

Михаил Герасименко,
директор РНПЦ травматологии и
ортопедии, заведующий кафедрой
травматологии и ортопедии
Белорусского государственного
медицинского университета,
член-корреспондент НАН Беларуси;
ortoped@mail.belpak.by

Богдан Малюк,
заведующий лабораторией
патологии суставов и спортивной
травмы РНПЦ травматологии и
ортопедии, кандидат медицинских
наук, доцент;
bonyya-mal@yandex.by

Ирина Кандыбо,
ведущий научный сотрудник
лаборатории клинической
электрофизиологии РНПЦ
травматологии и ортопедии,
кандидат биологических наук,
доцент

Ольга Шалатонина,
главный научный сотрудник
лаборатории клинической
электрофизиологии РНПЦ
травматологии и ортопедии,
доктор биологических наук,
профессор

Людмила Пашкевич,
главный научный сотрудник
лаборатории клинической
морфологии РНПЦ травматологии
и ортопедии, доктор медицинских
наук, профессор

Мохаммад Тахер Мохаммади,
заведующий лабораторией
клинической морфологии РНПЦ
травматологии и ортопедии,
кандидат медицинских наук,
доцент

Андрей Деменцов,
заведующий детским
травматолого-ортопедическим
отделением 6-й городской
клинической больницы г. Минска,
кандидат медицинских наук,
доцент

Исследования регионарного кровотока при подготовке к ревизионному эндопротезированию коленного сустава

УДК: 616.728.3-089.28-089.193.4:612.19

Аннотация. Проанализированы результаты реовазографического (РВГ) и доплерографического (УЗДГ) обследования сосудов нижних конечностей у 13 пациентов в возрасте 50–75 лет с асептической нестабильностью компонентов эндопротеза коленного сустава (ЭКС) на этапе подготовки к ревизионному эндопротезированию (РЭК). Для оценки ортопедического статуса использовали: клинический осмотр, рентгенографию коленного сустава в 2 стандартных и аксиальных проекциях, топограмму и рентгеновскую компьютерную томограмму (РКТ). Результаты проведенных РВГ и УЗДГ-исследований указывают на снижение общего физиологически допустимого уровня кровенаполнения мышц нижних конечностей в состоянии покоя, преимущественно в области бедра, и низком резерве восстановления регионарного кровотока после ревизии по сравнению с первичным протезированием.

Ключевые слова: регионарный кровоток, коленный сустав, нестабильность, эндопротезирование коленного сустава, ревизионное эндопротезирование.

Для цитирования: Герасименко М., Малюк Б., Кандыбо И., Шалатонина О., Пашкевич Л., Мохаммади М., Деменцов А. Исследования регионарного кровотока при подготовке к ревизионному эндопротезированию коленного сустава // Наука и инновации. 2025. №8. С. 74–78.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-8-74-78>



Эндопротезирование коленного сустава является золотым стандартом лечения поздних стадий остеоартрита (ОА) [1]. Стандартизированная хирургическая техника с использованием различных моделей эндопротезов и их типоразмеров успешно применяется во всех странах мира как для моно-, так и для панкомпарментного остеоартрита.

С развитием хирургических методик и появлением новых конструкций эндопротезов современная оперативная ортопедия серьезно шагнула вперед. Недавний аналитический обзор продемонстрировал, что примерно 82% ЭКС имеют срок «выживаемости» более 15 лет [2]. Несмотря на эти данные, по разным оценкам, от 10 до 30% пациентов с ЭКС недовольны итогами хирургического лечения [3, 4].

Причины неудовлетворительных результатов очень различны и включают: постоянную боль, связочную нестабильность, асептическое расшатывание компонентов эндопротеза, проблемы в пателло-фemorальном сочленении, повреждение четырехглавой мышцы бедра, разрыв капсулы протезированного сустава, вывих или износ полиэтиленового вкладыша, «размонтаж» соединяющих частей компонентов ЭКС, раннюю и позднюю перипротезную инфекцию и многое другое [5].

