

Применение метода электромиостимуляции для профилактики венозных тромбоэмболических осложнений у раненых и пострадавших с сочетанной травмой нижних конечностей

К.Н. Николаев¹, Д.Р. Ивченко², А.В. Акимов¹, Е.А. Голубов¹, С.Н. Дворцовой¹, С.В. Чевычелов¹, Ю.Р. Алборов¹, Е.А. Кукушкина¹, В.Н. Смольянинов³

¹ ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

² Департамент медицинского обеспечения Федеральной службы войск Национальной гвардии РФ, Москва

³ ФГКУЗ «2 военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Пятигорск

Реферат

Актуальность. Раненые и пострадавшие с сочетанной травмой нижних конечностей относятся к группе очень высокого риска развития венозных тромбоэмболических осложнений (ВТЭО), и поэтому им показано проведение комплекса мероприятий по их профилактике. Риск развития геморрагических осложнений в I–III периоды травматической болезни сдерживает многих врачей от назначения препаратов антикоагулянтного действия. При наложенном на конечность аппарате внешней фиксации (АВФ) применение методов механического ускорения кровотока (эластические бинты, компрессионный трикотаж, перемежающаяся пневмокомпрессия) технически невозможно. **Цель** — оценить эффективность и безопасность применения метода электромиостимуляции (ЭМС) для профилактики ВТЭО у пациентов с сочетанной травмой при фиксации отломков костей нижних конечностей АВФ. **Материал и методы.** Проведен анализ результатов лечения 31 пострадавшего с сочетанной травмой нижних конечностей, у которых фиксация отломков костей осуществлялась с помощью АВФ. Все пострадавшие — мужчины, средний возраст — 29,3±5,1 лет. Пациенты методом стратификационной рандомизации были распределены на две группы, сопоставимые по полу, возрасту, массе тела и тяжести полученных повреждений: в основной группе ЭМС проводилась, в контрольной — нет. ЭМС проводилась с помощью прибора Veinoplus DVT по схеме: 60 мин. утром, днем и вечером. Ультразвуковое ангиосканирование сосудов (УЗАС) нижних конечностей выполнялось всем пострадавшим перед началом применения метода ЭМС и через каждые 7 дней в последующем, а также перед каждым оперативным вмешательством. Всем пациентам проводилась фармакопрофилактика ВТЭО низкомолекулярными гепаринами с последующим переходом на прием пероральных антикоагулянтов. **Результаты.** Побочных эффектов, связанных с применением метода ЭМС, а также геморрагических осложнений выявлено не было. Скорость кровотока в подколенной вене у пострадавших в основной группе, где применялась ЭМС, составила 9,7±0,7 см/сек. перед началом сеанса и 17,0±1,1 см/сек. во время проведения сеанса ($p<0,001$). У пациентов основной группы ВТЭО, по данным УЗАС, выявлено не было, в контрольной группе был диагностирован тромбоз глубоких вен у 2 (13,3%), ТЭЛА — у 1 (6,7%) пострадавшего. **Заключение.** Применение метода ЭМС показало отсутствие побочных эффектов и развития геморрагических осложнений. Эффективность ЭМС при применении у пострадавших с АВФ достигается за счет статистически значимого ($p<0,001$) увеличения объема потока крови через глубокие вены нижних конечностей. Дальнейшее изучение особенностей применения метода ЭМС у раненых и пострадавших с сочетанной травмой, разработка оптимальных схем его применения в зависимости от тяжести полученных повреждений позволит минимизировать вероятность развития у них ВТЭО.

Ключевые слова: электромиостимуляция, сочетанная травма, тромбоз, венозные тромбоэмболические осложнения, профилактика, аппарат внешней фиксации.

Николаев К.Н., Ивченко Д.Р., Акимов А.В., Голубов Е.А., Дворцовой С.Н., Чевычелов С.В., Алборов Ю.Р., Кукушкина Е.А., Смольянинов В.Н. Применение метода электромиостимуляции для профилактики венозных тромбоэмболических осложнений у раненых и пострадавших с сочетанной травмой нижних конечностей. Травматология и ортопедия России. 2020;26(1):127-137. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-127-137.

Cite as: Nikolaev K.N., Ivchenko D.R., Akimov A.V., Golubov E.A., Dvortsevov S.N., Chevychelov S.V., Alborov Yu.R., Kukushkina E.A., Smol'yaninov V.N. [Electric Muscle Stimulation for Prevention of Venous Thromboembolism in Patients with Multiple Lower Extremity Trauma]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(1):127-137. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-127-137. (In Russian).

✉ Николаев Константин Николаевич / Konstantin N. Nikolaev; e-mail: sabef@yandex.ru

Рукопись поступила/Received: 16.12.2019. Принята в печать/Accepted for publication: 05.02.2020.

Electric Muscle Stimulation for Prevention of Venous Thromboembolism in Patients with Multiple Lower Extremity Trauma

K.N. Nikolaev¹, D.R. Ivchenko², A.V. Akimov¹, E.A. Golubov¹, S.N. Dvortsevoy¹, S.V. Chevychelov¹, Yu.R. Alborov¹, E.A. Kukushkina¹, V.N. Smol'yaninov³

¹ Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

² Department of Medical Provision of the National Guard of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

³ 2nd Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Pyatigorsk, Russian Federation

