

**И.В. МАКАРОВ, В.А. АКУЛОВ, А.А. ФЕДОТОВ, С.А. АКУЛОВ,
Г.П. БОГАТЫРЕВА, Н.В. МАКАРОВА**

Самарский государственный медицинский университет
Самарский государственный технический университет
Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева

**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ
И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПРИМЕНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОЙ ТЕРАПИИ В ЛЕЧЕНИИ
ИШЕМИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ КОНЕЧНОСТЕЙ**

Статья посвящена возможностям применения гравитационной терапии в лечении больных с ишемическими состояниями конечностей и возможностям мониторинга изменений периферической гемодинамики в сеансах гравитационной терапии. Доказано, что гравитационная терапия является эффективным и перспективным методом стимулирующего воздействия на регионарное кровообращение конечностей и коллатеральный кровоток в диапазоне гравитационных перегрузок в пределах от 1,5 до 3 Gz, при продолжительности сеанса от 10 до 20 минут 1 раз в день на курс лечения – от 10 до 20 сеансов. Кроме того, разработана концепция и аппаратная реализация информационно-аналитического мониторинга состояния периферической гемодинамики в системе «человек – короткорadiusная центрифуга». Система управляется дистанционно по радиоканалу и не требует программирования, что повышает технологичность экспериментов. Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ № 17-48-630406.

Ключевые слова: *гравитационная терапия, ишемические состояния конечностей, информационно-аналитический мониторинг*

Макаров Игорь Валерьевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой хирургических болезней №1. E-mail: makarov-samgmi@yandex.ru

Акулов Владислав Алексеевич – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий. E-mail: vladislav.a.akulov@gmail.com

Федотов Александр Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры лазерных и биотехнических систем. E-mail: fedoaleks@yandex.ru

Акулов Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лазерных и биотехнических систем. E-mail: sakulov1981@mail.ru

Богатырева Галина Петровна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общественного здоровья и здравоохранения, руководитель управления медицинского образования и профессионального развития департамента правового и кадрового обеспечения министерства здравоохранения Самарской области. E-mail: BogatyrevaGP@samregion.ru

Макарова Надежда Валерьевна – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры акушерства и гинекологии ИПО. E-mail: makarova-nv75@mail.ru

**I.V. MAKAROV, V.P. ZAKHAROV, A.A. FEDOTOV,
S.A. AKULOV, G.P. BOGATYREVA, N.V. MAKAROVA**

**Samara State Medical University
Samara National Research University**

**MEDICOBIOLOGIC, INFORMATION AND TECHNICAL ASPECTS
OF GRAVITATIONAL THERAPY APPLICATION IN THE TREATMENT
OF LIMB ISCHEMIA**

The article describes the possibility of using gravitational therapy for the treatment of limb ischemia, as well as monitoring the state of peripheral hemodynamics. It is proved that gravitational therapy is an effective and promising method for stimulating regional and collateral circulation at the range of gravity load of 1.5 – 3 Gz and the duration of treatment session from 10 to 20 minutes per day and 10-20 sessions for treatment course. Microgravity is simulated by using special short-arm centrifuge (SAHC). In addition, the concept and hardware for monitoring of the peripheral hemodynamics in the “man- SAHC” system was developed. The system has a remote control by radio channel and does not require programming.

Key words: *gravitational therapy, limb ischemia, information analysis monitoring*

Makarov Igor Valerievich – Doctor of Medicine, Professor, Head of Surgical Diseases Department №1. E-mail: makarov-samgmu@yandex.ru

Akulov Vladislav Alekseevich – Doctor of Technical Science, Professor, Information Technology Department. E-mail: vladislav.a.akulov@gmail.com

Fedotov Aleksander Alerandrovich – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Laser and Bioengineering. E-mail: fedoaleks@yandex.ru

Akulov Sergei Anatolievich – Candidate of Technical Science, Associate Professor, Laser and Bioengineering. E-mail: sakulov1981@mail.ru

Bogatyreva Galina Petrovna – Candidate of Medicine, Associate Professor, Social Health and Public Healthcare Department, Head of the Medical Education and Professional Development Administration at Law and Staff Assistance Department of Health Ministry of Samara Region. E-mail: BogatyrevaGP@samregion.ru

Makarova Nadezhda Valerievna – Candidate of Medicine, Teaching Assistant Obstetrics and Gynaecology Department of Institute of Postgraduate Education. E-mail: makarova-nw75@mail.ru