С ростом количества первичных операций эндопротезирования коленного сустава одновременно увеличивается и количество ревизионных вмешательств. К сведению, в США в 2010 г. было проведено более 55 тыс. ревизионных операций по поводу нестабильности компонентов ЭКС, и прогнозируется, что к 2030 г. это число достигнет 268 200 случаев

в год, то есть вырастет практически в 5 раз [6, 7]. После первичной операции по замене коленного сустава риск повторной артропластики и ревизий в течение жизни пациента тоже увеличивается. Так, в Австралии риск повторной артропластики коленного сустава в течение жизни у женщин вырос с 1,6% в 2007 г. до 2,2% в 2017 г. Аналогичная картина наблюдалась и у мужчин, риск в течение жизни составлял 1,4% в 2007 г. и 2,0% в 2017 г. [8].

На исходы лечения оказывают влияние многочисленные патологические процессы, возникающие при наличии сопутствующей патологии: гиалиноз сосудов при сахарном диабете; облитерация сосудов при избыточной массе тела, курении, повышенном содержании холестерина в крови; тромбообразование при замедлении венозного оттока и застоя; вазоспазм при воздействии

медиаторов воспаления и т.д. По данным литературы, у пациенток 40–60 лет с ОА коленных суставов при дуплексном сканировании нижних конечностей выявлено двустороннее поражение клапанов большой и малой подкожных вен и тяжелая степень клапанной недостаточности вен. Авторы указывают на существующую самостоятельную ассоциацию между ОА коленных суставов и варикозной болезнью [9]. Пациенты, перенесшие ортопедические операции, входят в группу риска возникновения острого тромбоза глубоких вен [10]. Методом радионуклидной лимфосцинтиграфии показано, что при ОА лимфатический отток снижается как в области коленного сустава, так и во всей нижней конечности [11].

Проведение медицинской реабилитации в предоперационном периоде для подготовки пациента к ревизионному эндопротезированию коленного сустава – ключевая задача для улучшения конечного функционального результата. Комплекс реабилитационных мероприятий периоперационного периода, с учетом данных функционально-диагностических обследований регионарного кровотока пациентов, позволяет решить ряд вопросов, направленных на снижение осложнений. Соответственно, врачи-травматологи-ортопеды, врачи функциональной диагностики и врачи-реабилитологи должны принимать во внимание и понимать текущую ситуацию механизмов возможных неудач после эндопротезирования для улучшения функциональных клинических результатов и снижения количества неудовлетворительных исходов.

В настоящее время не все аспекты подготовки пациентов к ревизионной артропластике

коленного сустава достаточно изучены, что и послужило основанием для проведения настоящего исследования.

Цель данной работы – физиологический анализ особенностей регионарного кровотока при подготовке к РЭКС для прогнозирования осложнений и планирования этапов медицинской реабилитации.

Материалы и методы

Было осуществлено клинкорентгенологическое и клинко-функциональное обследование у 13 пациентов (10 женщин и 3 мужчин) в возрасте 50–75 лет с асептической нестабильностью компонентов ЭКС. Ортопедический статус оценивался по данным стандартного клинического осмотра, рентгенографии коленного сустава в 2 стандартных и аксиальных проекциях, топограммы нижних конечностей, РКТ.

Асептическая нестабильность большеберцового компонента диагностирована у 7 обследуемых (53,8%), бедренного – у 3 (23,1%), износ полиэтиленового вкладыша и связочная нестабильность эндопротеза – у 2 (15,4%), нестабильность обоих компонентов – у 1 (7,7%).

На основании проведенных клинко-диагностических мероприятий в связи с неудачными исходами первичного протезирования по типу «длительно развивающейся асептической нестабильности» был выбран метод хирургического лечения – РЭКС.