Abstract

Relevance. Patients with multiple lower extremity trauma are the group of a very high risk for the development of venous thromboembolism. Therefore, they need a set of measures to prevent this complication. The risk of developing hemorrhagic complications in the I–III periods of traumatic disease prevents many physicians from prescribing anticoagulants. In addition, the application of the external fixation apparatus makes the use of mechanical blood flow acceleration (elastic bandages, compression knitwear, intermittent pneumatic compression) impossible. **The purpose of the study** is to evaluate the effectiveness and safety of electric muscle stimulation (EMS) for venous thromboembolism prevention in the patients with multiple trauma and the use of external fixation for the lower limb fractures. **Material and Methods.** The analysis of treatment results of 31 patients with multiple lower limb trauma with the use of external fixation was carried. All the patients were men with average age of 29.3±5.1 years. The patients were divided into two groups by stratified randomization. The groups were comparable by sex, age, body weight, and injury severity. The patients of main group received EMS, in control group — the authors did not use the mentioned treatment. The EMS was carried out using a Veinoplus DVT according to the scheme: 60 min morning, afternoon and evening. Vascular ultrasonography of the lower extremities was performed for all patients before EMS and then every 7 days, as well as before each surgery. All patients underwent venous thromboembolism prevention with low molecular weight heparins, followed by switching to oral anticoagulants. **Results.** Side effects associated with the use of the EMS, as well as hemorrhagic complications were not detected. The velocity of blood flow in the popliteal vein in the patients, received EMS, was 9.7 ± 0.7 cm/s before the session and 17.0±1.1 cm/s during the session ($p<0.001$). According to the vascular ultrasound, no venous thromboembolism was detected in the patients underwent the EMS. Deep vein thrombosis was diagnosed in the control group in 2 (13.3%) patients, and pulmonary embolism in 1 (6.7%). **Conclusion.** The use of EMS showed the absence of side effects and the development of hemorrhagic complications. The effectiveness of the EMS in the patients with external fixation was achieved due to a statistically significant ($p<0.001$) increase in the volumetric blood flow through the deep lower limb veins. The further study of the EMS in patients with multiple trauma, the development of optimal schemes for its use, depending on the severity of the injuries, will minimize the likelihood of developing venous thromboembolism in this category of patients.

Keywords: electric muscle stimulation, multiple trauma, thrombosis, venous thromboembolism prevention, external fixation apparatus.

Введение

Травма является ведущей причиной смерти и инвалидности в молодом возрасте, а венозные тромбозы являются основной причиной смерти госпитализированных травматологических больных [1]. Вынужденный постельный режим или даже иммобилизация одной конечности и выключение мышечной помпы икроножных мышц приводят к снижению частоты сердечных сокращений на 13% и замедлению венозного кровотока на 47% [2]. Развитие посттравматического отека, повреждение эндотелия сосудов и изменение реологических свойств крови вследствие замедления скорости кровотока наблюдаются

у подавляющего числа раненых и пострадавших с сочетанной травмой нижних конечностей и повышает риск венозных тромбозных осложнений (ВТЭО) [3].

Пострадавшие с переломами костей таза, бедра и голени относятся к группе очень высокого риска развития ВТЭО [4]. Частота ВТЭО в этой группе в зависимости от метода и адекватности проводимой профилактики достигает 16–40% [5]. Проведение комплексной профилактики при переломах бедренной кости позволяет уменьшить число венозных тромбозов на 28,1% [6].

В соответствии с Российскими клиническими рекомендациями по диагностике, лечению

и профилактике ВТЭО, в арсенале травматологов и хирургов имеются следующие механические средства для профилактики тромбообразования: эластичные бинты, компрессионный трикотаж, перемежающаяся пневмокомпрессия, электромиостимуляция мышц нижних конечностей (ЭМС), а также системы, обеспечивающие сгибательно-разгибательные движения в голеностопных суставах [7].

У пострадавших с сочетанной травмой, в том числе с огнестрельными переломами длинных костей конечностей, в большинстве случаев фиксация отломков производится с помощью аппаратов внешней фиксации (АВФ) [8]. Несмотря на имеющиеся рекомендации по профилактике ВТЭО в травматологии и ортопедии [9], риск развития геморрагических осложнений сдерживает многих врачей от назначения раненым и пострадавшим препаратов антикоагулянтного действия. При наличии внешних металлических конструкций наложение эластичных бинтов, манжет для пневмокомпрессии или применение компрессионного трикотажа технически выполнить невозможно, поэтому, при наличии риска развития геморрагических осложнений, единственным методом профилактики ВТЭО у таких пострадавших является усиление венозного кровотока с помощью метода ЭМС. У некоторых пациентов АВФ находятся на поврежденных конечностях длительное время, иногда более года, что требует проведения комплексной пролонгированной профилактики ВТЭО в течение всего времени наличия факторов риска их развития.

Не до конца решенным вопросом является организация выполнения ультразвукового ангиосканирования (УЗАС) сосудов нижних конечностей у пострадавших с сочетанной травмой перед назначением профилактики ВТЭО, так как большинство врачей ультразвуковой диагностики на этапах эвакуации не имеют достаточного практического опыта проведения исследования у таких пациентов, а высокая нагрузка на врача позволяет выполнить исследование только у 25% нуждающихся [10].

Цель — оценить эффективность и безопасность применения метода ЭМС для профилактики ВТЭО у пациентов с сочетанной травмой при фиксации отломков костей нижних конечностей аппаратами внешней фиксации.

Материал и методы

Дизайн исследования: двухцентровое проспективное рандомизированное.

Пациенты

Проведен анализ результатов лечения 31 пострадавшего с сочетанной травмой нижних конечностей, получивших ранения и повреждения

при выполнении служебно-боевых задач и находившихся на лечении в ГВКГ войск национальной гвардии и 2 ВКГ войск национальной гвардии в период с 2017 по 2019 г. Все пострадавшие — мужчины, регулярно проходившие углубленное медицинское обследование и признанные годными по состоянию здоровья к прохождению военной службы по контракту. Средний возраст пациентов составил $29,3 \pm 5,1$ лет. В случаях, когда после получения ранения (травмы) пациенты сразу направлялись в госпиталь, время их транспортировки с места происшествия составляло от 30 мин. до 10 ч., и в этот период антикоагулянтная терапия не проводилась. При эвакуации пострадавших в госпиталь из других лечебных учреждений средний срок проведенного в них стационарного лечения составлял в среднем $7,5 \pm 1,2$ сут. В переводных эпикризах данных о проводимой антикоагулянтной терапии не было, выполненные при поступлении коагулограммы показывали состояние гиперкоагуляции различной степени выраженности.