В 1986 г. Н.В. Левашов предложил способ лечения ишемических состояний нижних конечностей, предполагающий использование центрифуги короткого радиуса [1]. Данный метод получил название – гравитационная терапия. Это положило начало изучению эффектов гравитационной терапии в клинических условиях. Отмечен значительный положительный клинический эффект на течение облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей и, прежде всего, облитерирующего атеросклероза [3, 4, 11, 12, 14, 15]. В ходе клинических исследований было показано положительное влияние гравитационной терапии на репаративные процессы в костной и мышечной тканях в условиях нарушенного остеогенеза [6, 7, 19]. Отмечен положительный эффект гравитационной терапии на течение хронического остеомиелита нижних конечностей в опытах на животных и в клинике [2, 16, 17]. В эксперименте было также установлено, что применение искусственной гипергравитации значительно активизирует репаративные процессы при повреждении суставов, в области мышечно-сухожильных соединений и в скелетной мышечной ткани [5, 8, 18, 20]. Показан значительный клинический эффект на течение воспалительных процессов в органах малого таза, в частности, на течение воспалительных заболеваний придатков матки [13]. В работах последних лет отмечаются данные о достоверном положительном воздействии гравитационных перегрузок на уровень липидов крови и реологические показатели при комплексном консервативном лечении облитерирующего атеросклероза [9, 10].

Таким образом, гравитационные перегрузки оказывают на организм сложное многофакторное влияние. Их воздействие затрагивает практически все функциональные системы организма, начиная от стимуляции центральной и регионарной гемодинамики и заканчивая влиянием на систему гемостаза.

Цель исследования. Провести медико-биологическое и информационно-техническое обоснование применения гравитационной терапии в лечении пациентов с ишемическими состояниями нижних конечностей.

Материалы и методы. Для получения лечебного эффекта у больных с облитерирующими заболеваниями артерий нами применялись гравитационные перегрузки небольших величин от 1,5 до 3 G. С увеличением скорости нарастания ускорений устойчивость организма к ним уменьшается. Нами использовалась скорость набора перегрузок, равная 0,01 G/c [4, 6, 11, 19].



Рис.1. Центрифуга короткого радиуса действия

При вращении центрифуги значительно повышается кровяное давление в артериях нижних конечностей, что увеличивает их кровенаполнение. Вначале внутрисосудистое гидравлическое воздействие вызывает артериальный спазм и увеличение периферического сопротивления, но по окончании вращения спазм сменяется выраженным сосудорасширяющим эффектом. При повторных воздействиях выраженность артериального спазма значительно уменьшается, а сосудорасширяющий эффект приобретает более стойкий характер. При этом наблюдается увеличение диаметра артерий коллатерального и микроциркуляторно-

го русла, развивается более густая сосудистая сеть [4, 11].

Для устранения негативных гемодинамических реакций со стороны венозного русла особое значение придавали дозированной мышечной работе, производимой нижними конечностями с помощью специального тренажера, представляющего педали, смонтированными в них пружинами.

Минимальный уровень гравитационной нагрузки, при котором проведение гравитационной терапии имело клинический эффект, соответствовал скорости вращения центрифуги 28 об/мин (~1,5 G), когда гидростатический эффект радиальных ускорений был практически равен гидростатическому эффекту ортостатического положения. Увеличение гравитационной нагрузки выше 28 об/мин давало устойчивый прирост терапевтического эффекта. Безопасным является проведение гравитационной нагрузки до 3 G (~36-42 об/мин).

С целью адаптации к перегрузке проведение гравитационной терапии начинали с минимальной терапевтической дозы 1,5-2 G (32-36 об/мин), 1 раз в день, в течение 5-10 минут на протяжении 1-2 сеансов. Затем с последующими сеансами число оборотов и, соответственно, нагрузку увеличивали и доводили до 2-3 G по 10-15 минут 1 раз в день. Для достижения стабильного клинического улучшения требовалось от 10 до 20 сеансов. Обоснованность подобного режима была подтверждена также результатами анализа динамики клинического улучшения у больных с облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей [4, 11]. При лечении на центрифуге короткого радиуса мы ни разу не сталкивались с осложнениями, которые могли бы представлять угрозу здоровью больных.

Обследовано 86 пациентов с облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей II стадии в возрасте от 38 до 81 года (средний возраст 61,3±1,87 лет). Женщин было всего 8 (9,3%). Со ПА стадией было 28 (32,5%) человек, со ПБ – 58 (67,4%).