Проведен анализ результатов РВГ-обследования и триплексного сканирования – УЗДГ магистральных артерий. На обеих нижних конечностях регистрировали реограммы бедра, голени и стопы в покое. Определяли пуль-

совой прирост крови (ΔV , мл), объемную скорость кровотока (Q , мл/мин/100см³). При доплерографическом исследовании сканировали *aa.* и *vv. femorales, femoris superficiales, profunda femoris, poplitea, tibiales posteriores, tibiales anterior, dorsales pedis, v. saphena magna*. Оценивали состояние сосудистых стенок (толщина, структура, однородность), наличие атеросклеротических бляшек, их характер, проходимость, наличие извитости, стенозов и их значимость, присутствие варикозного расширения, тромбозов, состоятельность клапанов магистральных глубоких и поверхностных вен, состояние периваскулярных тканей (зон отека).

Применяли оборудование: реограф «Рео-Спектр-3» (Россия), компьютер Samsung, ультразвуковой сканер «HD-15» (PHILIPS), линейный датчик 5–12 МГц.

Контрольную группу составили 14 лиц в возрасте 52–64 лет с ОА коленного сустава I–II стадии.

Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Microsoft Excel (STATISTICA 10.0) с использованием t-критерия Стьюдента. Количественные показатели представлены в виде среднего значения $\pm$ стандартное отклонение. Уровень статистической значимости исследования был определен как $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Полученные РВГ-данные свидетельствовали о достоверном ($p < 0,05$) снижении пульсового прироста крови, соответствующего притоку в сегмент за один сердечный цикл, и объемной скорости кровотока, которая характеризует распределение кровотока в мышцах на 1 см³ в мин, в

области бедер на стороне ревизии на 33%, на интактной – на 30% относительно среднестатистических контрольных значений (табл. 1, 2). В области голени и стоп снижение величин ΔV и Q было незначительно и не подтверждалось статистически.

Однако следует отметить, что нижняя и верхняя граница значений параметров объемного кровотока, то есть уровень кровенаполнения мышц у пациентов с асептической нестабильностью ЭКС и ОА 3–4-й стадии, по сравнению с контрольной группой, которая включала аналогичные данные у пациентов с ОА 1–2-й стадии, на 22–56% ниже, преимущественно в области бедра. Становится очевидным, что нестабильность эндопротеза коленного сустава, вызывающая боль и прогрессирующие нарушения функции конечности, понижает диапазон количественных показателей функционирующего регионарного кровотока, сохранив-

шие резервы восстановления и возможность компенсации возникших нарушений.

По данным УЗДГ, в магистральных артериях выявлены признаки атеросклеротического проявления в виде диффузного медиасклероза и кальциноза стенок, преимущественно артерий берцового сегмента и стоп: у 9 из 13 пациентов – без значимого нарушения проходимости, у 4 – со стенозом 51–65%. Количественные доплерографические показатели магистральных артерий находились в пределах контрольных значений. У 4 человек с гемодинамически значимым стенозом показатели мышечного объемного кровотока, по данным РВГ, находились в пределах групповых значений, и у них клинически не отмечали признаков ишемии конечностей.

При сканировании магистральных глубоких и поверхностных вен у 8 пациентов диагностировалось варикозное рас-

ширение большой и малой подкожных вен, которое у 7 из них сопровождалось несостоятельностью остиальных клапанов, у 1 – несостоятельностью перфорантов Кокетта. Несостоятельность клапанов магистральных глубоких вен отмечалась у 8 человек. У всех обследованных диагностировали телеангиэктазии и ретикулярный варикоз. Замедление венозного оттока по венам берцового сегмента имело место у 6 человек, по венам подколенно-берцового сегмента – у 2. Признаки незначительного или умеренного подкожно-лимфатического отека отмечались у 6 участников исследования.

