616.12-009.72

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРОВИ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ У БОЛЬНЫХ СТАБИЛЬНОЙ СТЕНОКАРДИЕЙ

А. А. Косинова<sup>1</sup>, А. В. Ковалев<sup>2</sup>, Ю. И. Гринштейн<sup>1</sup>, В. Г. Суховольский<sup>1</sup>, А. А. Савченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого Министерства здравоохранения РФ, ректор — д. м. н., проф. И. П. Артюхов; кафедра терапии ИПО, зав. — д. м. н., проф. Ю. И. Гринштейн; кафедра медицинской и биологической физики, зав. — д. б. н., проф. В. Г. Суховольский, кафедра физиологии им. проф. А. Т. Пшоники, зав. — д. м. н., проф. А. А. Савченко;

<sup>2</sup> ФГБУН Красноярский научный центр СО РАН, председатель — акад. РАН В. Ф. Шабанов.

**Резюме.** Цель исследования: изучить диэлектрические характеристики компонентов крови в норме и при стабильной стенокардии II-III функционального класса (II-III ФК). У 26 пациентов стабильной стенокардией II-III ФК и 20 доноров изучены диэлектрические свойства эритроцитов, тромбоцитов, цельной крови и сыворотки на оригинальном Фурье-спектрометре. Установлено, что эритроциты и тромбоциты обладают различными диэлектрическими свойствами мембран. Диэлектрические характеристики тромбоцитов сопоставимы с диэлектрическими характеристиками крови, в сравнении с сывороткой и эритроцитами. Диэлектрические характеристики эритроцитов зависят от их количества в крови. У здоровых доноров и больных стенокардией напряжения II-III ФК коуловские параметры  $\chi_0$ ,  $\chi_D$  и  $\rho_0$  крови, тромбоцитов и сыворотки значимо не отличаются. У доноров и больных стенокардией статистически достоверна разница между группами по  $\rho_0$  для эритроцитов. Диэлектрические свойства эритроцитов у доноров и больных стабильной стенокардией II-III ФК имеют достоверные отличия. Метод Фурье спектроскопии позволяет оценивать функциональное состояние клеточных мембран эритроцитов, тромбоцитов и цельной крови.

**Ключевые слова:** кровь, эритроциты, тромбоциты, диэлектрические свойства, стенокардия.

Ишемическая болезнь сердца (ИБС) в течение многих лет является главной причиной смертности населения во многих экономически развитых странах. В 2009 году в России от болезней сердечно-сосудистой системы (СС) умерло 1136,7 тыс. человек, на их долю приходилось 56,5% всех смертей. Для сравнения, число умерших от болезней СС в 2008 году в США составило 811,9 тысяч или 32,3% в структуре общей смертности [5, 13].

В России около 10 миллионов трудоспособного населения страдают ИБС, по данным Государственного научно-исследовательского центра профилактической медицины (ГНИЦ ПМ); более трети из них имеют стабильную стенокардию. Приблизительно 2% в год больных от стабильной стенокардии умирают, у 2-3% больных ежегодно возникает не фатальный инфаркт миокарда (ИМ). Смертность больных с диагнозом стабильная стенокардия в 2 раза выше, чем у лиц без этого заболевания. Мужчины, страдающие стенокардией, в среднем живут на 8 лет меньше по сравнению с теми, у кого эта болезнь отсутствует [3]. Согласно результатам Фремингемского исследования, у больных стабильной стенокардией риск развития не фатального ИМ и смерти от ИБС в течение 2 лет составляет: у мужчин 14,3% и 5,5% и у женщин 6,2% и 3,8%, соответственно [11]. Однако, индивидуальный прогноз у больных стенокардией, может отличаться в значительных

пределах в зависимости от клинических, функциональных, анатомических и социальных факторов.