Критерии включения в исследование: наличие сочетанной травмы с переломом одной или нескольких длинных костей нижних конечностей и наложенного АВФ.

Критерии исключения: количество баллов по шкале VSIDS (Venous Segmental Disease Score) ≥ 1 и наличие показаний к назначению лечебных дозировок антикоагулянтов. Шкала VSIDS представлена в таблице 1.

Таблица 1

Оценочная шкала VSIDS [11]

№	Обструкция	Баллы
1.	Большая подкожная вена (если тромбирована от паха до уровня ниже коленного сустава)	1
2.	Суральные вены	1
3.	Подколенная вена	2
4.	Поверхностная бедренная вена	1
5.	Глубокая вена бедра	1
6.	Общая бедренная вена	2
7.	Подвздошная вена	1
8.	Нижняя полая вена	1
	Максимальное число баллов	10

Обструкция — полная окклюзия в каком-то месте сегмента или сужение по крайней мере половины сегмента ($>50\%$). Большинство сегментов присваивается один балл, но некоторые сегменты оцениваются выше в соответствии с их значимостью.

В зависимости от проведения ЭМС все пострадавшие методом стратификационной рандомизации были распределены на две группы, сопоставимые на основании гипотезы об однородности, рассчитанной с использованием критериев Лемана — Розеблатта и Смирнова, по полу,

возрасту, массе тела и тяжести полученных повреждений: в основной группе ЭМС проводилась, в контрольной — нет (табл. 2). Блок-схема дизайна исследования представлена на рисунке 1.

Характеристика повреждений костей нижних конечностей представлена в таблице 3.

Таблица 2

Характеристика пациентов и контрольной группы

Признак	Основная группа (ЭМС проводилась)	Контрольная группа (ЭМС не проводилась)
Число пострадавших	16 (51,6%)	15 (48,4%)
Возраст, лет	28,1±3,9	30,3±5,7
Масса тела, кг	84,5±5,1	79,9±4,3
Тяжесть повреждений по шкале ВПХ-П (МП) [12]	6,2±0,7	6,7±0,5
Тяжесть повреждений по шкале ISS [13]	22,3±3,9	23,9±2,7

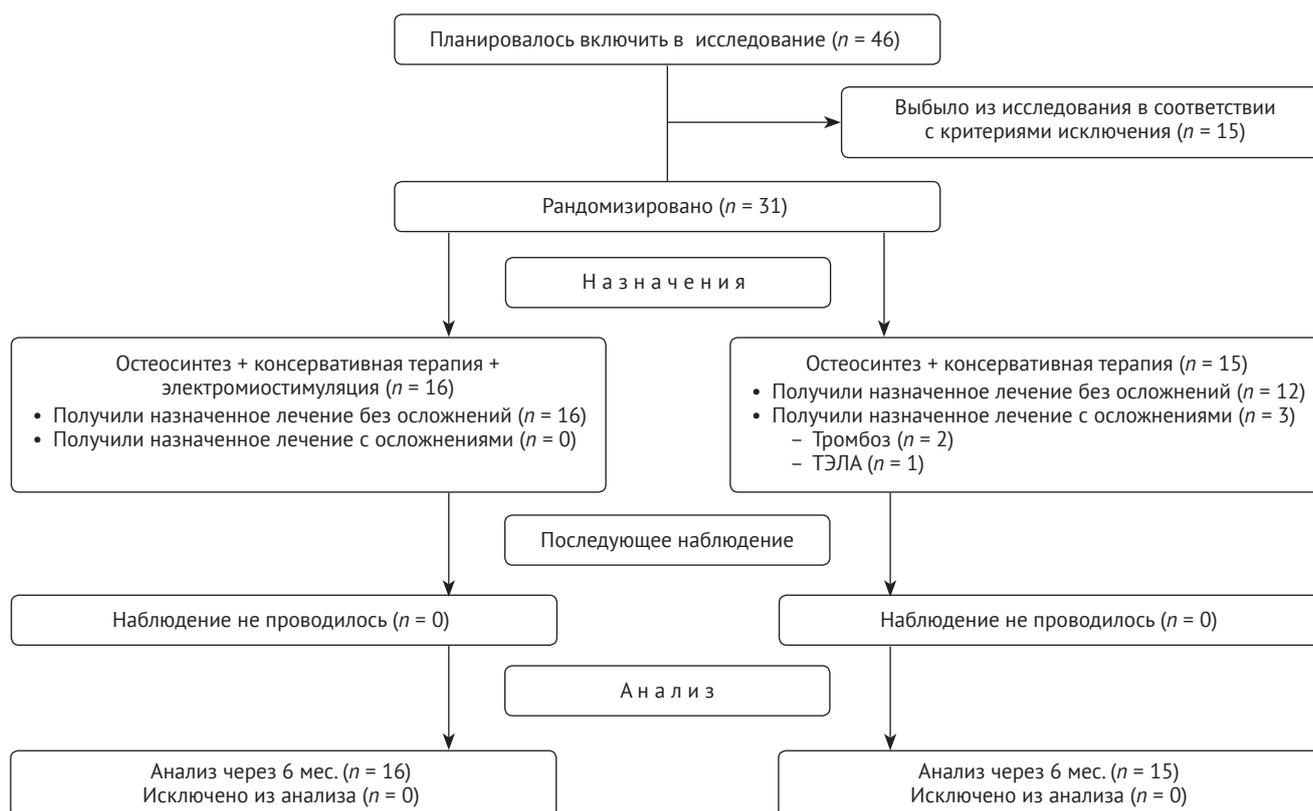


Рис. 1. Блок-схема дизайна исследования

Fig. 1. Study design flowchart

Характеристика повреждений костей нижних конечностей

Вид	Локализация	Основная группа		Контрольная группа		Всего	
		n	%	n	%	n	%
Огнестрельный перелом	Бедренная кость	2	6,5	1	3,2	3	9,7
	Большеберцовая кость	5	16,1	4	12,9	9	29
Открытый перелом	Бедренная кость	2	6,45	2	6,45	4	12,9
	Большеберцовая кость	7	22,6	8	25,8	15	48,4
Всего		16	51,6	15	48,4	31	100

Техника оперативного вмешательства и ЭМС

После стабилизации перелома в АВФ 29 (93,6%) пострадавшим был выполнен интрамедуллярный или накостный остеосинтез, 2 пациента (6,4%) завершили лечение в АВФ. Число оперативных вмешательств у пострадавших обеих групп статистически значимо не отличалось и составило 1–2 вмешательства на нижних конечностях и 1–2 вмешательства на других частях тела. Срок госпитализации составил в среднем $35,3 \pm 7,1$ дней для пациентов основной и $36,1 \pm 6,3$ – контрольной групп. Дальнейшее наблюдение за пациентами обеих групп проводилось врачом по месту прохождения военной службы в течение полугода после выписки из стационара.

