

УДК 616-003.93-611.835.8-615.83

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ СЕДАЛИЩНОГО НЕРВА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

**Иванов А.Н., Норкин И.А., Нинель В.Г., Щаницын И.Н.,
Шутров И.Е., Пучиньян Д.М.**

*Саратовский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии,
Саратов, e-mail: lex558452@rambler.ru*

Проведена оценка изменений микроциркуляции и механизмов ее модуляции, возникающих при перерезке и нейрорафии седалищного нерва у крыс. Установлено, что в послеоперационном периоде возникает снижение среднеквадратичного отклонения перфузионного показателя, абсолютных и нормированных амплитуд эндотелиальных и нейрогенных колебаний, а также показателя шунтирования. Максимального развития эти нарушения достигают на 7–14 день после операции, а на 21 сутки отмечаются первые признаки восстановления, что, вероятно, отражает начало реиннервации. Полученные изменения аналогичны и гомологичны нарушениям микроциркуляции у больных с повреждениями периферических нервов. Особенность данной модели микроциркуляторных нарушений заключается в отсутствии статистически значимого снижения нормированной амплитуды миогенных колебаний при перерезке и нейрорафии седалищного нерва крыс, в отличие от пациентов с повреждениями периферических нервов.

Ключевые слова: нейрорафия, микроциркуляция, реиннервация, лазерная доплеровская флоуметрия

PECULIARITIES MICROCIRCULATORY CHANGES IN REGENERATION OF THE SCIATIC NERVE UNDER THE EXPERIMENTAL CONDITIONS

Ivanov A.N., Norkin I.A., Ninel V.G., Schanitsyn I.N., Shutrov I.E., Puchinyan D.M.

Saratov Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Saratov, e-mail: lex558452@rambler.ru

The changes of skin perfusion and its modulation mechanisms occurring after sciatic nerve transection and neurorrhaphy in rats were assessed. Found that after surgical procedure standard deviation of perfusion, absolute and normalized amplitudes of endothelial and neurogenic oscillations, as well as shunting indicator reduction occurs. Maximum development of these disorders was detected at 7–14 days after surgery. The first signs of recovery in microcirculation were observed at 21 day after operation and it probably reflects the beginning of reinnervation. The microcirculatory changes in rats after sciatic nerve transection and neurorrhaphy are similar and homologous to disorders of microcirculation in patients with peripheral nerve injuries. The peculiarity of this model of microcirculatory disorders is the lack of a statistically significant reduction of normalized amplitude of myogenic oscillation after sciatic nerve transection and neurorrhaphy in rats unlike patients with peripheral nerve injuries.

Keywords: neurorrhaphy, microcirculation, reinnervation, laser Doppler flowmetry

Одним из актуальных направлений экспериментальных и клинических исследований является изучение процессов реиннервации при повреждении периферических нервов [1, 2, 3]. В настоящее время доказана высокая эффективность лазерной доплеровской флоуметрии в диагностике микроциркуляторных нарушений, возникающих при повреждениях периферических нервов [3, 7, 8]. Однако для проведения ряда фундаментальных исследований, в частности при разработке, оценке эффективности и сравнении между собой способов восстановления иннервации, требуется моделировать сдвиги микроциркуляции в условиях эксперимента [2]. В связи с этим целью настоящего исследования являлось установление особенностей изменений микрокровотока и механизмов его модуляции у крыс-самцов при перерезке и нейрорафии седалищного нерва.

Материалы и методы исследования

Экспериментальные исследования выполнены на 15 белых беспородных крысах-самцах массой

200–250 г. При проведении экспериментов на животных соблюдались этические принципы в соответствии с Женевской конвенцией (Geneva, 1990). Всем животным за 5 минут до проведения манипуляций вводилась внутримышечно комбинация золетила («Virbac Sante Animale», Франция) в дозе 0,1 мл/кг и ксилазина («Interchemie», Нидерланды) в дозе 1 мг/кг для достижения наркоза.

Под наркозом обнажали седалищный нерв и производили полную его перерезку на уровне средней трети бедра, после чего осуществляли нейрорафию путём наложения эпиперинеуральных швов с применением микрохирургической техники, атравматических игл и шовного материала 10/0 или 8/0 USP.

