

УДК 615.81:616.137.8:616.137.9

# ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕЖАЮЩЕЙСЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ НА АРТЕРИАЛЬНОЕ РУСЛО

## INFLUENCE OF INTERMITTENT PNEUMATIC COMPRESSION ON ARTERIAL BED

Дьячков В.А.<sup>1</sup>  
Рубаненко А.О.<sup>1</sup>  
Грицин А.В.<sup>2</sup>

Diachkov VA<sup>1</sup>  
Rubanenko AO<sup>1</sup>  
Gritsin AV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России

<sup>2</sup>ФГАУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва»

<sup>1</sup>Samara State Medical University

<sup>2</sup>Samara National Research University

**Цель** — оценка влияния перемежающейся пневматической компрессии на артериальное русло.

**Материал и методы.** Проведен обзор литературных данных по использованию метода пневматической компрессии у пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей.

**Результаты.** Проводится обсуждение возможностей пневматической компрессии в лечении и профилактике хронической ишемии нижних конечностей.

**Заключение.** Все больший рост интереса исследователей к немедикаментозным методам воздействия на сосудистое русло, поиск новых эффективных методов и режимов свидетельствуют о практической значимости и востребованности лечебной пневмокомпрессии. Малоизученными остаются вопросы персонализации воздействия в зависимости от нозологии и индивидуальных параметров, характеризующих кровообращение в конечностях. Ввиду вышеперечисленного наиболее актуальным и перспективным представляется исследование воздействия на сосудистое русло с одновременной оценкой комплекса ключевых параметров биомеханики сосудов с возможной коррекцией режима, то есть с реализацией механизма «обратной связи».

**Ключевые слова:** пневматическая компрессия, атеросклероз артерий нижних конечностей.

**Aim** — to estimate the influence of intermittent pneumatic compression on arterial bed.

**Material and methods.** The paper presents a literature review concerning the use of pneumatic compression in patients with peripheral artery disease.

**Results.** Possibilities of pneumatic compression for prophylaxis and treatment of chronic ischemia in patients with peripheral artery disease are under discussion.

**Conclusion.** The rapid growth of investigators' interest in nonmedical methods of influence on arterial bed, and also the search for new and efficient methods and regimens highlight the significance of medical pneumatic compression. Currently, there is limited literature available about customization of pneumatic compression in accordance with nosology and individual indicators of blood circulation in lower extremities. As mentioned above, the most relevant and perspective direction is investigation of complex key indicators of arterial biomechanics with possibilities of the regimen correction, i.e. with implementation of feedback mechanism.

**Keywords:** pneumatic compression, peripheral artery disease.

### ■ ВВЕДЕНИЕ

Необходимость эффективного лечебного воздействия на артериальное сосудистое русло связана с продолжающимся ростом сердечно-сосудистых заболеваний. В мире атеросклерозом артерий нижних конечностей (АНК) страдает 202 млн человек, в России около 1,5 млн человек, или 15% взрослого населения, при этом за последние 10 лет заболеваемость выросла на 25%. В настоящее время ежегодное число ампутаций

конечностей варьирует от 13,7% до 32,3% на каждые 100 тыс. населения экономически развитых стран [1].

Следует отметить, что, согласно данным многих исследований, основная часть пациентов с атеросклерозом АНК являются асимптомными, что диктует необходимость более тщательного выявления пациентов с данной патологией с целью раннего проведения профилактических мероприятий [1]. Также для атеросклероза АНК характерно увеличение заболеваемости с воз-

растом. Так, по данным National Health and Nutritional Examination Survey, распространенность заболеваний АНК составила 7%, 12,5% и 23,2% у пациентов 60–69 лет, 70–79 лет и старше 80 лет соответственно [2].

Как известно, к факторам риска развития заболеваний АНК, кроме возраста, относятся курение, дислипидемия, артериальная гипертензия, сахарный диабет, гипергомоцистеинемия, увеличение уровня С-реактивного белка, повышенная вязкость крови, хроническая болезнь почек [1]. Согласно данным литературы, доказано влияние данных факторов риска на снижение кинетики артериальной стенки [3]. В течение последних лет активно исследуются немедикаментозные методы лечения атеросклероза артерий нижних конечностей. Среди них особое внимание уделяется пневмокомпрессии [4, 5, 6, 7]. В зарубежных работах в проспективных исследованиях изучено влияние пневмокомпрессии на качество жизни, дистанцию ходьбы, параметры гемодинамики у пациентов с хронической ишемией нижних конечностей в ранние и отдаленные периоды воздействия [4, 5, 6, 7, 8, 9]. Недостаточно изученными остаются механизмы влияния пневмокомпрессии на биомеханику сосудистого русла, молекулярно-биохимические эффекты, оказываемые данным видом лечебного воздействия.