ЭМС проводилась с помощью прибора Veinoplus DVT. С целью равномерного распределения нагрузки на мышцы голени в течение суток процедура выполнялась по схеме: 60 мин. утром, днем и вечером, общей продолжительностью 180 мин. в сутки. Наличие у электродов прибора липкой фиксирующей поверхности позволяло их надежно закрепить в проекции мышц по задней поверхности голени (рис. 2).

При назначении постельного режима накладывали по одному электроду на одну голень, а после вертикализации пострадавшего в случае отсутствия повреждений одной из нижних конечностей оба электрода накладывались на повре-

жденную голень. Силу электрического импульса пациент определял самостоятельно путем нажатия кнопок «+» и «-» до появления ощущения легкого покалывания в области электродов. Длительность применения метода ЭМС определялась наличием факторов риска развития ВТЭО и составила в среднем $35,3 \pm 7,1$ дней.

Технической особенностью прибора для ЭМС Veinoplus DVT является работа от одной батарейки, что делает возможным его применение в полевых условиях, при выполнении служебно-боевых задач, а также при эвакуации раненых и пострадавших.

Перед началом применения ЭМС с целью подтверждения проходимости поверхностных и глубоких вен нижних конечностей, а также выявления возможных тромботических осложнений выполнялось УЗАС сосудов нижних конечностей с помощью портативного ультразвукового сканера MicroMaxx SonoSite с линейным датчиком частотой 10–5 МГц, которое затем проводилось 1 раз в 7 дней для оценки динамики происходящих в венозном русле изменений и измерения скорости кровотока. Также УЗАС выполнялось перед каждым оперативным вмешательством.

В связи с тем, что металлоконструкция АВФ затрудняла доступ к типичным точкам визуализации сосудов нижних конечностей, были разработаны и успешно апробированы технические приемы, позволяющие осмотреть все необходимые зоны (рис. 3).



Рис. 2. Способ крепления электродов
Fig. 2. Electrodes attachment method



Рис. 3. Технические приемы, применяемые при УЗАС сосудов нижних конечностей у пострадавшего с АВФ

Fig. 3. Vascular ultrasound techniques in the patient with lower limb external fixation

В некоторых случаях врачу ультразвуковой диагностики требовалась помощь лечащего врача.

Измерение маллеолярного периметра обеих голени проводили с помощью сантиметровой ленты на 7 см выше медиальных лодыжек. При выявлении расхождения результатов более 2 мм (т.е. не связанного с погрешностью при проведении измерения [14]) выполняли УЗАС сосудов нижних конечностей.

Всем пострадавшим обеих групп проводилась фармакопрофилактика ВТЭО низкомолекулярными гепаринами с последующим переходом на прием пероральных антикоагулянтов (ривароксабан) в рекомендованных дозировках [7, 9]. При выявлении тромботического процесса применяли лечебные дозы антикоагулянтов. Двоим пациентам контрольной группы по показаниям было выполнено исследование на наличие генетической патологии в компонентах системы гемостаза: II, V, VII факторов свертывания крови, фибриногена, PAI-1, агрегационных факторов GP1BA, ITGB3, JAK2, SELPLG.

При проведении исследования обращали внимание на появление побочных эффектов во время ЭМС — поражения кожи вследствие воздействия электрического тока в местах наложения электродов и в местах соприкосновения деталей АВФ с кожей. Для оценки степени тяжести геморрагических осложнений использовали критерии, рекомендованные комитетом по науке и стандартизации Международного общества по тромбозу и гемостазу [15].

Оценка результатов

Оценка полученных результатов проводилась путем сравнения зарегистрированных показателей скорости венозного кровотока у пострадавших основной и контрольной групп с использованием методов статистического анализа.

Статистический анализ

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью пакета обработки данных программы Excel 2016 (Microsoft, USA) и программы Statistica 7.0 (StatSoft, USA). Результаты представлены в виде медианы (Me) и межквартильного интервала (25–75% МКИ). Сопоставление количественных признаков между группами сравнения было рассчитано с помощью U-критерия Манна—Уитни. Различия показателей между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

Наложение электродов на заднюю поверхность голени при наличии АВФ не вызывало технических трудностей. Побочных эффектов, связанных с контактом электродов и деталей АВФ, выявлено не было. Результаты измерения исследуемых показателей у пострадавших обеих групп представлены в таблицах 4, 5.

Анализ полученных результатов показал статистически значимое увеличение скорости кровотока в подколенной вене во время проведения ЭМС у пострадавших основной группы ($p < 0,001$) по сравнению со скоростью кровотока перед началом сеанса ЭМС на всех этапах наблюдения. Также было установлено, что до проведения ЭМС, по данным УЗАС, венозные синусы мышц голени не визуализировались, у всех пострадавших были выявлены признаки отека мягких тканей. Кровоток в венозных синусах четко регистрировался на малых скоростях через 9,1±3,7 дней после начала ЭМС. У одного пациента при УЗАС была выявлена организовывавшаяся межмышечная гематома, оказывавшая компрессионное воздействие на прилежащие к ней ткани.

