

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОБЪЕМ ВЕНОЗНОГО РЕФЛЮКСА У БОЛЬНЫХ С ВАРИКОЗНЫМ РАСШИРЕНИЕМ ВЕН НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Р. А. Таурагинский, Ф. Лурье, С. С. Симаков, Д. А. Борсук,
Л. В. Коваленко, К. В. Мазайшвили

Цель – оценить влияние физической нагрузки на количественные параметры венозного рефлюкса. **Материал и методы.** В исследование был включен 61 пациент с несостоятельностью большой подкожной вены. Диаметр, площадь поперечного сечения, средняя скорость, время рефлюкса крови измерялись с помощью дуплексного ультразвукового исследования. Объемная скорость рефлюкса и объем рефлюкса вычислялись по соответствующим формулам. Измерения проводились стоя в состоянии покоя перед физической нагрузкой и через 60 сек после физической нагрузки (30 подъемов на носки с частотой 1 раз в сек). Далее рассчитывалось, насколько уменьшался объем рефлюкса после физической нагрузки по формуле: $DRV = RV(\text{после}) - RV(\text{до})/RV(\text{до}) \times 100\%$. В качестве провокационного маневра использовалась автоматическая проба дистальной компрессии-декомпрессии (120 мм рт. ст.). Медиана и интерквартильные диапазоны использовались для описания количественных параметров. **Результаты.** Параметры до физической нагрузки: время рефлюкса = 4,85 (3,71–6,00) сек; объемная скорость рефлюкса = 3,89 (2,03–5,81) мл/сек; объем рефлюкса = 17,05 (10,32–25,34) мл. Аналогичные параметры после физической нагрузки: 2,86 (2,14–3,33) сек ($p < 0,0001$), 3,61 (2,06–6,37) мл/сек ($p = 0,9981$), 10,07 (6,08–16,48) мл ($p = 0,0007$). При сравнении параметров в положениях «до» и «после» объем рефлюкса после физической нагрузки составил -40,9 %. Анализ корреляции выявил статистически значимую обратную взаимосвязь диаметра большой подкожной вены и объема рефлюкса после физической нагрузки ($-0,56$ ($p < 0,05$)), а также обратную корреляцию между DRV и тяжестью заболевания (VCSS) ($r = -0,41$ ($p < 0,0001$)).

Ключевые слова: венозный рефлюкс, артериальный приток, физические упражнения, ультразвуковое сканирование вен, варикозное расширение вен.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время уже ни у кого не вызывает сомнений, что патологический рефлюкс является ключевым звеном патогенеза хронических заболеваний вен нижних конечностей (ХЗВНК) [1]. Показано, что

у пациентов с несостоятельностью клапанов вен нижних конечностей ухудшается артериальный приток к мышечно-венозной помпе при физической нагрузке [2–3]. Вероятно, эти два явления взаимосвязаны. Ги-

EFFECT OF PHYSICAL ACTIVITY ON VENOUS REFLUX VOLUME IN PATIENTS WITH VARICOSE VEINS OF LOWER LIMBS

R. A. Tauraginskii, F. Lurie, S. S. Simakov, D. A. Borsuk, L. V. Kovalenko, K. V. Mazayshvili

The aim of the study is to assess the influence of changes in arterial inflow during exercise on quantitative parameters of reflux. **Material and methods.** The study included 61 patients with primary incompetence of the great saphenous vein. The diameter, cross-sectional area, average velocity, reflux time in seconds, were measured by duplex ultrasound. Reflux volume flow and reflux volume were calculated. The measurements were performed on standing patients at rest before physical exercise and 60 seconds after physical exercise (30 rising on toes at a frequency of 1 time per second). A decrease in the volume of reflux after exercise was calculated ($DRV = RV(\text{after}) - RV(\text{before})/RV(\text{before}) \times 100\%$). Automatic distal compression-decompression (120 mm Hg) was used as a provocation maneuver. The median and interquartile range were used for describing quantity parameters. **Results.** Before exercise, reflux parameters were: RT = 4.85 (3.71–6.00) sec; Q = 3.89 (2.03–5.81) ml/s; RV = 17.05 (10.32–25.34) ml. After physical exercise parameters change to RT = 2.86 (2.14–3.33) sec ($p < 0,0001$); Q = 3.61 (2.06–6.37) ml/s ($p = 0,9981$); RV = 10.07 (6.08–16.48) ml ($p = 0,0007$). By comparison of “before” and “after” parameters the reflux volume after the exercise was -40,9 %. Correlation analysis identified statistically significant inverse correlation between the diameter of the great saphenous vein and reflux volume after the exercise ($-0,56$ ($p < 0,05$)), as well as an inverse correlation between DRV and disease severity (VCSS) ($r = -0,41$ ($p < 0,0001$)).

Keywords: venous reflux, arterial inflow, exercise, venous ultrasound, varicose veins.

потеза заключается в том, что увеличение артериального притока в нижних конечностях при физической нагрузке приводит к уменьшению объема рефлюкса.

Цель – оценить влияние физической нагрузки на количественные параметры венозного рефлюкса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проспективное одноцентровое исследование проводилось при рутинном обследовании пациентов на приеме сердечно-сосудистого хирурга в «Клинике флебологии и лазерной хирургии» г. Челябинска и было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Южно-Уральский медицинский университет» Минздрава РФ, г. Челябинск. Пациенты давали письменное добровольное согласие на его проведение.