Степень атеросклеротического поражения коронарных артерий при стабильной стенокардии имеет важное прогностическое и терапевтическое значение. В современном представлении эволюции бляшки, тромбоциты, лейкоциты, эндотелий играют большую роль в ее росте и стабильности покрышки атеромы. Информацию о степени активности тромбоцитов, их морфологии, о биофизических свойствах крови, сыворотки и других форменных элементов, которые также оказывают влияние на кровяные пластики, позволит быстро и без затруднений получить диэлектрическая спектроскопия.

Диэлектрические свойства клеток и тканей вызывают интерес вот уже около ста лет. Одна из первых работ датируется 1910 годом и принадлежит R. Hoesbe, исследовавшему проводимость эритроцитов на низких и высоких частотах и доказавшему электрически существование клеточных мембран. [8]

В настоящее время существует много подходов к измерению диэлектрических свойств биологических суспензий, определяемыми рабочими частотами. Большим преимуществом среди подобных методов обладает Фурье-спектроскопия, отличающаяся быстрым определением параметров биологического материала в широком

диапазоне частот и автоматической обработкой полученных результатов. [12]

Диэлектрическая спектроскопия имеет мощный потенциал в выявлении ряда важных биофизических свойств клетки и может предоставить информацию о морфологии клеток, их физиологическом состоянии, жизнеспособности и идентичности через измерение емкости, проводимости, проницаемости мембран, цитоплазмы клеток и ее окружения [14]. Диэлектрическая спектроскопия может служить альтернативным методом диагностики патологических состояний, выигрывая во времени, цене и точности [1].

Цель исследования: изучить диэлектрические характеристики крови и ее компонентов у здоровых доноров и больных стабильной стенокардией II-III функциональных классов (ФК).

#### Материалы и методы

Под нашим наблюдением находились 26 пациентов со стабильной стенокардией в возрасте от 48 до 84 лет (средний возраст –  $68 \pm 9$  лет) из них мужчин – 12, женщин – 14, из них со II ФК – 10, с III ФК стенокардии напряжения – 16 человек. Контрольная группа состояла из 20 здоровых доноров (средний возраст –  $36,9 \pm 12,4$  лет, мужчин – 15 человек, женщин – 5). Функциональный класс стабильной стенокардии выставлялся по классификации Канадского кардиоваскулярного общества. Всеми пациентами и здоровыми донорами было подписано информированное согласие об участии в исследовании.

У пациентов забирали кровь из кубитальной вены в объеме 9,0 мл, добавляли в качестве антикоагулянта 1,0 мл цитрата натрия. 10 мл стабилизированной крови делили на 2 образца по 5,0 мл. Оба образца центрифугировались в течение 10 минут на 1000 оборотах. Из первого образца крови получали эритроцитарную взвесь (осадок со дна пробирки) и отмытые тромбоциты (по методу Е. А. Савченко и др., 2006) [4], из второго изучалась цельная кровь (до центрифугирования) и сыворотка. Затем через образцы цельной крови, сыворотки, сыворотки обогащенной тромбоцитами и эритроцитарной взвеси пропускали короткий (порядка  $10^{-5}$  с) импульс тока с последующей регистрацией функции спада поляризации образца, а затем выполняли Фурье – преобразование этой функции и рассчитывали параметры импеданс – годографов. Диэлектрические характеристики крови были описаны с помощью трех, так называемых, «коуловских» параметров ( $r_0$ ,  $x_0$ ,  $y_0$ ). [2]. «Коуловские» параметры импеданс-годографа отдельного образца крови, сыворотки крови, сыворотки, обогащенной тромбоцитами, эритроцитарной взвеси вычислялись по данным измерений с использованием стандартного алгоритма метода

наименьших квадратов (МНК) – оценки параметров нелинейной регрессии [3].