## ■ ЦЕЛЬ

Оценка влияния перемежающейся пневматической компрессии на артериальное русло.

## ■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе представлен обзор литературных данных по использованию метода пневматической компрессии у пациентов с заболеваниями артерий нижних конечностей.

## ■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Особую сложность в лечебной тактике представляют пациенты с тяжелыми формами ишемии нижних конечностей. Активно изучаются механизмы механического воздействия и разрабатываются новые аппараты и методики. Так, группой итальянских ученых исследовались гемодинамические эффекты перемежающейся пневматической компрессии (ППК) у пациентов с хронической ишемией нижних конечностей. В данном исследовании сравнивали 2 аппарата: градиентную помпу — «GP», которая представляет собой новое устройство с усовершенствованным терапевтическим циклом, и аппарат последовательной пневмокомпрессии — «SFC» (ArtAssist ACI Medical, LLC SanMarcos, CA, USA) со стандартной методикой воздействия (давление 120 мм рт. ст., 3 цикла в минуту: 6 секунд компрессии на стопу и голень, 17 секунд декомпрессии). Градиентная помпа состоит из надувного рукава, имеющего длину 50–80 см и шириной 13 см, который должен быть расположен посередине бедра с жестким элементом внутри (длина 9 см, ширина 10 см), чтобы избирательно улучшить сжатие. Надувная манжета соединена с компрессором, который создает различные уровни давления, установленные вручную регулятором.

Устройство включает в себя ручной электромеханический таймер для производства периодического изменения давления и контроля циклов «работа — покой». GP характеризуется следующим оперативным циклом: фаза сжатия 20 секунд, фаза декомпрессии продолжительностью 40 секунд (1 цикл — 1 минута). Устройство применялось после 10-минутного отдыха в положении лежа на спине. Режим для GP: на 5 минут работы (устройство включено) с последующим пятиминутным отдыхом (устройство отключено), в общей сложности 20 минут работы и 35 минут полного лечения при давлении, соответствующем систолическому артериальному давлению минус 20 мм рт. ст. с максимальным значением 120 мм рт. ст. Воздействие на сосудистое русло нижних конечностей оценивалось по изменению перфузии стопы с применением ближней инфракрасной спектроскопии, постоянно волновой системы Oxymon-MK III, Artinis Medical Systems (Netherlands), при этом измерялась концентрация окси- и дезоксигемоглобина исходно и в течение всей процедуры. Также всем пациентам проводилась ультразвуковая доплерография артерий нижних конечностей до воздействия, в период рабочего цикла и по окончании лечения. Определялись средняя по времени скорость кровотока (TAV) и объемная скорость кровотока (BF). Отмечалось достоверное преимущество в улучшении оксигенации стопы, в гемодинамическом ответе у пациентов при применении GP по сравнению с традиционной последовательной пневмокомпрессией. Таким образом, можно заключить, что клинический эффект зависит от метода и режима пневмокомпрессии.

В свою очередь при оценке положительных гемодинамических эффектов пневмокомпрессии в приведенных работах, безусловно, встает вопрос о молекулярных механизмах их реализации.

Так, в работе П.Г. Швальба с соавторами изучалось влияние перемежающейся пневматической компрессии на продукцию оксида азота (NO) — главного вазорелаксирующего фактора эндотелия артериальных сосудов [10]. В исследование включали пациентов с хронической ишемией нижних конечностей, всем проводилась ППК с применением аппарата Doctor Life DL-2002 В в режиме сдвоенной бегущей волны, на курс 7 сеансов. Давление ППК выбирали индивидуально (артериальное давление на нижних конечностях больного +10 мм рт. ст.). Среднее давление при этом составило 74 мм рт. ст. Суммарное количество метаболитов NO определяли фотоколориметрическим методом. В результате было продемонстрировано, что кратковременная механическая стимуляция эндотелия приводит к повышению уровня оксида азота в крови, которое является основным механизмом положительного клинического эффекта ППК, проявляющегося в виде увеличения расстояния безболевого ходьбы, лодыжечно-плечевого индекса и роста показателей теста с реактивной гиперемией.