Микроциркуляцию исследовали методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью компьютеризованного лазерного анализатора микроциркуляции крови «ЛАКК-ОП» (производство НПП «Лазма», Россия) с использованием программы LDF 3.0.2.395. Световодный зонд фиксировали на коже тыльной поверхности стопы. Длительность записи составляла 8 минут. Регистрацию ЛДФ-грамм проводили до оперативного вмешательства, непосредственно после операции, а также на 7, 14 и 21 сутки после перерезки и нейрорафии седалищного нерва.

На первом этапе оценки микроциркуляции рассчитывались показатель перфузии (М) в перфузионных единицах (перф.ед.), его среднеквадратическое

отклонение (σ) и коэффициент вариации (K_v). На втором этапе с помощью спектрального вейвлет-анализа проводилось определение абсолютных и нормированных амплитуд эндотелиальных ($A_э$), нейрогенных (A_n), миогенных (A_m), пульсовых (A_k) и дыхательных (A_d) осцилляций микрокровотока и показателя шунтирования.

Статистическую обработку данных осуществляли средствами программ MS Excel 2013 и Statistica 10.0. Большинство наших данных имеют распределение отличное от нормального, поэтому при сравнении групп использовали U-критерий Мана-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение

У белых крыс непосредственно после перерезки и нейрорафии седалищного нерва происходит повышение перфузионного показателя и снижение его среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации

(табл. 1). При этом отмечается снижение абсолютных величин амплитуд эндотелиальных, нейрогенных и миогенных колебаний, что отражает уменьшение роли активных механизмов в модуляции микрокровотока (табл. 2). Кроме того, выявлено изменение соотношения различных механизмов в модуляции микроциркуляции, что выражается статистически значимым снижением величины показателя шунтирования, определенным как соотношение A_n/A_m (табл. 2). Однако в соответствии с рекомендациями А.И. Крупаткина и В.В. Сидорова [8], такой расчет показателя шунтирования корректен только при доминировании нейрогенных колебаний. В связи с тем, что в спектре ЛДФ-грамм преобладают эндотелиальные колебания, более корректно рассчитывать показатель шунтирования как отношение $A_э/A_m$ (табл. 2).

Таблица 1

Показатели микроциркуляции при регенерации седалищного нерва у белых крыс в условиях эксперимента

Группа	Показатель перфузии, перф. ед.	Среднеквадратическое отклонение, перф. ед.	Коэффициент вариации, %
Контроль	12,0 (10,5; 13,5)	0,9 (0,7; 1,3)	8,8 (5,4; 12)
После операции	15,0 (14,4; 17,1) $p_1 = 0,000105$	0,5 (0,4; 0,8) $p_1 = 0,008927$	3,5 (2,5; 5,1) $p_1 = 0,000622$
7 сутки	8,5 (6,7; 9,4) $p_1 = 0,000253$; $p_2 = 0,000016$	0,6 (0,4; 0,8) $p_1 = 0,002112$; $p_2 = 0,961083$	7,25 (4,8; 8,4) $p_1 = 0,251514$; $p_2 = 0,006767$
14 сутки	8,25 (7,6; 9,5) $p_1 = 0,000386$; $p_2 = 0,000020$; $p_3 = 0,862490$	0,5 (0,4; 0,6) $p_1 = 0,000141$; $p_2 = 0,329115$; $p_3 = 0,248214$	5,25 (4,75; 6,85) $p_1 = 0,017955$; $p_2 = 0,028109$; $p_3 = 0,326349$
21 сутки	10,4 (9,3; 11,4) $p_1 = 0,045437$; $p_2 = 0,000057$; $p_3 = 0,012023$; $p_4 = 0,032664$	0,7 (0,5; 1,0) $p_1 = 0,038100$; $p_2 = 0,341350$; $p_3 = 0,312322$; $p_4 = 0,028241$	6,45 (5,1; 9,7) $p_1 = 0,231901$; $p_2 = 0,014698$; $p_3 = 0,953960$; $p_4 = 0,184210$

Примечания: в каждом случае приведены медиана, верхний и нижний квартили; p_1, p_2, p_3, p_4 – по сравнению с контролем, 1, 7 и 14 сутками после операции соответственно.