Диэлектрический Фурье-спектрометр состоял из специальной пластиковой кюветы в которую помещался образец крови, сыворотки крови, сыворотки, обогащенной тромбоцитами или эритроцитарной взвеси от пациента или донора, электродной системы для пропуска импульса напряжения и регистрации изменения поляризации суспензии после импульсного воздействия с помощью электронной системы, включающей генератор прямоугольных импульсов и усилитель (плата NI USB 6211 производства фирмы National Instruments). Регистрируемый сигнал подвергался Фурье-преобразованию и вычислялся диэлектрический спектр крови на различных частотах.

Для управления процессом измерений и обработки сигналов использовали программу, написанную в среде LabView 8.6. Процесс измерения и обработки был полностью автоматизирован и занимал не более 1 с. Так как значения проводимости и емкости суспензии крови нелинейно зависят от геометрических характеристик кюветы, то пересчет в абсолютные значения составляющих импеданса не производился и характеристики оценивались в условных единицах (у.е.). Характеристики диэлектрического спектра  $F(\omega)$  использовались для оценки образцов крови, эритроцитов, тромбоцитов, сыворотки здоровых доноров и пациентов со стабильной стенокардией II-III ФК. Полученные результаты подвергали статистической обработке и образцы крови, сыворотки и форменных элементов крови пациентов сравнивались по параметрам  $r_0$ ,  $x_0$ ,  $y_0$  импеданс-годографа.

Достоверность различий между выборками оценивали по непараметрическому критерию Манна-Уитни. Для сравнения нескольких независимых выборок применяли ранговый дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса (Kruskal-Wallis ANOVA). Связь признаков оценивалась по непараметрическому коэффициенту Спирмена. Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью пакета прикладных программ SPSS Statistics 17.0.

#### Результаты и обсуждение

Характеристики импеданс-годографа для контрольной группы доноров и группы пациентов со стабильной стенокардией II и III ФК приведены в табл. 1. Из табл. 1. следует, что значения диэлектрической активности крови и ее компонентов в двух группах колеблются в пределах  $\pm 0,5\%-6\%$  от среднего значения. Можно полагать, что в норме и при стабильной стенокардии напряжения II-III ФК диэлектрические характеристики суспензии крови и ее компонентов изменяются в достаточно малом диапазоне значений.

Статистически достоверна разница между группами по  $r_0$  и  $x_0$  для эритроцитов доноров и больных стабильной стенокардией II-III ФК ( $p=0,000$ ). В то же время достоверны и отличия по количеству эритроцитов между группами (среднее количество эритроцитов:  $4,66 \cdot 10^{12}/л$  для группы контроля и  $5,14 \cdot 10^{12}/л$  для группы пациентов,  $p=0,003$ ), что, возможно, и объясняет отличия в диэлектрических свойствах эритроцитов. Подобные данные встречаются и в литературе. X. Chen с соавт. описывают зависимость диэлектрических свойств крови от значений гематокрита и уровня глюкозы крови [7], а H. Veving с коллегами, сообщают о влиянии на показатели емкости объема клеточной фракции и окружающей среды [6]. Другие авторы во главе с Y. Lu выделяют критичный возраст в 49 лет – после которого достоверно снижается проницаемость и емкость мембраны эритроцитов, а как говорилось выше средний возраст для группы контроля был  $68 \pm 9$  лет, а для группы пациентов –  $36,9 \pm 12,4$  лет [10].

Однако, несмотря на достоверное отличие в количестве тромбоцитов после отмывания между группами (среднее количество тромбоцитов в группе контроля –  $3,6 \cdot 10^6/мл$ , в группе пациентов –  $6,3 \cdot 10^6/мл$ ,  $p=0,039$ ) по диэлектрическим характеристикам для тромбоцитарной суспензии группы достоверно не отличаются. Отличия между группами по диэлектрической активности крови, тромбоцитов не получены, возможно, из-за стабильного течения заболевания, влияния препаратов на активность тромбоцитов, либо тромбоциты активируются *in vitro* сопоставимо в образцах обеих групп при отмывании.