Критериями включения были первичная несостоятельность большой подкожной вены (БПВ) и ее варикозных притоков по классификации CEAP: C 2-6, E_p, A s, Pr 2,3. Критериями исключения были несостоятельность малых подкожных или несafenных вен, несостоятельность или обструкция глубоких вен нижних конечностей и/или таза, предшествующие оперативное вмешательство на венах или склеротерапия, острый или перенесенный венозный тромбоз. Исключались также пациенты с хронической ишемией нижних конечностей (лодыжечно-плечевой индекс менее 1,0).

Перед исследованием проверяли наличие критериев включения и исключения с использованием ультразвукового дуплексного сканирования (на аппарате GE Logic V2, 12L 8-13 МГц). Критерием патологического рефлюкса была его длительность более 0,5 сек [4–5]. Исследование выполнялось в положении стоя, в покое, вес переносился на контралатеральную конечность с опорой руками на металлическую раму. Все измерения проводились на расстоянии 10–15 см от сафено-фemorального соустья, место предварительно маркировалось. Измерения проводились до и через 1 мин после физической нагрузки.

Для увеличения артериального притока к нижним конечностям в качестве физической нагрузки использовались 30 подъемов на носки с частотой 1 раз в сек [6]. Контроль за частотой и временем исполнения проводился исследователем с использованием метронома (Wittner GmbH & Co KG, серия 800/810) и секундомера. В кабинете для исследований поддерживалась постоянная температура 22 °С.

Перед началом исследования пациент находился лежа в покое в течение 10 мин. Далее переводился в исходное положение стоя и оставался в покое 5 мин. На голень в месте максимальной окружности надевалась пневматическая манжета. Место наложения отмечалось маркерами сверху и снизу манжеты. Диаметр БПВ (Д-БПВ, мм) и площадь ее поперечного сечения (S, см²) измерялись автоматически при помощи обводки внутреннего контура вены эллипсом.

В качестве провокационного маневра использовалась автоматическая дистальная компрессия-декомпрессия манжетой шириной 12 см с давлением 120 мм рт. ст. (DE Hokanson Inc, Issaquah, Wash.) [7]. Выбранная сила давления была меньше, чем при максимальном мышечном сокращении, но больше, чем гидростатическое давление в положении стоя [8].

После провокационного маневра измерялись интеграл средней скорости по времени (TAMEAN,

см/сек) и длительность рефлюкса (RT, сек) при помощи импульсного доплеровского режима в продольном сечении вены с расположением контрольного объема от верхней до нижней стенки с углом инсонации 60°.

Далее пациент находился в покое 2 мин. После этого выполнялись физические упражнения и пациент переходил в исходное положение. Через 1 мин после окончания физической нагрузки фиксировали идентичные параметры с идентичной провокационной пробой.

Все полученные данные заносили в таблицу и вычисляли следующие параметры: объемную скорость рефлюкса (Q, мл/сек) = TAMEAN × S, объем рефлюкса (RV, мл) = TAMEAN × S × RT, а также насколько уменьшался объем рефлюкса после физической нагрузки (DRV, %) = (RV (после) - RV (до)) / RV (до) × 100 %.

Статистическая оценка данных выполнялась при помощи непараметрических методов анализа. Количественные показатели представлены медианой и интерквартильными диапазонами. Сравнение двух групп по количественной шкале проводилось на основе U-теста Mann – Whitney. Для множественного попарного сравнения по количественной шкале использовался тест Kruskal – Wallis. Статистическая значимость различных значений для бинарных и номинальных показателей определялась с использованием χ^2 -test. Анализ показателей в различных положениях тела проводился на основе непараметрического теста Friedman. Корреляционный анализ проводился с использованием парных коэффициентов корреляции Spearman. Сильная взаимосвязь определялась при $|r| > 0,7$. Уровень статистической значимости был зафиксирован на уровне вероятности ошибки 0,05. Статистическая обработка данных выполнена с использованием пакетов прикладных программ Statistica 10 и SAS JMP 11.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Была исследована 61 нижняя конечность 61 пациента, из них 20 (32,8 %) мужчин и 41 (67,2 %) женщина. Распределение по клиническим классам по международной классификации CEAP следующее: C2 – 47 (77 %); C3 – 8 (13,1 %); C4-6 – 6 (9,9 %). У семнадцати пациентов (28 %) показатель индекса массы тела (ИМТ) (18,5–24,9 кг/м²) был в пределах нормы, у 23 (38 %) – избыточная масса тела (ИМТ 25–29,9 кг/м²), 21 пациент (34 %) – с ожирением (ИМТ > 30,0 кг/м²). Описательная статистика представлена в табл. 1.

После включения пациентов в исследование, основываясь на данных, связывающих значение диаметра БПВ с гемодинамическими параметрами рефлюкса [9–11], выборка была разделена на три группы: Д₁ < 5,5 мм; Д₂ 5,5 – 7,5 мм; Д₃ > 7,5 мм. Распределение выборки по группам: Д₁ 14 (23 %), Д₂ 25 (41 %), Д₃ 22 (36,1 %).

Морфометрические данные и данные параметров рефлюкса до и после физической нагрузки представлены в табл. 2 и 3. При сравнении параметров до и после физической нагрузки наблюдались статистически значимые отличия по RT (p < 0,0001) и RV (p = 0,0007), а DRV в среднем составил -40,9 %.