Среди пострадавших основной группы ВТЭО, по данным УЗАС, выявлены не были. У 2 (13,3%) пострадавших контрольной группы был выявлен ТГВ голени на стороне повреждения, у одного из них сегментарная ТЭЛА развилась на 10-е сут. после получения травмы (рис. 4).

Таблица 4

Маллеолярный периметр, см

Время исследования	Основная группа	Контрольная группа
До начала исследования (при поступлении)	24,2±0,5	25,2±0,5
После окончания исследования (перед выпиской)	23,8±0,3	24,5±0,3

Таблица 5

Результаты измерения скорости кровотока в подколенной вене у пострадавших основной группы, см/сек.

Время измерения	1-е сут.		7-е сут.		14-е сут.		21-е сут.	
	Me	МКИ	Me	МКИ	Me	МКИ	Me	МКИ
Перед началом сеанса ЭМС	9,7	9,6–9,9	9,8	9,6–10,0	9,8	9,6–9,9	9,9	9,7–10,1
Во время сеанса ЭМС	17	16,8–17,2	17,1	16,9–17,3	17,1	16,9–17,3	17,2	17,0–17,4
Через 15 мин. после сеанса ЭМС	12,1	11,9–12,3	12,2	12,0–12,4	12,2	12,0–12,4	12,3	12,1–12,5

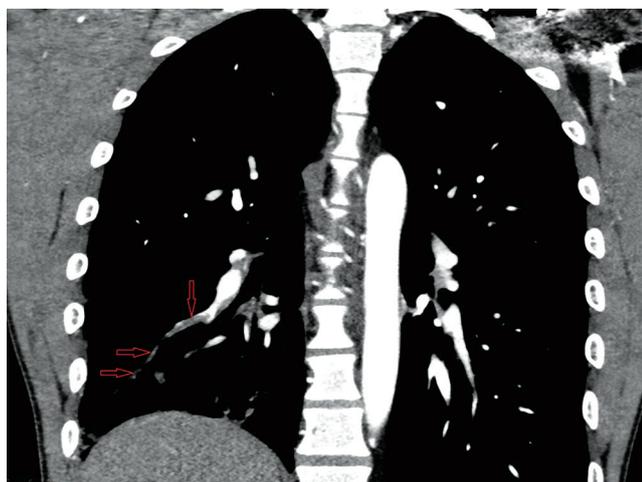


Рис. 4. КТ-признаки ТЭЛА сегментарных ветвей правой легочной артерии — неокклюзирующий тромбоз S8 и S9 сегментарных ветвей правой легочной артерии. Тромбы указаны стрелками
Fig. 4. CT signs of pulmonary embolism in segmental branches of the right pulmonary artery — non-occlusive thrombosis of S8 and S9 segmental branches of the right pulmonary artery. The blood clots indicated by arrows

Контроль показателей свертываемости крови при применении рекомендованных производителями лечебных дозировок антикоагулянтов у 2 пострадавших с ТГВ выявил незначительное повышение международного нормализованного отношения до 1,3 и активированного частичного тромбопластинового времени — до 44 сек., не достигающих целевых значений [7]. Повышение доз препаратов антикоагулянтного действия у этих

пациентов не проводилось в связи с высоким риском развития геморрагических осложнений.

Результаты исследования врожденных тромбофилий у этих пациентов выявили мутацию в гене фибриногена (FGB 455 G>A), повышающую концентрацию фибриногена в плазме крови, у одного больного. У другого выявили гомозиготную мутацию PAI-1, снижающую уровень фибринолитической активности, а также мутацию тромбоцитарного рецептора фибриногена (L33P, T>C), повышающую агрегационную способность тромбоцитов.

Субъективная оценка цвета кожных покровов голени на стороне повреждения у пострадавших основной группы установила его изменение с бледного до розового на 11,3±0,7 сут.

Наблюдение за пациентами в течение полугода после выписки из стационара показало отсутствие тромботических осложнений.

Обсуждение

ЭМС является относительно молодым методом профилактики ВТЭО. Хронологические аспекты разработки и внедрения метода ЭМС подробно описаны В.Ю. Богачевым с соавторами [16]. Доказана эффективность применения ЭМС для ускорения венозного кровотока [17], при комплексном лечении посттромботической болезни, хронической венозной и артериальной недостаточности, трофических язв [12, 18, 19], для снижения количества ВТЭО у пациентов хирургического и травматологического профиля в послеоперационном периоде [20, 21, 22], при лечении изолированных переломов костей голени [1], а также для профилактики послеоперационной атрофии мышц [23].

Поиск публикаций, посвященных применению метода ЭМС при сочетанной травме, в базе данных PubMed с 2000 по 2019 г. по ключевым словам «electromuscular stimulation» и «electrical muscle stimulation» выявил 247 работ, но ни одна из них не была посвящена профилактике ВТЭО после сочетанной травмы. Также отсутствуют метаанализы по изучаемому вопросу. Поиск в базе данных eLIBRARY показал, что вопросу профилактики ВТЭО с применением ЭМС у хирургических больных в научной литературе уделяется большее внимание [24, 25], несмотря на то, что у пострадавших травматологического профиля во многих случаях имеется более высокий риск их развития. Единственное исследование, проведенное у пациентов травматологического профиля, которое нам удалось найти, посвящено применению ЭМС при изолированной травме голени [1].

Большинство исследователей считают целесообразным применение механических методов (компрессионного трикотажа и перемежающейся пневмокомпрессии) для профилактики ВТЭО. Однако данные об изменении скорости кровотока при их применении приводятся лишь в нескольких работах. R. Jamieson с соавторами установили, что скорость кровотока в общей бедренной вене в покое составляла 10 см/сек., а через 30 мин. после снятия компрессионных чулок с силой компрессии 18 мм рт. ст. — 13,9 см/сек. [26]. При применении метода перемежающейся пневмокомпрессии скорость кровотока увеличивается в 2,5–3,0 раза: с 12 см/сек. до 33–68 см/сек. в зависимости от модели используемого прибора, однако такие высокие показатели приводили к изменению и других характеристик кровотока [27].