На рис. 1 приведены данные по диэлектрической активности крови и ее компонентов для группы контроля и группы исследуемых пациентов. Как видно из рисунка диэлектрическая активность тромбоцитов (маркеры:  $\blacktriangle$  и  $+$ ) ближе всего приближается к диэлектрическим характеристикам крови (маркеры:  $\diamond$  и  $\text{ж}$ ) как в группе контроля так и в группе больных стенокардией II-III ФК. Возможно, определяя их в большей степени, чем характеристики эритроцитов и плазмы. Статистически достоверной разницы между диэлектрическими характеристиками крови и фракции тромбоцитов нет как в группе контроля так и в группе исследуемых пациентов (табл. 2). Более того, при корреляционном анализе выявлена прямая положительная связь между  $r_0$  и  $x_0$  крови и  $r_0$  и  $x_0$  тромбоцитов ( $\rho_0 = 0,341$  и  $\rho_0 = 0,324$ ;  $p = 0,02$  и  $0,028$

Таблица 1

Параметры импеданс-годографов в у.е., рассчитанные для контрольной группы ( $n=20$ ) и группы пациентов со стенокардией II-III ФК ( $n=26$ )

Группа	Параметры	Среднее $\pm$ стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	
Контрольная	Кровь	$r_0$	$4,953 \pm 0,048$	0,973
		$x_0$	$1,859 \pm 0,019$	1,011
		$y_0$	$-0,762 \pm 0,008$	-1,107
	Сыворотка	$r_0$	$4,477 \pm 0,106$	2,359
		$x_0$	$1,97 \pm 0,034$	1,729
		$y_0$	$-0,771 \pm 0,036$	-4,681
	Тромбоциты	$r_0$	$4,957 \pm 0,026$	0,529
		$x_0$	$1,859 \pm 0,009$	0,501
		$y_0$	$-0,762 \pm 0,004$	-0,543
	Эритроциты	$r_0$	$4,855 \pm 0,102$	2,096
		$x_0$	$1,929 \pm 0,057^*$	2,949
		$y_0$	$-0,834 \pm 0,05^{**}$	-6,046
Больные стенокардией	Кровь	$r_0$	$4,964 \pm 0,17$	3,424
		$x_0$	$1,86 \pm 0,066$	3,573
		$y_0$	$-0,765 \pm 0,024$	-3,155
	Сыворотка	$r_0$	$4,474 \pm 0,138$	3,076
		$x_0$	$1,969 \pm 0,042$	2,142
		$y_0$	$-0,778 \pm 0,045$	-5,793
	Тромбоциты	$r_0$	$4,954 \pm 0,025$	0,511
		$x_0$	$1,857 \pm 0,009$	0,497
		$y_0$	$-0,761 \pm 0,004$	-0,531
	Эритроциты	$r_0$	$4,848 \pm 0,097$	2,002
		$x_0$	$1,933 \pm 0,046^*$	2,487
		$y_0$	$-0,841 \pm 0,046^{**}$	-5,461

Примечание: \* и \*\* – отличия достоверны по признаку между группами контроля и пациентов со стенокардией. ( $p=0,000$ ).