Изменения Q, RV в группах до и после физической нагрузки представлены на рис. 1 и 2. Имеются различия между медианами Q и RV до и после физической нагрузки между всеми группами (p < 0,0001).

Демографические данные

Параметры (n = 61)	мин	25%	медиана	75 %	макс
Возраст	19,0	39,0	45,0	57,0	75,0
Рост	150,0	161,0	165,0	175,0	186,0
Вес	45,2	70,9	80,3	86,4	122,9
ИМТ	18,7	24,7	28,2	31,4	38,0
VCSS	1,0	3,0	4,0	5,0	11,0

Примечание: VCSS – оценка клинической тяжести венозной патологии.

Таблица 2

Морфометрические и физические параметры до и после нагрузки

Параметры	До	После	p
D	6,70 (5,80–7,80)	6,70 (5,80–7,80)	1,0000
S	0,37 (0,27–0,49)	0,37 (0,27–0,49)	1,0000
TAMEAN	9,44 (7,38–12,53)	9,10 (7,48–12,87)	0,9992
RT	4,85 (3,71–6,00)	2,86 (2,14–3,33)	< 0,0001
Q	3,89 (2,03–5,81)	3,61 (2,06–6,37)	0,9981
RV	17,05 (10,32–25,34)	10,07 (6,08–16,48)	0,0007
DRV		-40,9 %	

Примечание: данные представлены медианой и нитерквартильными диапазонами: p – для теста Friedman; статистическая значимость была зафиксирована на уровне вероятности ошибки $p < 0,05$; D – диаметр БПВ; S – площадь поперечного сечения БПВ; TAMEAN – интеграл средней скорости по времени; RT – длительность рефлюкса; Q – объемная скорость; RV – объем рефлюкса; DRV – уменьшение объема рефлюкса.

Таблица 3

Изменение параметров рефлюкса в группах до и после нагрузки

Период	параметры	Д ₁ (n = 17)	Д ₂ (n = 23)	Д ₃ (n = 21)	P (df = 2)	P (Д ₁ –Д ₂)	P (Д ₁ –Д ₃)	P (Д ₂ –Д ₃)
До	Q	1,0 (0,8–1,5)	2,8 (2,3–4,6)	6,0 (5,2–10,0)	< 0,0001	0,0048	< 0,0001	0,0014
До	V	7,6 (5,1–11,2)	16,3 (10,3–21,0)	27,5 (18,7–37,7)	< 0,0001	0,0147	< 0,0001	0,0115
После	Q	1,1 (0,8–1,5)	3,0 (2,3–4,2)	6,5 (5,1–10,7)	< 0,0001	0,0062	< 0,0001	0,0012
После	V	3,6 (2,5–5,3)	8,3 (6,4–11,6)	17,8 (12,9–29,1)	< 0,0001	0,0079	< 0,0001	0,0045
	DRV (-%)	51,2 (48,5–61,0)	40,3 (35,8–51,0)	26,3 (19,1–40,5)	0,0002	0,0990	0,0002	0,0581

Примечание: данные представлены медианой и нитерквартильными диапазонами; df – количество степеней свободы; p – для теста Kruskal – Wallis; статистическая значимость была зафиксирована на уровне вероятности ошибки $p < 0,05$.

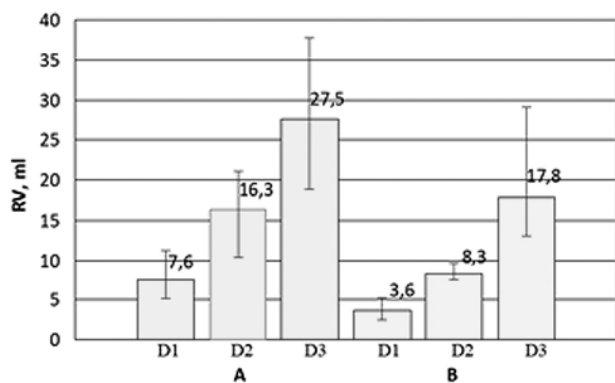


Рис. 1. Изменение объема рефлюкса (RV) в группах по Д-БПВ: Д₁ (Д-БПВ < 5,5 мм); Д₂ (Д-БПВ 5, – 7,5 мм); Д₃ (Д-БПВ > 7,5 мм); А – до физической нагрузки, В – после физической нагрузки (все группы имели статистически значимые отличия)

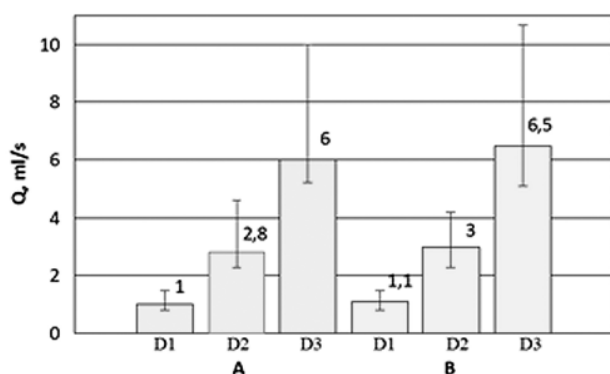


Рис. 2. Изменение объемного потока рефлюкса (Q) в группах по Д-БПВ Д₁ (Д-БПВ < 5,5 мм); Д₂ (Д-БПВ 5,5 – 7,5 мм); Д₃ (Д-БПВ > 7,5 мм); А – до физической нагрузки; В – после физической нагрузки (все группы имели статистически значимые отличия)

По DRV наблюдались различия между всеми группами, статистически значимые различия – между группами Д₁ и Д₃ ($p = 0,0002$) (рис. 3).