Непосредственно после операции у животных обнаружено снижение нормированных амплитуд эндотелиальных и нейрогенных колебаний (табл. 3), что указывает на уменьшение роли этих механизмов в модуляции микрокровотока. В то же время нормированная амплитуда миогенных колебаний у животных непосредственно после операции статистически значимо не изменяется (табл. 3).

Абсолютные величины амплитуд дыхательных и пульсовых колебаний после операционного вмешательства у животных не изменяются относительно уровня контрольных значений (табл. 4), а их нормиро-

ванные величины статистически значимо увеличиваются по сравнению с контрольными значениями, что свидетельствует об увеличении роли пассивных механизмов в модуляции микрокровотока (табл. 4).

Перфузионный показатель и его среднеквадратическое отклонение у животных на 7-е сутки после операции статистически значимо снижены по сравнению со значениями до и непосредственно после оперативного вмешательства (табл. 1). Анализ состояния механизмов модуляции микрокровотока у крыс-самцов через 7 суток после оперативного вмешательства свидетельствует о снижении абсолютной величины

амплитуд эндотелиальных, нейрогенных, миогенных колебаний, а также показателя шунтирования (табл. 2). Одновременно с этим выявлено статистически значимое снижение нормированных амплитуд эндотелиальных и нейрогенных колебаний, но не отмечено изменения нормированной амплитуды миогенных колебаний (табл. 3). В этот период происходит статистически значимое снижение абсолютных амплитуд пульсовых и дыхательных колебаний (табл. 4). Сниже-

ние амплитуды пульсовых колебаний характеризует ограничение притока артериальной крови в микроциркуляторное русло, что, вероятно, объясняет снижение показателя перфузии. Следует отметить, что нормированные амплитуды пульсовых и дыхательных колебаний на 7-е сутки после операции находятся в пределах варибельности контроля (табл. 4), в отличие от уровня этих показателей непосредственно после оперативного вмешательства.

Таблица 2

Активные механизмы модуляции кровотока в системе микроциркуляции при регенерации седалищного нерва у белых крыс в условиях эксперимента

Группа	Максимальная амплитуда колебаний, перф. ед.			Показатель шунтирования, отн. ед.	
	Эндотелиальных (Аэ)	Нейрогенных (Ан)	Миогенных (Ам)	Ан/Ам	Аэ/Ам
Контроль	0,44 (0,23; 0,58)	0,33 (0,25; 0,51)	0,21 (0,16; 0,27)	1,63 (1,33; 2,0)	2,58(1,31; 2,88)
После операции	0,12 (0,10; 0,20) p ₁ = 0,000622	0,12 (0,09; 0,16) p ₁ = 0,001130	0,13 (0,12; 0,17) p ₁ = 0,012822	1,09 (0,76; 1,17) p ₁ = 0,000284	1,0 (0,76; 1,5) p ₁ = 0,000262
7 сутки	0,11 (0,08; 0,17) p ₁ = 0,000051; p ₂ = 0,294136	0,10 (0,09; 0,14) p ₁ = 0,000037; p ₂ = 0,479239	0,11 (0,08; 0,15) p ₁ = 0,001175; p ₂ = 0,305508	1,05 (0,93; 1,12) p ₁ = 0,000582; p ₂ = 0,696271	1,04 (0,7; 1,18) p ₁ = 0,000830; p ₂ = 0,902909
14 сутки	0,09(0,07; 0,10) p ₁ = 0,000013; p ₂ = 0,007281; p ₃ = 0,119034	0,10 (0,09; 0,12) p ₁ = 0,000013; p ₂ = 0,048133; p ₃ = 0,386477	0,10 (0,08; 0,11) p ₁ = 0,000051; p ₂ = 0,005021; p ₃ = 0,340779	1,0(0,92; 1,17) p ₁ = 0,002291; p ₂ = 0,902909; p ₃ = 0,976970	0,89(0,75; 1,06) p ₁ = 0,000156; p ₂ = 0,379776; p ₃ = 0,544371
21 сутки	0,19(0,12; 0,27) p ₁ = 0,006767; p ₂ = 0,449456; p ₃ = 0,060603; p ₄ = 0,004265	0,2(0,1; 0,25) p ₁ = 0,003156; p ₂ = 0,317167; p ₃ = 0,049648; p ₄ = 0,020922	0,15(0,11; 0,19) p ₁ = 0,017955; p ₂ = 0,807250; p ₃ = 0,184210; p ₄ = 0,005584	1,21 (1,02; 1,47) p ₁ = 0,038100; p ₂ = 0,171858; p ₃ = 0,126023; p ₄ = 0,174854	1,36(1,00; 1,72) p ₁ = 0,020463; p ₂ = 0,150023; p ₃ = 0,126023; p ₄ = 0,035090

Примечания. Те же, что и в табл. 1.