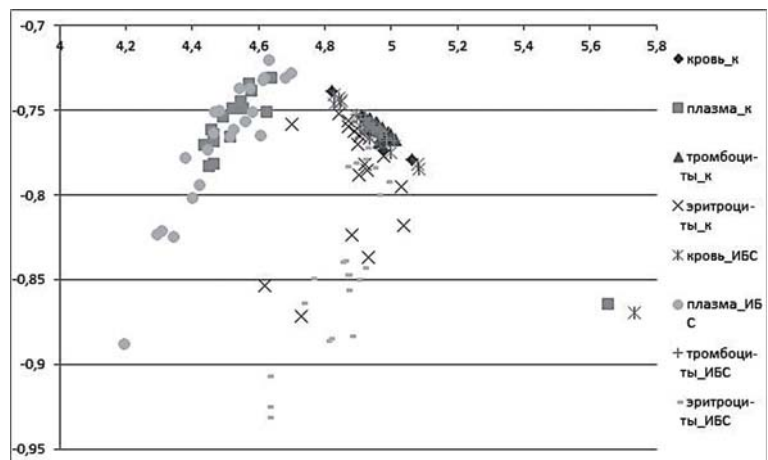


Рис. 1. Диэлектрические показатели (условные единицы) у больных стенокардией II и III ФК (ИБС) ( $n=26$ ) и контрольной группы ( $n=20$ ) (по оси абсцисс –  $x_0$ , по оси ординат –  $y_0$ ).

Таблица 2  
**Значения  $p$  критерия в группах сравнения (образцы крови, сыворотки, тромбоцитарной суспензии и эритроцитарной взвеси) по диэлектрическим характеристикам ( $\chi_0$ ,  $\gamma_0$  и  $\rho_0$ )**

Контрольная группа	$\chi_0$	$\gamma_0$	$\rho_0$
Кровь+сыворотка	0,000	0,000	0,000
Кровь+тромбоциты	0,358 <sup>^</sup>	0,534 <sup>^</sup>	0,256 <sup>^</sup>
Кровь+эритроциты	0,110 <sup>^</sup>	0,006	0,017
Сыворотка+тромбоциты	0,000	0,000	0,000
Сыворотка+эритроциты	0,000	0,000	0,000
Тромбоциты+эритроциты	0,245 <sup>^</sup>	0,001	0,009
Группа пациентов			
Кровь+сыворотка	0,000	0,742 <sup>^</sup>	0,000
Кровь+тромбоциты	0,07 <sup>^</sup>	0,840 <sup>^</sup>	0,116 <sup>^</sup>
Кровь+эритроциты	0,000	0,000	0,000
Сыворотка+тромбоциты	0,000	0,570 <sup>^</sup>	0,000
Сыворотка+эритроциты	0,008	0,000	0,000
Тромбоциты+эритроциты	0,000	0,000	0,000

Примечание: <sup>^</sup> – отмечены НЕ достоверные отличия.

соответственно). Чем это можно объяснить? Еще в 1994 году Х.В. Wang с коллегами обнаружил, что емкость мембраны клетки коррелирует с количеством образований на клеточной поверхности (шероховатости, включения, складки, микроворсинки, выпячивания) и толщиной мембраны [15]. С. Huang с коллегами показали на человеческих промиелоцитах [9], что при апоптозе, при потере сложной архитектоники поверхности клетки, емкость ее мембраны падает.

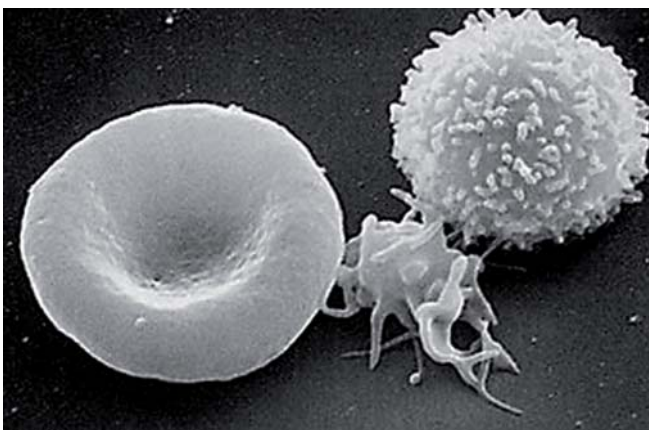


Рис. 2. Слева направо: эритроцит, тромбоцит, лейкоцит.

Тромбоцит имеет более сложную архитектуру мембраны, чем эритроцит (рис. 2), соответственно можно предположить, что емкость мембраны тромбоцита вносит больший вклад в совокупную емкость крови.