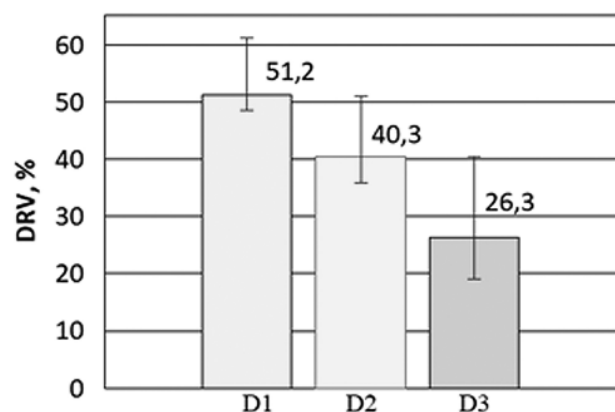


Рис. 3. Влияние физической нагрузки на объем венозного рефлюкса у больных с варикозным расширением вен нижних конечностей. Изменение параметра DRV в группах по Д-БПВ: Д₁ (Д-БПВ < 5,5 мм); Д₂ (Д-БПВ 5,5–7,5 мм); Д₃ (Д-БПВ > 7,5 мм) (статистически значимые отличия наблюдались между группами Д₁ и Д₃)

При проведении корреляционного анализа выявлена статистически значимая обратная корреляция между Д-БПВ и DRV $r = -0,56$ ($p < 0,001$), между Д-БПВ и VCSS $r = -0,41$ ($p < 0,0001$).

По данным воздушной плетизмографии, артериальный приток у больных с ХЗВНК в состоянии покоя увеличен пропорционально тяжести заболевания [12–14]. По данным D. Paolini и соавт. [2], у пациентов с первичным ХЗВНК, по сравнению со здоровыми волонтерами, наблюдался повышенный артериальный приток в покое и сниженный артериальный приток во время постокклюзионной реактивной гиперемии, теста, имитирующего физическую нагрузку. По данным I. Nadland и соавт. [3], у пациентов с ХЗВНК в самом начале физической нагрузки не было пикового увеличения объемного потока на общей бедренной артерии, по сравнению со здоровыми волонтерами.

Венозный рефлюкс в БПВ представляет собой обратный поток крови, возвращающийся в глубокие вены голени через варикозные притоки и перфоранты re-entry [15–18]. В свою очередь, глубокие вены голени, особенно внутримышечные вены, являются главными емкостными сосудами [19]. В физиологических условиях вены голени заполняются только артериальным притоком из капиллярного русла [20]. При ХЗВНК они являются резервуаром приема как для артериального притока, так и для венозного рефлюкса. В связи с этим, а также учитывая фундаментальное свойство жидкости, ее несжимаемость [21], артериальный приток и венозный рефлюкс должны являться конкурентными потоками.

В положении стоя в покое артериальный объемный поток минимальный, по сравнению с положением лежа. Это обусловлено периферическим сосудистым сопротивлением за счет спазма артериол. Этот спазм обусловлен тремя механизмами: центральным симпатическим рефлексом, местным аксон-рефлексом и миогенным механизмом [22–27]. Минутный объем сердечного выброса в покое составляет 5 л/мин, из которых 80 % потребляют жизненно важные органы и только 1 л/мин (20 %) приходится на все остальные ткани, в том числе и скелетные мышцы [28].

При физической нагрузке происходит рост минутного объема сердечного выброса до 20 л/мин у нетренированного человека, при этом в абсолютных цифрах сохраняется постоянство объемного потока в жизненно важных органах (головной мозг, почки) и резкое увеличение объемного потока в миокарде до 0,75 л/мин и скелетной мускулатуре до 18 л/мин [28]. Максимальное увеличение артериального объемного потока происходит в мышцах с перераспределением в сторону мышц с большим потреблением кислорода [6, 28–29]. Менее значимое увеличение происходит в неработающих мышцах, коже и подкожной клетчатке [6, 30]. Рост минутного объема сердечного выброса происходит за счет увлечения ударного объема и частоты сердечных сокращений, рост среднего артериального давления при этом незначительный (за счет периферической вазодилатации приносящих артериол) и, как результат, – растет градиент полного давления потока между артериальным и венозным концом [28–29].

В исследовании изменение объема рефлюкса после физической нагрузки составило почти 41 % (DRV = –40,9 %). Изменение объема рефлюкса происходит только за счет сокращения времени ретроградного потока с 4,85 (3,7–6,0) сек до RT 2,86 (2,1–3,4) сек, время рефлюкса уменьшается почти на 60 %.

С учетом того, что кровь является несжимаемой средой, данное наблюдение может иметь два объяснения. Первое – это вероятное уменьшение объема самого венозного резервуара голени. Но это физически невозможно, так как вены являются эластически-

ми трубками, неспособными поддерживать округлую форму поперечного сечения самостоятельно. Изменение формы их поперечного сечения и, как следствие, объема обусловлено количеством содержащейся в них крови [31–32], которое значительно увеличивается после физической нагрузки. Второе объяснение – увеличившийся артериальный приток стал занимать большую часть объема в венах голени, как результат – уменьшается объем венозного рефлюкса.