Таблица 3

Нормированные амплитуды, характеризующие активные механизмы модуляции кровотока в системе микроциркуляции, при регенерации седалищного нерва у белых крыс в условиях эксперимента

Группа	Нормированные амплитуды колебаний, отн. ед.		
	Эндотелиальных	Нейрогенных	Миогенных
Контроль	12,41 (10,98; 18,62)	11,85(9,02; 13,83)	7,18(5,98; 8,71)
После операции	8,56 (5,95; 12,66) p ₁ = 0,025104,	8,73 (7,10; 10,76) p ₁ = 0,022532,	8,95(7,36; 10,76) p ₁ = 0,097092,
7 сутки	7,16 (5,29; 9,19) p ₁ = 0,001648; p ₂ = 0,129136,	6,9 (4,95; 9,32) p ₁ = 0,001393; p ₂ = 0,179642,	7,42 (5,97; 9,22) p ₁ = 0,826200; p ₂ = 0,213400,
14 сутки	6,08(4,58; 7,13) p ₁ = 0,000128; p ₂ = 0,020463; p ₃ = 0,260237,	6,83(5,63; 8,54) p ₁ = 0,000278; p ₂ = 0,060299; p ₃ = 0,707454,	7,04(5,56; 8,15) p ₁ = 0,902909; p ₂ = 0,048133; p ₃ = 0,707454,
21 сутки	8,37(6,01; 13,57) p ₁ = 0,038100; p ₂ = 0,980536; p ₃ = 0,340778; p ₄ = 0,053099,	8,66(5,68; 11,41) p ₁ = 0,015721; p ₂ = 0,902909; p ₃ = 0,506721; p ₄ = 0,285477,	7,44(4,59; 10,06) p ₁ = 0,826200; p ₂ = 0,231901; p ₃ = 0,885234; p ₄ = 0,623605,

Примечания. Те же, что и в табл. 1.

Все показатели ЛДФ-грамм у животных на 14 сутки после операции статистически значимо не отличаются от данных, зарегистрированных на 7 сутки (табл. 1, 2, 3, 4),

что свидетельствует об отсутствии динамики уровня микрокровотока и активности модулирующих его механизмов в этом временном интервале.

Таблица 4

Пассивные механизмы модуляции кровотока в системе микроциркуляции при регенерации седалищного нерва у белых крыс в условиях эксперимента

Группа	Максимальная амплитуда колебаний, перф. ед.		Нормированные амплитуды колебаний, отн. ед.	
	Дыхательных	Пульсовых	Дыхательных	Пульсовых
Контроль	0,14 (0,13; 0,17)	0,09 (0,08; 0,11)	4,78(4,2; 6,2)	2,81(2,37; 4,48)
После операции	0,12 (0,10; 0,15) $p_1 = 0,101343$	0,09 (0,08; 0,11) $p_1 = 0,851934$	7,89(5,01; 9,51) $p_1 = 0,001050$	6,02(3,76; 7,14) $p_1 = 0,001620$
7 сутки	0,08 (0,07; 0,13) $p_1 = 0,016805$; $p_2 = 0,102127$	0,06(0,06; 0,09) $p_1 = 0,008416$; $p_2 = 0,009706$	5,96(3,96; 8,62) $p_1 = 0,294136$; $p_2 = 0,213400$	4,33(3,34; 5,28) $p_1 = 0,112777$; $p_2 = 0,136687$
14 сутки	0,07 (0,06; 0,09) $p_1 = 0,000070$; $p_2 = 0,000086$; $p_3 = 0,174854$	0,06 (0,05; 0,07) $p_1 = 0,000128$; $p_2 = 0,000116$; $p_3 = 0,133328$	5,61(4,58; 6,16) $p_1 = 0,479239$; $p_2 = 0,015721$; $p_3 = 0,470487$	4,28(3,24; 5,05) $p_1 = 0,083325$; $p_2 = 0,102127$; $p_3 = 0,750832$
21 сутки	0,08(0,08; 0,11) $p_1 = 0,000989$; $p_2 = 0,006767$; $p_3 = 0,885234$; $p_4 = 0,068965$	0,06(0,05; 0,08) $p_1 = 0,007830$; $p_2 = 0,008416$; $p_3 = 0,817316$; $p_4 = 0,248214$	4,73(3,49; 6,21) $p_1 = 0,75117$; $p_2 = 0,007830$; $p_3 = 0,214495$; $p_4 = 0,370845$	3,4(2,1; 4,24) $p_1 = 0,980536$; $p_2 = 0,048133$; $p_3 = 0,214495$; $p_4 = 0,214495$