Диэлектрические характеристики  $\chi_0$ ,  $\gamma_0$  и  $\rho_0$  крови, эритроцитарной суспензии и сыворотки достоверно отличаются в группе контроля ( $p=0,000$ ), и  $\chi_0$  и  $\rho_0$  крови, эритроцитарной суспензии и тромбоцитов в группе пациентов. ( $p=0,000$ ). Соответственно и достоверно отличие в диэлектрических характеристиках фракции тромбоцитов и эритроцитарной взвеси и сыворотки ( $p=0,000$ ) для контрольной группы и по  $\chi_0$  и  $\rho_0$  для группы больных стенокардией ( $p=0,000$ ).

Таким образом, установлено, что эритроциты и тромбоциты обладают различными диэлектрическими свойствами мембран. Диэлектрические характеристики тромбоцитов в большей степени сопоставимы с диэлектрическими характеристиками крови, в сравнении с сывороткой и эритроцитами. Можно предположить, что диэлектрическая емкость мембран клеток характеризует их морфологию. Диэлектрические характеристики эритроцитов зависят от их количества в крови. У здоровых доноров и больных стенокардией напряжения II-III ФК  $\chi_0$ ,  $\gamma_0$  и  $\rho_0$  крови, тромбоцитов и сыворотки значимо не отличаются. Статистически достоверна разница между группами по  $\rho_0$  и  $\chi_0$  для эритроцитов у доноров и больных стабильной стенокардией. Изучаемые группы должны быть сопоставимы по количеству клеток для изучения диэлектрических характеристик клеточных мембран. Метод Фурье спектроскопии позволяет оценивать функциональное состояние клеточных мембран эритроцитов, тромбоцитов и цельной крови.

#### DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF BLOOD AND BLOOD COMPONENTS IN PATIENTS WITH STABLE STENOCARDIA

A. A. Kosinova<sup>1</sup>, A. V. Kovalev<sup>2</sup>, Y. I. Grinstein<sup>1</sup>,  
V. G. Soukhovolsky<sup>1</sup>, A. A. Savchenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk State Medical University named after prof. V. F. Voino-Yasenetsky; <sup>2</sup> Forest Institute named after Sukachev SB RAS, Krasnoyarsk

**Abstract.** The aim of the investigation: to study the dielectric properties of blood components in norm and at stable stenocardia of II-III functional class (II-III FC). In 26 patients with stable stenocardia II-III FC and 20 donors were studied the dielectric properties of erythrocytes, platelets, whole



blood and serum in the original Fourier spectrometer. It was found that erythrocytes and platelets have different dielectric properties of the membranes. Dielectric characteristics of platelets are comparable with dielectric characteristics of blood, compared to serum and erythrocytes. Dielectric properties of erythrocytes depend on their level in blood. In healthy donors and patients with stenocardia II-III FC Cole parameters  $x_0$ ,  $y_0$ , and  $r_0$  of blood, platelets and serum were not significantly different. In donors and patients with stenocardia statistically significant is the difference between the groups in  $r_0$  and  $x_0$  for red blood cells. The dielectric properties of red blood cells in donors and patients with stable stenocardia II-III FC are significant differences. The method of Fourier spectroscopy allows to evaluate the functional state of the cell membranes of erythrocytes, platelets, and whole blood.