Э.В. Аленчева с соавторами установили, что частота повреждения кожных покровов в виде гиперемии, трофических нарушений и сухих некрозов при применении компрессионного трикотажа и перемежающейся пневмокомпрессии достигает 5,9% [28]. В нашем исследовании при применении ЭМС таких побочных эффектов не было выявлено.

Организация эффективной профилактики ВТЭО у пострадавших с сочетанной травмой требует согласованных действий и взаимопонимания реаниматологов, травматологов, сосудистых хирургов и врачей ультразвуковой диагностики всех стационаров, где проводится лечение, а также преемственности в проведении профилактических и лечебных мероприятий. В результате нашего исследования была не только установлена эффективность ЭМС для профилактики ВТЭО у пострадавших с сочетанной травмой нижних конечностей, но и выявлены важные практические и организационные особенности выполнения УЗАС этой категории пациентов. Так, серьезными орга-

низационными вопросами, затрудняющими выполнение исследования, явились необходимость транспортировки пострадавшего в кабинет УЗИ, находящийся в соседнем корпусе (при отсутствии возможности использования портативного сканера), и связанная с этим опасность миграции тромботических масс при перекладывании пациента, а также необходимость выделения врачу ультразвуковой диагностики времени для проведения внепланового исследования.

Необходимо отметить, что некоторым пострадавшим после сочетанной травмы нижних конечностей было показано выполнение плановых ортопедических вмешательств на крупных суставах. Учитывая, что вопрос о выборе оптимальной схемы профилактики ВТЭО, минимизирующей риск возникновения геморрагических осложнений, некоторые авторы считают дискуссионным [29], целесообразно рассмотрение вопроса о возможности продления сроков применения ЭМС у таких пациентов до завершения ортопедического этапа лечения.

При использовании ЭМС в стационарных условиях, особенно у пациентов с длительным постельным режимом, в некоторых случаях возникали затруднения, связанные с поиском и заменой источника питания. Появление модификации прибора для ЭМС с питанием от электрической сети позволило бы исключить возможность пропуска запланированных процедур, связанных с заменой элементов питания.

Ограничения исследования:

1) относительно небольшое число наблюдений, обусловленное снижением интенсивности и количества служебно-боевых задач, связанных с риском получения ранения (повреждения) и, как следствие, уменьшение числа раненых (пострадавших), соответствующих критериям включения в исследование;

2) госпитали, в которых проводилось исследование, не работают в системе ОМС;

3) исследование на наследственные тромбофилии проводилось только пострадавшим с диагностированным ТГВ нижних конечностей.

Применение метода ЭМС показало отсутствие побочных эффектов и развития геморрагических осложнений. Эффективность ЭМС у пострадавших с АВФ достигается за счет статистически значимого ($p < 0,001$) увеличения объемного потока крови через глубокие вены нижних конечностей. Дальнейшее изучение особенностей применения метода ЭМС у раненых и пострадавших с сочетанной травмой, разработка оптимальных схем его применения в зависимости от тяжести полученных повреждений позволят минимизировать вероятность развития у них ВТЭО.

Благодарность

Авторы благодарят начальника травматологического отделения ГВКГ войск национальной гвардии Катаргина Н.Г., врачей-травматологов Алаторцева А.В. и Голобурдина Д.Ю. за помощь в подготовке статьи.

Этика публикации

Пациенты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Исследование получило одобрение локального этического комитета.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Литература [References]