Примечания. Те же, что и в табл. 1.

Перфузионный показатель и его среднеквадратическое отклонение у крыс-самцов на 21 сутки после перерезки и нейрорафии ниже уровня контроля, но статистически значимо выше, чем на 14 сутки после оперативного вмешательства (табл. 1). При этом абсолютные значения амплитуд эндотелиальных, нейрогенных и миогенных колебаний также остаются ниже уровня контрольных значений, однако статистически значимо повышаются в сравнении с 14 сутками после операции, что свидетельствует об усилении активных механизмов модуляции микроциркуляции (табл. 2) и, вероятно, отражает начало процесса реиннервации. При расчете показателя шунтирования по формуле A_n/A_m статистически значимой динамики не выявлено, однако имеется статистически значимое увеличение соотношения $A_э/A_m$ в период с 14 по 21 сутки (табл. 2). В то же время выявлена лишь тенденция, не достигающая статистической значимости, к увеличению нормированных амплитуд осцилляций в эндотелиальном и нейрогенном диапазонах (табл. 3). Статистических различий как абсолютных, так и нормированных амплитуд дыхательных

и пульсовых колебаний у животных на 21 по сравнению с 14 сутками после операции (табл. 4) не выявлено.

Полученные данные свидетельствуют, что у крыс-самцов до перерезки и нейрорафии седалищного нерва как абсолютные, так и относительные амплитуды эндотелиальных колебаний преобладают по сравнению с осцилляциями в других регуляторных диапазонах. Эти данные согласуются с нашими предыдущими исследованиями [4, 5, 6, 9]. Однако у клинически здоровых людей различных возрастных групп в вейвлет-спектре ЛДФ-грамм преобладают колебания в нейрогенном диапазоне [3, 7, 8]. Следовательно, соотношение механизмов модуляции микрокровотока кожи у белых крыс отличается от регистрируемых у человека. В этой связи у крыс более корректным является определение показателя шунтирования как соотношения амплитуд эндотелиальных и миогенных колебаний ($A_э/A_m$) [8]. Полученные данные свидетельствуют о том, что при оценке развивающихся денервационных нарушений микроциркуляции способ расчета показателя шунтирования принципиального значения не имеет.

Однако при оценке начала процесса реиннервации соотношение Аз/Ам более информативно, поэтому именно такой способ расчета показателя шунтирования является предпочтительным для данной модели.

Согласно данным А.И. Крупаткина и соавторов у больных с полным анатомическим перерывом нервов отличительными признаками изменений кожного кровотока в зоне их иннервации является снижение нормированных амплитуд осцилляций в нейрогенном и миогенном диапазоне, что отражает повышение нейрогенного и миогенного тонуса сосудов микроциркуляции и снижение показателя шунтирования, отражающее спазм артерио-венулярных шунтов [3, 7, 8]. Следовательно, у животных при перерезке и нейрорафии седалищного нерва аналогично изменениям у больных с травмами периферических нервов развивается гиперчувствительность сосудов в денервированном участке кожи. Однако у белых крыс в отличие от людей при повреждении нерва не происходит снижения нормированных амплитуд миогенных колебаний, что может быть обусловлено как видовыми особенностями, так и влиянием наркоза.

Заключение

Изменения микроциркуляции у белых крыс при перерезке и нейрорафии седалищного нерва аналогичны и гомологичны нарушениям, возникающим у больных при повреждении периферических нервов, что позволяет использовать данную модель при изучении регенерации нервной ткани. К числу особенностей, выявляемых у животных при перерезке и нейрорафии седалищного нерва, в отличие от пациентов с травмами периферических нервов, относится отсутствие значимого снижения нормированной амплитуды колебаний в миогенном диапазоне, что следует учитывать при использовании данной модели в условиях эксперимента.