Результаты исследования

Основным критерием клинического улучшения у пациентов данной категории является увеличение дистанции ходьбы. Дистанция абсолютной ходьбы (до появления болей в голених) увеличивалась в среднем в 2,6 раза (на 260%) (таблица 1). Продолжительность стабильного улучшения составила в среднем 8 месяцев.

Таблица 1

Динамика клинического улучшения и продолжительности клинического эффекта в результате лечения

Средние показатели	Гравитационная терапия
Максимальная дистанция ходьбы до начала лечения, м	154,77±23,610*
Максимальная дистанция ходьбы в конце курса лечения, м	402,77±49,710*
Продолжительность клинического улучшения, мес.	8,2±1,0*

*различия между показателями значимы при заданном уровне (при p < 0,05)

Для объективизации клинической оценки результатов лечения использовали *велоэргометрию*. Обследовано 40 пациентов. При этом оценивали изменение в результате лечения толерантности к физической нагрузке. Критерием служило время работы до возникновения болей и до полной остановки вращения (таблица 2). До и после вращения измеряли лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ). Регистровали время его восстановления после ВЭМ, что имеет большое значение в оценке резервных возможностей регионарного кровотока. Всем пациентам была задана стандартная нагрузка, мощностью в 40 Вт и скоростью вращения педалей велоэргометра – 60 об/мин.

Таблица 2

Изменение времени (с) выполняемой работы на ВЭМ до и после лечения

Критерии оценки	Гравитационная терапия	
	До лечения	После лечения
боль	63,13 ± 7,486	110,63 ± 17,663*
остановка	128,75 ± 16,829	194,38 ± 27,848*

*значения достоверны, по сравнению с исходными данными, при p < 0,05

Среднее время выполняемой работы после лечения до возникновения болей увеличилось в 1,7 раза (на 48 с). Время работы на ВЭМ до полной остановки увеличилось в 1,5 раза (на 66 с). Среднее время восстановления значений ЛПИ после велоэргометрии до исходного уровня в результате лечения уменьшилось с 14,5 мин до 10 мин (на 31%).

Ультразвуковое триплексное сканирование артерий нижних конечностей

стей проводили у 50 больных. Основными критериями исследования были объемная скорость кровотока ($V_{об}$) и лодыжечно-плечевой индекс (ЛПИ). Значения $V_{об}$ в среднем увеличились на 21 % (таблица 3). Изменение средних значений ЛПИ показано в таблице 4.

графический индекс (I), представляющий собой отношение средней температуры стоп к площади термографической фигуры стоп (патент на изобретение № 2214155 от 20.10.2003). После лечения полное восстановление термопрофиля стоп наблюдали в 87,81% (рис. 2).

Таблица 3
Изменение средних значений показателей ультразвукового исследования артерий нижних конечностей в результате лечения

Артерия		НПА	ОБА	ПБА	ПА	ЗББА	ПББА	
Гравитационная терапия	До лечения	$V_{об}$	15,13± 1,22	17,58± 1,38	5,35± 0,41	3,38± 0,22*	0,25± 0,03	0,31± 0,04
		ЛПИ	0,64 ± 0,046 *					
	После лечения	$V_{об}$	19,23± 1,22*	17,23± 1,07	5,86± 0,355	3,37± 0,12*	0,26± 0,033	0,48± 0,064*
		ЛПИ	0,73 ± 0,035 *					

*различия между показателями значимы по сравнению с нормой (при $p < 0,05$)

НПА – наружная подвздошная артерия
ОБА – общая бедренная артерия
ПБА – поверхностная бедренная артерия
ПА – подколенная артерия
ЗББА – задняя большеберцовая артерия

ПББА – передняя большеберцовая артерия
 $V_{об}$ – объемная скорость кровотока
IRP – индекс регионарной перфузии
ЛПИ – лодыжечно-плечевой индекс

Таблица 4
Изменения значений ЛПИ в результате лечения

Группы больных	Гравитационная терапия		Группа «здоровых» пациентов (n=40)
	До лечения	После лечения	
ПЛИ	0,64 ± 0,046*	0,73 ± 0,05*	1,02 ± 0,01

*различия между показателями значимы при заданном уровне (при $p < 0,05$)

Улучшение показателей регионарной гемодинамики нижних конечностей сопровождалось улучшением микроциркуляции, что подтверждалось результатами компьютерной термографии. Единицей исследования считалась термограмма одной конечности. Проведен анализ 80 термограмм. До лечения у большинства больных отмечалось выраженное снижение интенсивности инфракрасного излучения кожи голени и стоп. Термографическая картина характеризовалась неровными контурами, резкой деформацией теплового рисунка, неравномерностью свечения. Отмечали снижение температуры исследуемых сегментов конечностей, отсутствие термопрофиля пальцев стоп или пяточных областей, уменьшение площади теплового рисунка. Полное восстановление термопрофиля голени и стоп после лечения отмечали в 85,7%.