При сравнении групп Д-БПВ по DRV видно различия между ними: чем больше диаметр, тем меньше значение DRV (рис. 1). При этом между диаметром и DRV существует обратная взаимосвязь.

Так как DRV имеет статистически значимую обратную взаимосвязь с тяжестью заболевания по шкале VCSS, полученные данные имеют практическое значение. Основываясь на них, можно рекомендовать пациентам физическую нагрузку, в частности, ходьбу как лечебную процедуру в комплексном терапевтическом подходе.

В работе измерялись только количественные характеристики ретроградного венозного потока, но

не измерялись количественные характеристики артериального притока до и после физической нагрузки. Поэтому наши выводы имеют косвенные доказательства и нуждаются в дальнейшем более всестороннем исследовании с одновременным изучением артериального и венозного потоков до и после физической нагрузки. Используемый нами тест также имеет некоторые особенности: при таком виде движений не происходит полная компрессия вен внутри икроножной мышцы, что влияет на функцию мышечно-венозной помпы. В дальнейшем мы планируем использовать тредмил тест.

ВЫВОДЫ

Усиление артериального притока при физической нагрузке приводит к уменьшению объема рефлюкса. Уменьшение объема ретроградного потока происходит только за счет сокращения его времени, при этом объемный поток рефлюкса не изменяется. Чем больше диаметр БПВ, тем меньше падение объема рефлюкса после физической нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee B. B., Nicolaides A. N., Myers K., Meissner M., Kalodiki E., Allegra C. et al. Venous Hemodynamic Changes in Lower Limb Venous Disease: The UIP Consensus According to Scientific Evidence // *Int Angiol.* 2016. No. 35 (3) P. 236–352.
2. Paolini D. J., Comerota A. J., Jones L. S. Lower Extremity Arterial Inflow is Adversely Affected in Patients with Venous Disease // *J Vasc Surg.* 2008. No. 48 (4). P. 960–964. DOI 10.1016/j.jvs.2008.05.058.
3. Nådland I. H., Wesche J., Sheriff D. D., Toska K. Does Venous Insufficiency Impair the Exercise-Induced rise in Arterial leg Blood Flow? // *Phlebology.* 2011. No. 26 (8). P. 326–331. DOI 10.1258/phleb.2011.010092.
4. Labropoulos N., Tiongson J., Pryor L., Tassiopoulos A. K., Kang S. S., Mansour M. A., et al. Definition of Venous Reflux in Lower-Extremity Veins // *J Vasc Surg.* 2003. No. 38 (4). P. 793–798. DOI 10.1016/S0741-5214(03)00424-5.
5. Van Bemmelen P. S., Bedford G., Beach K., Strandness D. E. Quantitative Segmental Evaluation of Venous Valvular Reflux with Duplex Ultrasound Scanning // *J Vasc Surg.* 1989. No. 10 (4). P. 425–431. DOI 10.1016/0741-5214(89)90417-5.
6. Nielsen H. V. Effect of Vein Pump Activation upon Muscle Blood Flow and Venous Pressure in the Human Leg // *Acta Physiol Scand.* 1982. No. 114 (4). P. 481–485. DOI 10.1111/j.1748-1716.1982.tb07015.x.
7. Broholm R., Kreiner S., Bækgaard N., Panduro Jensen L., Sillesen H. Observer Agreement of Lower Limb Venous Reflux Assessed by Duplex Ultrasound Scanning using Manual and Pneumatic Cuff Compression in Patients with Chronic Venous Disease and Controls // *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011. No. 41 (5). P. 704–710. DOI 10.1016/j.ejvs.2011.01.014.
8. Ludbrook J. The Musculo-venous Pumps of the Human Lower Limb // *Am Heart J.* 1966. No. 71(5). P. 635–641. DOI 10.1016/0002-8703(66)90313-9.
9. Engelhorn C. Relationship Between Reflux and Greater Saphenous Vein Diameter // *J Vasc Technol.* 1997. No. 21 (3). P. 167–172.