Активно ведутся исследования и по разработке новых методов эффективного лечебного воздействия на артерии нижних конечностей. Группой российских авторов был предложен оригинальный метод лечения

хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей (ХОЗАНК) — кардиосинхронизированная последовательная антеградная пневмокомпрессия (КПАПК) [11]. Метод разработан для получения в конечностях гемодинамических эффектов, аналогичных тем, которые создает усиленная наружная контрпульсация в коронарных артериях.

В методе КПАПК с помощью кардиосинхронизированного импульсного компрессионного воздействия создается усиленная антеградная периферическая волна давления крови. Для этого компрессия осуществляется последовательно в проксимальной и затем — с задержкой — в дистальной зоне. Волна давления способствует усилению скорости кровотока в дистальных областях, увеличению гидростатического давления и напряжения сдвига в сосудах в участках ниже зон воздействия, увеличению перфузии тканей. Уровень давления в импульсах компрессии в КПАПК превышает систолическое артериальное давление для полного пережатия подлежащих артерий.

Синхронизация с кардиоритмом эффективно решает одновременно две задачи: усиления кровотока в конечностях и усиления кровотока в миокарде с одновременным уменьшением механической работы сердца. В отличие от традиционной ритмической пневмокомпрессии при КПАПК для эффективного создания волны давления в артериолярном и капиллярном отделах принципиально важна высокая скорость нарастания давления в импульсах компрессии. Для максимального усиления волны, распространяющейся в антеградном направлении, момент начала обжатия конечности должен быть близок к моменту прохождения естественной пульсовой волны через зону обжатия. В этом случае суперпозиция двух этих волн максимальна. Задержка импульса в дистальной манжете относительно проксимальной должна быть

порядка времени распространения пульсовой волны между манжетами.

Для мониторинга изменений кровотока дистальных отделов авторами использован датчик фотоплетизмографии, размещенный на пальце ноги. Проведено экспериментальное исследование эффектов, оказываемых кардиосинхронизированной пневмокомпрессией на систему кровообращения, в результате которого установлено, что во время воздействия происходит увеличение пульсовой волны от 2 до 4 раз по сравнению с исходными параметрами.

Для оценки влияния параметров воздействия на гемодинамический эффект были исследованы зависимость усиления кровотока (амплитуды ФПГ) в дистальном отделе конечности (на пальце ноги) от амплитуды импульсов компрессии. Эта зависимость имеет S-образную форму: увеличение кровотока начинается при величинах компрессии порядка систолического давления и выходит на насыщение при 50–70 мм рт. ст. выше систолического.

## ■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все больший рост интереса исследователей к немедикаментозным методам воздействия на сосудистое русло, поиск новых эффективных методов и режимов свидетельствует о практической значимости и востребованности лечебной пневмокомпрессии. Малоизученными остаются вопросы персонализации воздействия в зависимости от нозологии и индивидуальных параметров, характеризующих кровообращение в конечностях. Ввиду вышеперечисленного наиболее актуальным и перспективным представляется исследование воздействия на сосудистое русло с одновременной оценкой комплекса ключевых параметров биомеханики сосудов с возможной коррекцией режима, то есть с реализацией механизма «обратной связи». ■

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Бокерия Л.А. с соавт. Клинические рекомендации «Заболевания артерий нижних конечностей». М., 2016. Bokeriya LA et al. Klinicheskie rekomendacii «Zabolevaniya arterij nizhnih konechnostej». М., 2016. (In Russ.).
2. Ostchega Y, Paulose-Ram R, Dillon CF, Gu Q, Hughes JP. Prevalence of peripheral arterial disease and risk factors in persons aged 60 and older: data from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2004. *J Am Geriatr Soc.* 2007;55(4):583-9.
3. Фатенков В.Н., Фатенков О.В. Новое в биомеханике сердца, артерий и малого круга кровообращения. Самара: Ас Гард, 2012. Fatenkov VN, Fatenkov OV. Nove v biomehanike serdca, arterij i malogo kruga krovoobrashhenija. Samara: As Gard; 2012. (In Russ.).
4. Williams KJ, Babber A, Ravikumar R, Davies AH. Non-Invasive Management of Peripheral Arterial Disease. *AdvExp Med Biol.* 2017;(906):387-406.
5. Moran PS, Teljeur C, Harrington P, Ryan M. A systematic review of intermittent pneumatic compression for critical limb ischaemia. *Vasc Med.* 2015 Feb;20(1):41-50. doi: 10.1177/1358863X14552096.