- Оболенский В.Н., Карпенко А.В. Непрямая электроимпульсная миостимуляция и ее значение в лечении больных с переломами костей голени. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015;(4):21-25.
Obolensky V.N., Karpenko A.V. [Indirect electropulse myostimulation and its significance in the treatment of patients with fractures of the shin bone]. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2015;(4): 21-25. (In Russian).
- Broderick B.J., O'Briain D.E., Breen P.P., Kearns S.R., O'laighin G. A pilot evaluation of a neuromuscular electrical stimulation (NMES) based methodology for the prevention of venous stasis during bed rest. *Med Eng Phys*. 2010;32(4):349-355. doi: 10.1016/j.medengphy.2010.01.006.
- Нечаев Э.А., Грицанов А.И., Фомин Н.Ф., Миннулин И.П. Минно-взрывная травма. Гл. 5. СПб.: Альд; 1994. с. 184-212.
Nechaev E.A., Gritsanov A.I., Fomin N.F., Minnulin I.P. [Mino-explosive injury]. St. Petersburg: Ald; 1994. Ch. 5. p. 184-212. (In Russian).
- Стойко Ю.М., Замятин М.Н. Специфическая профилактика тромбозных осложнений у пациентов с высоким и очень высоким риском. *Трудный пациент*. 2007;5(6-7):35-38.
Stoiko Yu.M., Zamyatin M.N. [Specific prevention of thromboembolic complications in patients with high and very high risk]. *Trudnyy patsient* [Difficult Patient]. 2007;6-7(5):35-38. (In Russian).
- Дулаев А.К., Цед А.Н., Джусоев И.Г. Опыт применения прямых пероральных антикоагулянтов после интрамедуллярного остеосинтеза при переломах бедренной и большеберцовой костей в условиях травматологического стационара. *Травматология и ортопедия России*. 2014;(4):99-103.
Dulaev A.K., Tsed A.N., Dzhusoev I.G. [Use of oral anticoagulants after intramedullary nailing of femur and tibial fractures in trauma department]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2014;(4):99-103. (In Russian).
- Зубрицкий В.Ф., Колтович А.П., Николаев К.Н., Капустин С.И., Дворцовой С.Н., Варданян А.В., Бородин И.А. Профилактика венозных тромбозных осложнений у раненых с огнестрельными переломами бедренной кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015;(3):60-65.
Zubritsky V.F., Koltovich A.P., Nikolaev K.N., Kapustin S.I., Dvortsevoj S.N., Vardanyan A.V., Borodin I.A. [Prevention of venous thromboembolic complications in the wounded with gunshot fractures of the femur]. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2015;(3):60-65. (In Russian).
- Российские клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике венозных тромбозных осложнений. *Флебология*. 2015;(4-2):2-52. [Russian clinical recommendations for diagnosis, treatment and prevention of venous thromboembolic events]. *Flebologiya* [Phlebology]. 2015;(4-2):2-52. (In Russian).
- Шаповалов В.М., Хоминец В.В. Особенности применения внешнего и последовательного остеосинтеза у раненых с огнестрельными переломами длинных костей конечностей. *Травматология и ортопедия России*. 2010;(1):7-13.
Shapovalov V.M., Khominets V.V. [Features of using external and sequential osteosynthesis in casualties with gunshot fractures of long bones]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2010;(1):7-13. (In Russian).
- Профилактика венозных тромбозных осложнений в травматологии и ортопедии. Российские клинические рекомендации. *Травматология и ортопедия России*. 2012;(1, приложение):2-24. [Prevention of venous thromboembolic complications in traumatology and orthopedics. Russian clinical guidelines, ed. Mironov S.P., Kirienko A.I., Skoroglyadov A.V.]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2012;(1, Suppl.):2-24. (In Russian).
- Петров А.Н., Борисов М.Б., Денисенко В.В., Ганин Е.В., Семенов Е.А., Коскин В.С., Самохвалов И.М. Профилактика острых тромбозных осложнений у пострадавших с многоэтапным хирургическим лечением сочетанной скелетной травмы. *Скорая медицинская помощь*. 2016;17(2):42-48.
Petrov A.N., Borisov M.B., Denisenko V.V., Ganin E.V., Semenov E.A., Koskin V.S., Samokhvalov I.M. [Prevention of acute thromboembolic events in patients with multistage surgical treatment was combined skeletal trauma]. *Skoraya meditsinskaya pomoshch'* [Emergency medical care]. 2016;17(2):42-48. (In Russian).
- Rutherford R.B., Padberg F.T., Comerota A.J., Kistner R.L., Meissner M.H., Moneta G.L. Venous severity scoring: An adjunct to venous outcome assessment. *J Vasc Surg*. 2000;31:1307-1312. doi: 10.1067/mva.2000.107094.
- Самохвалов И.М., Бадалов В.И., Суворов В.В. Медицинская сортировка раненых и объективная оценка тяжести травмы. Режим доступа: http://www.vmeda.org/docfiles/ukazaniya_po_vph_2013.pdf.
Samokhvalov I.M., Badalov V.I., Suvorov V.V. [Medical sorting of the wounded and objective assessment of the injury severity]. Available from: http://www.vmeda.org/docfiles/ukazaniya_po_vph_2013.pdf. (In Russian).
- Copes W.S., Champion H.R., Sacco W.J., Lawnick M.M., Keast S.L., Bain L.W. The Injury Severity Score revisited. *J Trauma*. 1988;28(1):69-77. doi: 10.1097/00005373-198801000-00010.