REFERENCES

1. Lee B. B., Nicolaides A. N., Myers K., Meissner M., Kalodiki E., Allegra C. et al. Venous Hemodynamic Changes in Lower Limb Venous Disease: The UIP Consensus According to Scientific Evidence // *Int Angiol.* 2016. No. 35 (3) P. 236–352.
2. Paolini D. J., Comerota A. J., Jones L. S. Lower Extremity Arterial Inflow is Adversely Affected in Patients with Venous Disease // *J Vasc Surg.* 2008. No. 48 (4). P. 960–964. DOI 10.1016/j.jvs.2008.05.058.
3. Nådland I. H., Wesche J., Sheriff D. D., Toska K. Does Venous Insufficiency Impair the Exercise-Induced rise in Arterial leg Blood Flow? // *Phlebology.* 2011. No. 26 (8). P. 326–331. DOI 10.1258/phleb.2011.010092.
4. Labropoulos N., Tiongson J., Pryor L., Tassiopoulos A. K., Kang S. S., Mansour M. A., et al. Definition of Venous Reflux in Lower-Extremity Veins // *J Vasc Surg.* 2003. No. 38 (4). P. 793–798. DOI 10.1016/S0741-5214(03)00424-5.
5. Van Bemmelen P. S., Bedford G., Beach K., Strandness D. E. Quantitative Segmental Evaluation of Venous Valvular Reflux with Duplex Ultrasound Scanning // *J Vasc Surg.* 1989. No. 10 (4). P. 425–431. DOI 10.1016/0741-5214(89)90417-5.
6. Nielsen H. V. Effect of Vein Pump Activation upon Muscle Blood Flow and Venous Pressure in the Human Leg // *Acta Physiol Scand.* 1982. No. 114 (4). P. 481–485. DOI 10.1111/j.1748-1716.1982.tb07015.x.
7. Broholm R., Kreiner S., Bækgaard N., Panduro Jensen L., Sillesen H. Observer Agreement of Lower Limb Venous Reflux Assessed by Duplex Ultrasound Scanning using Manual and Pneumatic Cuff Compression in Patients with Chronic Venous Disease and Controls // *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2011. No. 41 (5). P. 704–710. DOI 10.1016/j.ejvs.2011.01.014.
8. Ludbrook J. The Musculo-venous Pumps of the Human Lower Limb // *Am Heart J.* 1966. No. 71(5). P. 635–641. DOI 10.1016/0002-8703(66)90313-9.
9. Engelhorn C. Relationship Between Reflux and Greater Saphenous Vein Diameter // *J Vasc Technol.* 1997. No. 21 (3). P. 167–172.