Список литературы

1. Варсегова Т.Н. Патогистологические изменения седалищного нерва при сочетанных травмах таза и бедра в эксперименте // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 33, № 1–1. – С. 92–95.
2. Гистоморфологическая оценка эффективности воздействия переменного магнитного поля и импульсного тока на регенерацию седалищного нерва крыс в эксперименте / В.Г. Нинель, И.А. Норкин, Д.М. Пучиньян и др. // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 12–2. – С. 336–340.
3. Диагностика и выбор тактики лечения при повреждениях периферических нервов / С.П. Миронов, А.И. Крупаткин, В.Г. Голубев, Д.Е. Панов // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2005. – № 2. – С. 33–39.
4. Иванов А.Н. Электромагнитные волны терагерцевого диапазона на частотах молекулярного спектра оксида азота 150,176–150,664 ГГц в коррекции экспериментальных

гемодинамических изменений: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Саратов, 2012. – 49 с.

5. Киричук В.Ф., Иванов А.Н., Кириязи Т.С. Восстановление микроциркуляторных нарушений электромагнитным излучением терагерцевого диапазона на частотах оксида азота у белых крыс при остром стрессе // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2011. – Т. 151, № 3. – С. 259–262.

6. Киричук В.Ф., Кириязи Т.С., Иванов А.Н. Влияние электромагнитных волн терагерцевого диапазона на частотах оксида азота на функциональное состояние эндотелия сосудов при остром иммобилизационном стрессе у белых крыс // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 2. – С. 78–82.

7. Крупаткин А.И. Новые возможности оценки иннервации микрососудов кожи с помощью спектрального анализа колебаний микрогемодинамики // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2004. – Т. 3, № 4. – С. 52–59.

8. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. Руководство для врачей. – М.: Медицина, 2005. – 256 с.

9. Механизм действия терагерцевых волн на частотах оксида азота с физиологической точки зрения / В.Ф. Киричук, А.Н. Иванов, А.А. Цымбал, Е.В. Андронов // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2009. – № 1–2. – С. 47–55.

References

1. Varsegova T.N. Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012, Vol. 33, no. 1–1, pp. 92–95.
2. Ninel V.G., Norkin I.A., Puchinyan D.M., Bogomolova N.V., Korshunova G.A., Matveeva O.V., Aytemirov S.M. Fundamental research (Fundamentalnie issledovaniâ), 2012, no. 12–2, pp. 336–340.
3. Mironov S.P., Krupatkin A.I., Golubev V.G., Panov D.E. Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova, 2005, no. 2, pp. 33–39.
4. Ivanov A.N. Avtoref. dis. dokt. med. Nauk. Saratov, 2012. 49 p.
5. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Kirijazi T.S. Correction of microcirculatory disturbances with terahertz electromagnetic radiation at nitric oxide frequencies in albino rats under conditions of acute stress. Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 2011, Vol. 151, no. 3, pp. 259–262.
6. Kirichuk V.F., Kirijazi T.S., Ivanov A.N. Fundamental research (Fundamentalnie issledovaniâ), 2011, no. 2, pp. 78–82.
7. Krupatkin A.I. Regionarnoe krovoobrashhenie i mikro-cirkuljacija, 2004, Vol. 3, no 4, pp. 52–59.
8. Krupatkin A.I., Sidorov V.V. Lazernaja dopplerovskaja floumetrija mikro-cirkuljacji krovi. Rukovodstvo dlja vrachej (Laser Doppler flowmetry of microcirculation. Guidance for doctors). Moscow, 2005, 256 p.
9. Kirichuk V.F., Ivanov A.N., Tsimbal A.A., Andronov E.V. Millimetrovye volny v biologii i medicine, 2009, no. 1–2, pp. 47–55.

Рецензенты:

Антипова О.Н., д.м.н., профессор кафедры нормальной физиологии им. И.А. Чуевского, ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, г. Саратов;

Афанасьева Г.А., д.м.н., заведующая кафедрой патологической физиологии, ГБОУ ВПО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России, г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 21.03.2014.