**Key words:** blood, erythrocytes, platelets, dielectric properties, stenocardia.

### Литература

- Андина Л.А., Ковалев А.В., Гринштейн Ю.И. и др. Диэлектрическая Фурье-спектроскопия в экспресс-диагностике острого коронарного синдрома без подъема сегмента ST на ЭКГ при отрицательном тропониновом тесте // Сибирское медицинское обозрение. – 2013. – № 1. – С. 32-36.
- Коул К.С. Нервный импульс (теория и эксперимент) // Теоретическая и математическая биология. – 1968. – С. 154-193.
- Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики // Финансы и статистика. – 1982. – С. 344.
- Савченко Е.А., Савченко А.А., Герасимчук А.Н. и др. Оценка метаболического статуса тромбоцитов в норме и при ишемической болезни сердца // Клиническая лабораторная диагностика. – 2006. – № 5. – С. 33-36.
- Суринов А.Е., Збарская И.А. Антонова О.И. и др. Демографический ежегодник России. – 2010: стат. сб. Росстат. – М., 2010. – 525 с.
- Beving H., Eriksson L.E., Davey C.L. et al. Dielectric properties of human blood and erythrocytes at radio frequencies (0.2-10 MHz); dependence on cell volume fraction and medium composition // Eur. Biophys. J. – 1994. – Vol. 23, № 3. – P. 207-215.
- Chen X., Feng M., Wang L. et al. The correlation analysis between dielectric parameters and haematological parameters in whole blood cell // Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi. – 2011. – Vol. 28, № 4. – P. 694-697.
- Hoeber R. Eine Methode die elektrische Leitfaehigkeit im Innern von Zellen zu messen // Arch. Ges. Physiol. – 1910. – Vol. 133. – P. 237-259.
- Huang C., Chen A., Wang L. et al. Electrokinetic measurements of dielectric properties of membrane for apoptotic HL-60 cells on chip-based device // Biomed Microdevices. – 2007. – Vol. 9, № 3. – P. 335-343.
- Lu Y, Yu J, Ren Y. Dielectric properties of human red blood cells in suspension at radio frequencies // Bioelectromagnetics. – 1994. – Vol. 15, № 6. – P. 589-591.
- Mendis S. The contribution of the Framingham Heart Study to the prevention of cardiovascular disease: a global perspective // Prog. Cardiovasc. Dis. – 2010. – Vol. 53, № 1. – P. 10-14.
- Nicolson A.M., Ross G.F. Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time-Domain Technique // IEEE Transaction. – 1970. – Vol. 19. – P. 377-382.
- Roger V.L., Go A.S., Lloyd-Jones D.M. et al. Heart Disease and Stroke Statistics 2012 Update: A Report From the American Heart Association // Circulation 2012. – Vol. 125. – P. 200-220.
- Vykoukal D.M., Gascoyne P.R., Vykoukal J. Dielectric characterization of complete mononuclear and polymorphonuclear blood cell subpopulations for label-free discrimination // Integr. Biol. (Camb). – 2009. – Vol. 1, № 7. – P. 477-484.
- Wang X.B., Huang Y., Gascoyne P.R. et al. Changes in Friend murine erythroleukaemia cell membranes during induced differentiation determined by ROT // Biochim. Biophys. Acta. – 1994. – Vol. 1193. – P. 330-344.

### Сведения об авторах

Косинова Александра Александровна – аспирант кафедры терапии ИПО ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, Красноярск, ул. П. Железняк, г. 1; тел. 8(391) 2276892; e-mail: tarskihaa@mail.ru.

Ковалев Антон Владимирович – кандидат технических наук, Международный научный центр исследования экстремальных состояний организма при Президиуме КНЦ СО РАН, sunhi@nm.ru.

Адрес: 660036, Красноярск, Академгородок, г. 50; тел. 8(391) 2431448; e-mail: sunhi@nm.ru.

Гринштейн Юрий Исаевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой терапии ИПО ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, Красноярск, ул. П. Железняк, г. 1; тел. 8(391) 2276892; e-mail: grinstein.yi@mail.ru.

Суховольский Владислав Григорьевич – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской и биологической физики ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, Красноярск, ул. П. Железняк, г. 1; тел. 8(391) 2217472; e-mail: soukhovolsky@nm.ru.

Савченко Андрей Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии им. проф. А. Т. Пшоники ГБОУ ВПО Красноярский государственный медицинский университет имени проф. В. Ф. Войно-Ясенецкого МЗ РФ.

Адрес: 660022, Красноярск, ул. П. Железняк, г. 1; тел. 8(391) 2283640; e-mail: aasavchenko@yandex.ru.