Для количественной характеристики метода нами был предложен термо-

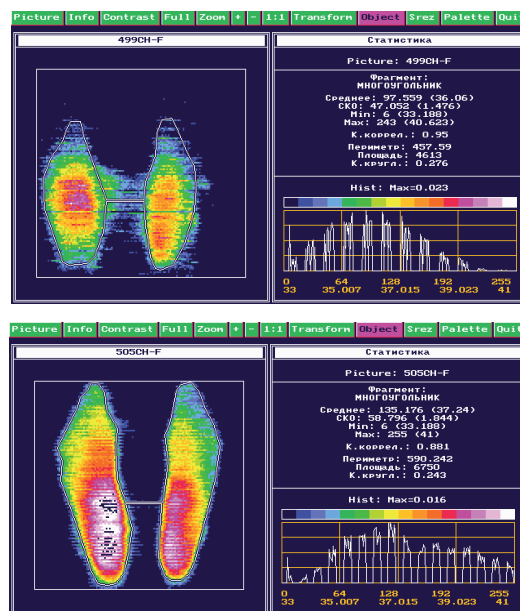


Рис. 2. Термограммы стоп больного до и после гравитационной терапии

Средняя температура повышалась при этом на 4,5-9,2 °С, а значения I_t и площади термопрофиля исследуемого сегмента приближались к нормальным значениям (таблица 5).

в интенсивно вращающейся среде. В результате сложившейся ситуации особую актуальность приобретает проблема разработки и применения новых методологических схем оценки состояний челове-

Таблица 5

Изменения средней температуры, площади теплового рисунка стоп и термографического индекса пациентов, получавших гравитационную терапию

Средние показатели температуры	До лечения, °С	После лечения, °С	Норма, °С
1 палец	22,81±2,728*	31,5±1,610* **	35,570±0,18
5 палец	23,25±2,780*	34,86±0,140* **	35,683±0,14
Подошвенная поверхность под пальцами	32,97±1,690*	36,23±0,199*	37,203±0,16
Площадь теплового рисунка стоп (пиксели)	5399,6±240,117*	7004,8±140,054**	6777,9±284,56
Термографический индекс	0,76±0,096*	0,57±0,031	0,55±0,023

* различия между показателями значимы по сравнению с нормой ($p < 0,05$);

** различия между показателями значимы по сравнению с исходными значениями ($p < 0,05$).

Информационно технические аспекты мониторинга периферического кровообращения

Поскольку речь идёт о широкомасштабных исследованиях состояния человека в условиях гравитационных нагрузок, особую значимость приобретает проблема оснащения нового поколения ЦКР (центрифуга короткого радиуса) современной информационно-аналитической системой. Следует отметить, что такого рода задачи успешно решаются в медицинских учреждениях в массовом порядке с применением триады вида «врач – аппарататура» – «пациент». Что касается ЦКР, то, во-первых, триада распадается и, во-вторых, ни стационарная, ни портативная аппаратура, выпускаемая промышленностью, не рассчитана на эксплуатацию

ка в среде с моделируемой искусственной силой тяжести, основу которых составляет управляемый мониторинг периферической системы кровообращения.

В качестве измерителей давления выбраны тонометры OMRON, которые обладают расширенной памятью (до 60 измерений) и встроенным таймером, необходимым для синхронизации показаний при выполнении серии экспериментов со сменой участников и режимов вращения. Управление процессом осуществляется с помощью радиоканала (рис. 3). Моменты включения тонометров определяются врачом и осуществляются простым нажатием кнопки «Пуск». Таким образом, программирование регистраторов не требуется, что существенно повышает технологичность испытаний.