14. Рыжкин В.В., Лобастов К.В., Воронцова А.В., Счастливцев И.В., Баринов В.Е., Наумов Е.К., Лаберко Л.А. Клиническая эффективность электрической стимуляции мышц голени в комплексном лечении посттромботической болезни. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2017;23(3):73-81. Ryzhkin V.V., Lobastov K.V., Vorontsova A.V., Schastlivtsev I.V., Barinov V.E., Naumov E.K., Laberko L.A. [Clinical efficacy of electric stimulation of crural muscles in comprehensive treatment of post-thrombotic disease]. *Angiologia i sosudistaya chirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2017;3(23):73-81. (In Russian).
15. Schulman S., Angerås U., Bergqvist D., Eriksson B., Lassen M.R., Fisher W. Definition of major bleeding in clinical investigations of antihemostatic medicinal products in surgical patients. *J Thromb Haemost*. 2010;8(1):202-204. doi: 10.1111/j.1538-7836.2009.03678.x.
16. Богачев В.Ю., Голованова О.В., Кузнецов А.Н., Шекоян А.О. Электростимуляция — новый метод лечения хронической венозной недостаточности нижних конечностей. *Флебология*. 2010;4(1):22-27. Bogachev V.Yu., Golovanova O.V., Kuznetsov A.N., Shekoian A.O. [Electromuscular stimulation: a new method for the treatment of chronic venous insufficiency in the lower extremities]. *Flebologiya* [Phlebology]. 2010;4(1):22-27. (In Russian).
17. Griffin M., Nicolaidis A.N., Bond D., Geroulakos G., Kalodiki E. The efficacy of a new stimulation technology to increase venous flow and prevent venous stasis. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2010;40(6):766-771. doi: 10.1016/j.ejvs.2010.06.019.
18. Bogachev V.Yu., Golovanova O.V., Kuznetsov A.N., Shekoyan A.O., Bogacheva N.V. Electromuscular stimulation with VEINPLUS® for the treatment of chronic venous edema. *Int Angiol*. 2011;30(6):567-590.
19. Abraham P., Mateus V., Bieuzen F., Ouedraogo N., Cisse F., Leftheriotis G. Calf muscle stimulation with the Veinoplus device results in a significant increase in lower limb inflow without generating limb ischemia or pain in patients with peripheral artery disease. *J Vasc Surg*. 2013;57(3):714-719. doi: 10.1016/j.jvs.2012.08.117.
20. Czynny J.J., Kaplan R.E., Wilding G.E., Purdy C.H., Hirsh J. Electrical foot stimulation: a potential new method of deep venous thrombosis prophylaxis. *Vascular*. 2010;18(1):20-27.
21. Broderick B.J., Breathnach O., Condon F., Masterson E., O'Leighin G. Haemodynamic performance of neuromuscular electrical stimulation (NMES) during recovery from total hip arthroplasty. *J Orthop Surg Res*. 2013;8:3. doi: 10.1186/1749-799X-8-3.
22. Lobastov K., Barinov V., Laberko L., Obolensky V., Boyarintsev V., Rodoman G. Electrical calf muscle stimulation with Veinoplus device in postoperative venous thromboembolism prevention. *Int Angiol*. 2014;33(1):42-49.
23. Hasegawa S., Kobayashi M., Arai R., Tamaki A., Nakamura T., Moritani T. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol*. 2011;21(4):622-630. doi: 10.1016/j.jelekin.2011.01.005.
24. Лобастов К.В., Бармотин Н.А., Баринов В.Е., Оболенский В.Н., Асратян С.А., Лаберко Л.А., Бояринцев В.В. Гемодинамическая и клиническая эффективность электро-мышечной стимуляции венозного оттока в профилактике послеоперационных венозных тромбозных осложнений. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2013;19(2):84-91. Lobastov K.V., Barmotin N.A., Barinov V.E., Obolensky V.N., Asratyan S.A., Laberko L.A., Boyarintsev V.V. [Haemodynamic and clinical efficacy of electric muscular stimulation of the venous outflow in prevention of postoperative venous thromboembolic complications]. *Angiologia i sosudistaya chirurgiya* [Angiology and Vascular Surgery]. 2013;19(2):84-91. (In Russian).
25. Ахтямов И.Ф., Колесников М.А., Шигаев Е.С., Зиатдинов Б.Г., Гатина Э.Б., Короткова О.С. Первый опыт сочетанной тромбопрофилактики при артропластике нижних конечностей: перспективы и варианты использования. *Травматология и ортопедия России*. 2012;(1):98-103. doi: 10.21823/2311-2905-2012-0-1-118-123. Akhtyamov I.F., Kolesnikov M.A., Shigaev E.S., Ziatdinov B.G., Gatina E.B., Korotkova O.S. [A primary test of combined thromboprophylaxis at lower extremities arthroplasty: aspects and variants of usage]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2012;(1):98-103. doi: 10.21823/2311-2905-2012-0-1-118-123. (In Russian).
26. Jamieson R., Calderwood C.J., Greer I.A. The effect of graduated compression stockings on blood velocity in the deep venous system of the lower limb in the postnatal period. *BJOG*. 2007;114(10):1292-1294. doi: 10.1111/j.1471-0528.2007.01421.x.
27. Griffin M., Kakkos S.K., Geroulakos G., Nicolaidis A.N. Comparison of three intermittent pneumatic compression systems in patients with varicose veins: a hemodynamic study. *Int Angiol*. 2007;26(2):158-164.
28. Аленчева Э.В., Лобастов К.В., Баринов В.Е., Брехов В.И., Журавлев С.В. Интермиттирующая пневматическая компрессия в составе комплексной профилактики послеоперационных венозных тромбозных осложнений у хирургических пациентов с чрезвычайно высоким риском их возникновения. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2018;1(2):121-130. Alencheva E.V., Lobastov K.V., Barinov V.E., Brekhov V.I., Zhuravlev S.V. [Intermittent pneumatic compression in combined prophylaxis of postoperative venous thromboembolism in high-risk patients]. *Kremlevskaya medicina. Klinicheskij vestnik* [The Kremlin medicine. Clinical Bulletin]. 2018;1(2):121-130. (In Russian).
29. Касимова А.Р., Божкова С.А., Тихилов Р.М., Сараев А.В., Петухов А.И., Журавков А.А., Арефьева А.Н. Влияние фармакологической тромбопрофилактики, турникета и дренирования на геморрагические осложнения в ранние сроки после эндопротезирования коленного сустава: предварительные результаты. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(3):70-80. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-70-80. Kasimova A.R., Bozhkova S.A., Tikhilov R.M., Saraev A.V., Petukhov A.I., Zhuravkov A.A., Arefyeva A.N. [The effect of pharmacological thromboprophylaxis, tourniquet and drainage on hemorrhagic complications in the early stage after knee arthroplasty: preliminary results]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2019;25(3):70-80. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-70-80. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Николаев Константин Николаевич — канд. мед. наук, помощник начальника госпиталя по научно-методической работе, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Ивченко Дмитрий Романович — канд. мед. наук, главный хирург, Департамент медицинского обеспечения Федеральной службы войск Национальной гвардии РФ, Москва

Акимов Андрей Вячеславович — начальник отделения сосудистой хирургии, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Голубов Евгений Александрович — начальник отделения сердечно-сосудистой хирургии, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Дворцевой Сергей Николаевич — канд. мед. наук, начальник отделения ультразвуковой диагностики, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Чевычелов Сергей Владимирович — старший врач ультразвуковой диагностики, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Алборов Юрий Роландович — врач сердечно-сосудистый хирург, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Кукушкина Елена Анатольевна — канд. мед. наук, начальник рентгеновского отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии, ФГКУЗ «Главный военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Балашиха

Смолянинов Виталий Николаевич — начальник общехирургического отделения – ведущий хирург, ФГКУЗ «2 военный клинический госпиталь войск Национальной гвардии РФ», г. Пятигорск

AUTHORS' INFORMATION:

Konstantin N. Nikolaev — Cand. Sci. (Med.), Assistant Chief of Hospital for Scientific Research, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Dmitriy R. Ivchenko — Cand. Sci. (Med.), Chief Surgeon, Department of Medical Provision of the National Guard of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Andrey V. Akimov — Chief of Vascular Surgery Department, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Evgeniy A. Golubov — Chief of Cardiovascular Surgery Department, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Sergey N. Dvortsevov — Cand. Sci. (Med.), Chief of Ultrasound Department, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russia

Sergey V. Chevychelov — Senior Physician of Ultrasound Department, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Yuriy R. Alborov — Cardiovascular Surgeon, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Elena A. Kukushkina — Cand. Sci. (Med.), Chief of CT and MRI Radiology Department, Main Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Balashikha, Russian Federation

Vitaliy N. Smol'yaninov — Chief of General Surgery Department – Leading Surgeon, 2nd Military Clinical Hospital of the National Guard of the Russian Federation, Pyatigorsk, Russian Federation