10. Navarro T. P., Delis K. T., Ribeiro A. P. Clinical and Hemodynamic Significance of the Greater Saphenous Vein Diameter in Chronic Venous Insufficiency // *Arch Surg*. 2002. No. 137. P. 1233–1237. DOI 10.1001/archsurg.137.11.1233.
11. Raju S., Ward M., Jones T. L. Quantifying Saphenous Reflux // *J Vasc Surg. Venous Lymphat Disord*. 2015. No. 3 (1). P. 8–17. DOI 10.1016/j.jvsv.2014.07.005.
12. Christopoulos D., Nicolaides A. N., Szendro G. Venous Reflux: Quantification and Correlation with the Clinical Severity of Chronic Venous Disease // *Br J Surg*. 1988. No. 75 (4). P. 352–356.
13. Christopoulos D. C., Nicolaides A. N., Belcaro G., Kalodiki E. Venous Hypertensive Microangiopathy in Relation to Clinical Severity and Effect of Elastic Compression // *J Dermatol Surg Oncol*. 1991. No. 17 (10). P. 809–813. DOI 10.1111/j.1524-4725.1991.tb03264.x.
14. Shiraishi Y. Relationship between Arterial Inflow Rate and Venous Filling Index of the Lower Extremities Assessed by Air Plethysmography in Subjects with or without Axial Reflux in the Great Saphenous Vein // *Ann Vasc Dis*. 2014. No. 7 (3). P. 306–311. DOI 10.3400/avd.oa.14-00028.
15. Bjordal R. I. Blood Circulation in Varicose Veins of the Lower Extremities // *Angiology*. 1972. No. 23 (3). P. 163–173. DOI 10.1177/000331977202300305.
16. Bjordal R. Flow and Pressure Studies in Venous Insufficiency // *Acta Chir Scand Suppl*. 1988. No. 544. P. 30–33.
17. Labropoulos N., Tassiopoulos A. K., Bhatti A. F., Leon L. Development of Reflux in the Perforator Veins in Limbs with Primary Venous Disease // *J Vasc Surg*. 2006. No. 43 (3). P. 558–562. DOI 10.1016/j.jvs.2005.11.046.
18. Recek C. Competent and Incompetent Calf Perforators in Primary Varicose Veins: a Resistant Myth // *Phlebology*. 2016. P. 532–540. DOI 10.1177/0268355515610041.
19. Ludbrook J., Loughlin J. Regulation of Volume in Postarteriolar Vessels of the Lower limb // *Am Heart J*. 1964. No. 67 (4). P. 493–507. DOI 10.1016/0002-8703(64)90096-1.
20. Schmidt R. F., Thews G. Human Physiology. Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong: Springer-Verlag GmbH, 1989.
21. Caro C. G., Pedley T. J., Schroter R. C., Seed W. A., Parker K. H. The Mechanics of the Circulation, second edition. 2011.
22. Henriksen O, Sejrsen P. Local Reflex in Microcirculation in Human Skeletal Muscle // *Acta Physiol Scand*. 1977. No. 99 (1). P. 19–26. DOI 10.1111/j.1748-1716.1977.tb10347.x.
23. Skagen K., Bonde-Petersen F. Regulation of Subcutaneous Blood Flow during Head-up Tilt (45°) in Normal // *Acta Physiol Scand*. 1982. No. 14 (1). P. 31–35. DOI 10.1111/j.1748-1716.1982.tb06948.x.
24. Imadojemu V. A., Lott M. E., Gleeson K., Hogeman C. S., Ray C. A., Sinoway L. I. Contribution of Perfusion Pressure to Vascular Resistance Response during Head-up tilt // *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2001. No. 281 (1). P. H371–H375.
25. Sheriff D. D., Nadland I. H., Toska K. Hemodynamic Consequences of Rapid Changes in Posture in Humans // *J Appl Physiol*. 2007. No. 103 (2). P. 452–458. DOI 10.1152/jappphysiol.01190.2006.
26. Sheriff D. D., Nådland I. H., Toska K. Role of Sympathetic Responses on the Hemodynamic Consequences of Rapid Changes in Posture in Humans // *J Appl*
10. Navarro T. P., Delis K. T., Ribeiro A. P. Clinical and Hemodynamic Significance of the Greater Saphenous Vein Diameter in Chronic Venous Insufficiency // *Arch Surg*. 2002. No. 137. P. 1233–1237. DOI 10.1001/archsurg.137.11.1233.
11. Raju S., Ward M., Jones T. L. Quantifying Saphenous Reflux // *J Vasc Surg. Venous Lymphat Disord*. 2015. No. 3 (1). P. 8–17. DOI 10.1016/j.jvsv.2014.07.005.
12. Christopoulos D., Nicolaides A. N., Szendro G. Venous Reflux: Quantification and Correlation with the Clinical Severity of Chronic Venous Disease // *Br J Surg*. 1988. No. 75 (4). P. 352–356.
13. Christopoulos D. C., Nicolaides A. N., Belcaro G., Kalodiki E. Venous Hypertensive Microangiopathy in Relation to Clinical Severity and Effect of Elastic Compression // *J Dermatol Surg Oncol*. 1991. No. 17 (10). P. 809–813. DOI 10.1111/j.1524-4725.1991.tb03264.x.
14. Shiraishi Y. Relationship between Arterial Inflow Rate and Venous Filling Index of the Lower Extremities Assessed by Air Plethysmography in Subjects with or without Axial Reflux in the Great Saphenous Vein // *Ann Vasc Dis*. 2014. No. 7 (3). P. 306–311. DOI 10.3400/avd.oa.14-00028.
15. Bjordal R. I. Blood Circulation in Varicose Veins of the Lower Extremities // *Angiology*. 1972. No. 23 (3). P. 163–173. DOI 10.1177/000331977202300305.
16. Bjordal R. Flow and Pressure Studies in Venous Insufficiency // *Acta Chir Scand Suppl*. 1988. No. 544. P. 30–33.
17. Labropoulos N., Tassiopoulos A. K., Bhatti A. F., Leon L. Development of Reflux in the Perforator Veins in Limbs with Primary Venous Disease // *J Vasc Surg*. 2006. No. 43 (3). P. 558–562. DOI 10.1016/j.jvs.2005.11.046.
18. Recek C. Competent and Incompetent Calf Perforators in Primary Varicose Veins: a Resistant Myth // *Phlebology*. 2016. P. 532–540. DOI 10.1177/0268355515610041.
19. Ludbrook J., Loughlin J. Regulation of Volume in Postarteriolar Vessels of the Lower limb // *Am Heart J*. 1964. No. 67 (4). P. 493–507. DOI 10.1016/0002-8703(64)90096-1.
20. Schmidt R. F., Thews G. Human Physiology. Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong: Springer-Verlag GmbH, 1989.
21. Caro C. G., Pedley T. J., Schroter R. C., Seed W. A., Parker K. H. The Mechanics of the Circulation, second edition. 2011.
22. Henriksen O, Sejrsen P. Local Reflex in Microcirculation in Human Skeletal Muscle // *Acta Physiol Scand*. 1977. No. 99 (1). P. 19–26. DOI 10.1111/j.1748-1716.1977.tb10347.x.
23. Skagen K., Bonde-Petersen F. Regulation of Subcutaneous Blood Flow during Head-up Tilt (45°) in Normal // *Acta Physiol Scand*. 1982. No. 14 (1). P. 31–35. DOI 10.1111/j.1748-1716.1982.tb06948.x.
24. Imadojemu V. A., Lott M. E., Gleeson K., Hogeman C. S., Ray C. A., Sinoway L. I. Contribution of Perfusion Pressure to Vascular Resistance Response during Head-up tilt // *Am J Physiol Hear Circ Physiol*. 2001. No. 281 (1). P. H371–H375.
25. Sheriff D. D., Nadland I. H., Toska K. Hemodynamic Consequences of Rapid Changes in Posture in Humans // *J Appl Physiol*. 2007. No. 103 (2). P. 452–458. DOI 10.1152/jappphysiol.01190.2006.
26. Sheriff D. D., Nådland I. H., Toska K. Role of Sympathetic Responses on the Hemodynamic Consequences of Rapid Changes in Posture in Humans // *J Appl*