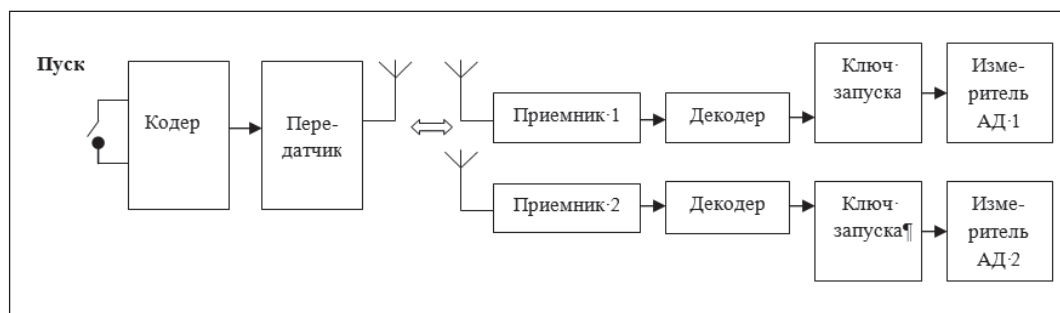


Рис. 3. Укрупнённая структурная схема радиоканала

Что касается аппаратной реализации радиоканала, то на рисунке 4 в качестве примера представлена схема платы радиопередатчика. Эффективность предлагаемой системы подтверждена многократ-

но. В частности, получены новые знания относительно отклика кровотока на интенсивность гравитационного воздействия, представляющие значительный интерес для клинической медицины.

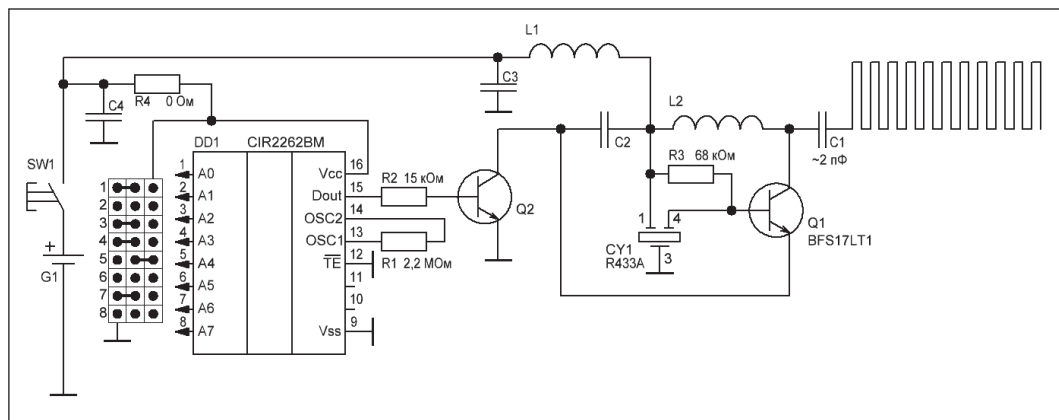


Рис. 4. Принципиальная схема платы передатчика

Заключение

Таким образом, гравитационная терапия является эффективным и перспективным методом стимулирующего воздействия на регионарное кровообращение конечностей и коллатеральный кровоток. Диапазон гравитационных перегрузок, при которых отсутствуют патологические изменения и нарушение функционирования различных органов и систем, находится в пределах от 1,5 до 3 Gz. При этом продолжительность нагрузок должна быть 10-20 минут 1 раз в день. Режим использования гравитационной терапии (уровень нагрузок, продолжительность и частота их применения) должен быть индивидуальным, обеспечивать оптимальные условия для достижения клинического эффекта.

Кроме того, разработана концепция и аппаратная реализация системы информационно-аналитического обеспечения сложных динамических систем класса «человек – короткорadiusная центрифуга». Система управляется дистанционно по радиоканалу и не требует программирования, что повышает технологичность экспериментов. Выполнена апробация системы с использованием реальной информации. В результате апробации установлено, что система обладает высокой эффективностью по обеспечению дискретного мониторинга состояния периферической гемодинамики человека, находящегося во вращающейся среде.

Конфликт интересов отсутствует.

Список литературы

1. А.с. 1245314 Способ лечения ишемических состояний конечностей по Левашову Н.В. / Н.В. Левашов; Куйбышевский мед. ин-т им. Д.И. Ульянова. – № 3812411; Опубл. 22.03.86; Приор. 10.11.1984 (СССР) – 6 с.
2. Галкин Р.А., Макаров И.В., Сидоров А.Ю. Влияние гравитационных перегрузок на мышечную ткань в условиях экспериментального остеомиелита // В сб. материалов юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 125-летию Дорожной клинической больницы ст. Самара. – Самара, 2002. – С.206-209.