6. Alvarez OM, Wendelken ME, Markowitz L., Comfort C. Effect of High-pressure, Intermittent Pneumatic Compression for the Treatment of Peripheral Arterial Disease and Critical Limb Ischemia in Patients Without a Surgical Option. *Wounds.* 2015 Nov;27(11):293-301.
7. Manfredini F, Malagoni AM, Felisatti M, Mandini S, Lamberti N, Manfredini R, Mascoli F, Basaglia N, Zamboni P. Acute oxygenation changes on ischemic foot of a novel intermittent pneumatic compression device and of an existing sequential device in severe peripheral arterial disease. *BMC Cardiovasc Disord.* 2014 Mar 31;14:40. doi: 10.1186/1471-2261-14-40.
8. Сударев А.М. Лечение облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2013. Т.19 (1):26-32. Sudarev AM. Treatment of severe peripheral artery disease. *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya.* 2013. Vol. 19(1):26-32. (In Russ.).
9. Таршинова Л. А., Ельчиц Т. В., Зайцев Д. В.; Под науч. ред. Лободы М. В. *Теория и практика объемного пневмопрессинга.* Саарбрюккен: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. Tarshinova LA, Elchic TV, Zaycev DV. *Theory and practice of volumetric pneumopressing.* Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 2015.

10. Швальб П.Г., Калинин Р.Е., Пшенников А.С., Сучков И.А. Влияние перемежающейся пневмокомпрессии на выработку оксида азота как основного маркера эндотелиальной дисфункции у пациентов с облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2011. Т. 19(3):77-81.

Shvalb PG, Kalinin RE, Pshennikov AS, Suchkov IA. Influence of intermittent pneumocompression on nitrogen oxide production as a main marker of endothelial dysfunction in patients with severe peripheral artery disease. *Novosti hirurgii*. 2011. Vol. 19(3):77-81. (In Russ).

11. Зудин А.М., Учкин И.Г., Орлова М.А., Багдасарян А.Г. Кардиосинхронизированная последовательная антеградная пневмокомпрессия в лечении больных с мультифокальным атеросклерозом. *Ангиология и сосудистая хирургия*; 2014. Т. 20(1):36-43.

Zudin AM, Uchkin IG, Orlova MA, Bagdasaryan AG. Cardiosynchronized sequential antegrade pneumocompression in treatment of patients with multifocal atherosclerosis. *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya*. 2014. Vol. 20(1):36-43. (in Russ).

### ■ Участие авторов

Концепция исследования: Грицин А.В.

Написание статьи: Дьячков В.А.

Редактирование статьи: Рубаненко А.О.

**Конфликт интересов отсутствует.**

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Дьячков В.А.** — к.м.н., доцент кафедры пропедевтической терапии СамГМУ.  
E-mail: gelios-13@mail.ru

**Рубаненко А.О.** — к.м.н., ассистент кафедры пропедевтической терапии СамГМУ.  
E-mail: anatolii.rubanenko@gmail.com

**Грицин А.В.** — инженер управления обеспечения инновационной деятельности, аспирант кафедры конструирования и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского университета.  
E-mail: grialeksey@gmail.com

### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Diachkov VA** — PhD, associate professor of the Department of propaedeutic therapy, Samara State Medical University.  
E-mail: gelios-13@mail.ru

**Rubanenko AO** — PhD, teaching assistant of the Department of propaedeutic therapy, Samara State Medical University.  
E-mail: anatolii.rubanenko@gmail.com

**Gritsin AV** — post-graduate student of the Institute of Engine and Power Plant Engineering of Samara University, engineer of the Department of innovative activities management.  
E-mail: grialeksey@gmail.com

### ■ Контактная информация

**Дьячков Владислав Александрович**  
Адрес: Самарский государственный медицинский университет, кафедра пропедевтической терапии, пр. К. Маркса, 165б, г. Самара, Россия, 443079.  
E-mail: gelios-13@mail.ru  
Телефон: + 7 (927) 010 11 74.

### ■ Contact information

**Diachkov Vladislav Alexandrovich**  
Address: Samara State Medical University, Department of propaedeutic therapy, 165b K. Marx prospect, Samara, Russia, 443079.  
E-mail: gelios-13@mail.ru  
Phone: + 7 (927) 010 11 74.