- Physiol 2010. No. 108 (3). P. 523–532. DOI 10.1152/japplphysiol.01185.2009.
27. Engelberger R. P., Keo H. H., Blaettler W., Fahrni J., Baumann F., Diehm N. et al. The Impact of Orthostatic Challenge on Arteriovenous Hemodynamics and Volume Changes of the Lower Extremity // J Vasc Surg Venous Lymphat Disord. 2018. No. 1 (3). P. 250–256. DOI 10.1016/j.jvsv.2012.12.001.
 28. Joyner M. J., Casey D. P. Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: A Hierarchy of Competing Physiological Needs // Physiol Rev 2015. No. 95 (2). P. 549–601. DOI 10.1152/physrev.00035.2013.
 29. Nadland I. H., Walloe L., Toska K. Effect of the Leg Muscle Pump on the Rise in Muscle Perfusion During Muscle Work in Humans // Eur J Appl Physiol. 2009. No. 105 (6). P. 829–841. DOI 10.1007/s00421-008-0965-6.
 30. Nielsen H. V., Staberg B., Nielsen K., Sejrsen P. Effects of Dynamic Leg Exercise on Subcutaneous Blood Flow Rate in the Lower Limb of Man // Acta Physiol Scand. 1988. No. 134 (4). P. 513–518. DOI 10.1111/j.1365-201X.1988.tb10629.x.
 31. Stooker W., Gök M., Sipkema P., Niessen H. W. M., Baidoshvili A., Westerhof N., et al. Pressure-Diameter Relationship in the Human Greater Saphenous Vein // Ann Thorac Surg. 2003. P. 1533–1538. DOI 10.1016/S0003-4975(03)00896-8.
 32. Katz A. I., Chen Y., Moreno A. H. Flow through a Collapsible Tube: Experimental Analysis and Mathematical Model // Biophys J. 1969. DOI 10.1016/S0006-3495(69)86451-9.
- Physiol 2010. No. 108 (3). P. 523–532. DOI 10.1152/japplphysiol.01185.2009.
 27. Engelberger R. P., Keo H. H., Blaettler W., Fahrni J., Baumann F., Diehm N. et al. The Impact of Orthostatic Challenge on Arteriovenous Hemodynamics and Volume Changes of the Lower Extremity // J Vasc Surg Venous Lymphat Disord. 2018. No. 1 (3). P. 250–256. DOI 10.1016/j.jvsv.2012.12.001.
 28. Joyner M. J., Casey D. P. Regulation of Increased Blood Flow (Hyperemia) to Muscles During Exercise: A Hierarchy of Competing Physiological Needs // Physiol Rev 2015. No. 95 (2). P. 549–601. DOI 10.1152/physrev.00035.2013.
 29. Nadland I. H., Walloe L., Toska K. Effect of the Leg Muscle Pump on the Rise in Muscle Perfusion During Muscle Work in Humans // Eur J Appl Physiol. 2009. No. 105 (6). P. 829–841. DOI 10.1007/s00421-008-0965-6.
 30. Nielsen H. V., Staberg B., Nielsen K., Sejrsen P. Effects of Dynamic Leg Exercise on Subcutaneous Blood Flow Rate in the Lower Limb of Man // Acta Physiol Scand. 1988. No. 134 (4). P. 513–518. DOI 10.1111/j.1365-201X.1988.tb10629.x.
 31. Stooker W., Gök M., Sipkema P., Niessen H. W. M., Baidoshvili A., Westerhof N., et al. Pressure-Diameter Relationship in the Human Greater Saphenous Vein // Ann Thorac Surg. 2003. P. 1533–1538. DOI 10.1016/S0003-4975(03)00896-8.
 32. Katz A. I., Chen Y., Moreno A. H. Flow through a Collapsible Tube: Experimental Analysis and Mathematical Model // Biophys J. 1969. DOI 10.1016/S0006-3495(69)86451-9.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Таурагинский Роман Александрович – сердечно-сосудистый хирург, флеболог, флебологический центр «Антирефлюкс», г. Сургут; e-mail: Rtaureg@mail.ru.

Лурье Федор – доктор философии, доктор медицины, ассоциированный директор Сосудистого института Джобста, г. Толедо, штат Огайо, США; профессор отдела сосудистой хирургии, Мичиганский университет, г. Энн-Арбор, штат Мичиган, США; e-mail: Fedor.Lurie@ProMedica.org.

Симаков Сергей Сергеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной физики, Московский физико-технический институт, г. Долгопрудный; e-mail: simakovss@ya.ru.

Борсук Денис Александрович – кандидат медицинских наук, сердечно-сосудистый хирург, флеболог, клиника флебологии и лазерной хирургии ООО «Васкулаб», г. Челябинск; e-mail: borsuk-angio@mail.ru.

Коваленко Людмила Васильевна – доктор медицинских наук, профессор, директор Медицинского института, Сургутский государственный университет; e-mail: medsurdirector@gmail.com.

Мазайшвили Константин Витальевич – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры хирургических болезней Медицинского института, Сургутский государственный университет; научный руководитель флебологического центра «Антирефлюкс», г. Сургут; e-mail: nmspl@mail.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Tauraginskii – Cardio-vascular Surgeon, Phlebologist, Phlebology Centre “Antireflux”, Surgut; e-mail: Rtaureg@mail.ru.

Fedor Lurie – MD, PhD, RPVI, RVT, FSVS, Associate Director, Jobst Vascular Institute, Toledo, OH, USA; Adjunct Research Professor, Division of Vascular Surgery, University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA; e-mail: Fedor.Lurie@ProMedica.org.

Sergei S. Simakov – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Department of Computational Physics, Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny; e-mail: simakovss@ya.ru.

Denis A. Borsuk – PhD (Medicine), Cardio-vascular Surgeon, Phlebologist, Clinic of Phlebology and Laser Surgery “Vasculab” Ltd., Chelyabinsk; e-mail: borsuk-angio@mail.ru.

Lyudmila V. Kovalenko – Doctor of Science (Medicine), Professor, Director, Medical Institute, Surgut State University; e-mail: medsurdirector@gmail.com.

Konstantin V. Mazayshvili – Doctor of Science (Medicine), Associate Professor, Professor, Surgical Diseases Department, Medical Institute, Surgut State University; Academic Supervisor, Phlebology Centre “Antireflux”, Surgut; e-mail: nmspl@mail.ru.