шечную ткань в условиях экспериментального остеомиелита // В сб. материалов юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 125-летию Дорожной клинической больницы ст. Самара. – Самара, 2002. – С.206-209.

3. Галкин Р.А., Котельников Г.П., Макаров И.В., Опарин А.Н. Применение гравитационных перегрузок в терапии облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей // Вестник хирургии. – 2003. – № 1. – С.82-85.

4. Галкин Р.А., Макаров И.В. Гравитационная терапия в лечении больных облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей. – Самара, 2006. – 198 с.

5. Коновалов Д.А. Посттравматическая регенерация скелетных мышц при воздействии повышенной гравитации краниокаудального направления: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.22. – Самара, 2002. – 24 с.

6. Котельников Г.П., Яшков А.В. Гравитационная терапия в коррекции нарушений репаративного остеогенеза. – Самара, 2000. – 208 с.

7. Котельников Г.П., Яшков А.В. Гравитационная терапия. – М.: Медицина, 2003. – 244 с.

8. Котельников М.Г. Влияние гипергравитации на процессы репаративной регенерации при внутрисуставных повреждениях коленного сустава // автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.22. – Самара, 2000. – 21 с.

9. Лопухов Е.С. Применение гравитационной терапии и дискретного плазмафереза в лечении больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей II стадии: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.01.26. – Самара, 2014. – 26 с.

10. Макаров И.В., Лукашева А.В. Применение немедикаментозных методов лечения в комплексной терапии больных с хронической ишемией нижних конечностей II стадии // Ангиология и сосудистая хирургия. – 2016. – Т. 22. – № 2. – С.21-25.

11. Макаров И.В. Клинико-экспериментальное обоснование применения гравитационной терапии в комплексном лечении больных с облитерирующими заболеваниями артерий нижних конечностей: автореф. дис... докт. мед. наук: 14.00.27; 14.00.51. – Самара, 2004. – 46 с.

12. Макаров И.В., Махова А.Н. Влияние гравитационных перегрузок на морфофункциональное состояние скелетных мышц кроликов

с экспериментальным атеросклерозом // Морфология. – 2003. – Т.124. – № 5. – С.60.

13. Макарова Н.В. Клинико-экспериментальное обоснование применения гравитационных перегрузок в комплексном лечении воспалительных заболеваний придатков матки: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.01; 03.00.25. – Самара, 2008. – 24 с.

14. Опарин А.Н. Применение радиальных ускорений в терапии облитерирующего атеросклероза артерий нижних конечностей: автореф. дис ... канд. мед. наук: 14.00.27. – Самара, 2002. – 18 с.

15. Пат. 2074689. Способ лечения хронической артериальной недостаточности нижних конечностей / Р.А. Галкин, В.А. Мамистов, А.Ю. Попов и др., Самарский мед. ин-т им. Д.И. Ульянова. – № 93039236; Заяв. 30.07.93; Опубл. 10.03.97; Приор. 30.07.93 (Россия) – 10 с. – В сведениях перед текстом также Н.В. Левашев, А.В. Яшков.

16. Сидоров А.Ю. Экспериментальное обоснование применения гравитационных пере-

грузок в комплексном лечении остеомиелита нижних конечностей: автореф. дис... канд. мед. наук: 14.00.27; 03.00.25. – Самара, 2004. – 23 с.

17. Сонис А.Г. Новое в диагностике и лечении остеомиелита: автореф. дис. ... докт. мед. наук: 14.01.17; 14.03.11. – Самара, 2010. – 42 с.

18. Тулаева О.Н. Репаративная регенерация мышечно-сухожильного соединения при воздействии повышенной гравитации краниокаудального направления: автореф. дис... канд. мед. наук: 03.00.25. – Самара, 2003. – 26 с.

19. Яшков А.В. Клинико-экспериментальное обоснование применения гравитационной терапии у больных с нарушением репаративного остеогенеза нижних конечностей: автореф. дис... докт. мед. наук: 14.00.22. – Самара, 1998. – 37 с.

20. Яшков А.В., Махова А.Н., Котельников М.Г. Репаративные процессы и состояние микроциркуляторного русла в костной ткани и суставах при воздействии гипергравитации // В сб. тез. докл. юбилейной научн.-практ. Конф. «СамГМУ – 80 лет». – Самара, 1999. – С.309-310.