Выявленное затруднение венозного оттока по магистральным венам нижних конечностей является одним из патогенетических звеньев развития тромбоза глубоких вен и, как следствие, возможного риска тромбоэмболии легочных артерий. Сосудистая стенка и система гемокоагуляции в

Сегмент	Бедро		Голень		Стопа	
Контрольная группа	0,6±0,20 (0,4-0,8)		0,81±0,239 (0,57-1,05)		0,256±0,072 (0,184-0,328)	
	Ревизия	Интактная	Ревизия	Интактная	Ревизия	Интактная
До операции	0,43±0,18*	0,47±0,20*	0,57±0,13	0,59±0,09	0,21±0,07	0,23±0,15
	0,25–0,61	0,27–0,67	0,44–0,7	0,5–0,68	0,14–0,28	0,08–0,38

Таблица 1. Значение пульсового прироста крови (ΔV , см³) у пациентов ($n=13$) на этапе подготовки к ревизионному протезированию коленного сустава по сравнению с контрольной группой ($n=14$)

Примечание: * – достоверное изменение показателя кровотока обеих конечностей относительно нормы при $p<0,05$ по t-критерию Стьюдента

Сегмент	Бедро		Голень		Стопа	
Контрольная группа	2,40±0,80 (1,60-3,27)		4,95±1,20 (3,75-6,15)		3,65±0,70 (2,95-4,30)	
	Ревизия	Интактная	Ревизия	Интактная	Ревизия	Интактная
До операции	1,61±0,52*	1,70±0,65*	3,29±0,88	3,36±0,7	3,59±1,27	3,66±0,87
	1,09–2,13	1,05–2,35	2,41–4,17	2,66–7,06	2,32–4,86	2,79–4,53

Таблица 2. Значение объемной скорости кровотока (Q , см³/мин/100см³) у пациентов ($n=13$) на этапе подготовки к ревизионному протезированию коленного сустава по сравнению с контрольной группой ($n=14$)

Примечание: * – достоверное изменение показателя кровотока обеих конечностей относительно нормы при $p<0,05$ по t-критерию Стьюдента

организме поддерживает кровь в жидком состоянии, но при механическом или биологическом повреждении, благодаря эволюционному защитному механизму, изначально направленному на образование гемостатического сгустка крови и остановку кровотечения, начинает проявлять протромботические свойства. Тромбоз в венозной системе обусловлен гиперкоагуляцией и может развиваться даже при физически целом эндотелии в результате локального воспаления и/или стаза крови при выполнении сложной ортопедической операции и длительной иммобилизации.

Заключение

- Проведенные исследования регионарного кровотока в группе пациентов с асептической нестабильностью ЭКС свидетельствуют о снижении общего физиологически допустимого уровня кровенаполнения мышц нижних конечностей в состоянии покоя по сравнению с контрольной группой пациентов и 1–2-й стадией остеоартрита коленного сустава, преимущественно в области бедра.
- Полученные данные являются маркером для определения функционального резерва, реабилитационного потенциала и контроля в восстанови-

тельном периоде для данной категории пациентов.

- При разработке реабилитационных мероприятий необходимо учитывать более низкий резерв восстановления регионарного кровотока после ревизии по сравнению с первичным протезированием.
- Замедление венозного оттока по магистральным венам нижних конечностей в сочетании с признаками венозной дисфункции, такими как клапанная недостаточность, посттромбофлебитические изменения, несостоятельность перфорантов, варикозная трансформация, играет ключевую роль в патогенезе венозного тромбоза и тромбоэмболии легочных артерий. Повторные операции по протезированию в наибольшей степени повышают риск возникновения тромбоэмболий.
- Проведение клинических реовазографических и ультразвуковых доплерографических исследований у пациентов с ОА и нестабильностью компонентов ЭКС обеспечивает важной информацией об индивидуальном состоянии регионарного кровотока в предоперационном периоде, позволяет стратифицировать группы риска и планировать послеоперационное восстановление. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Knee replacement / A.J. Price, A. Alvand, A. Troelsen [et al.] // *Lancet*. 2018. №392. P. 1672–1682.
2. Whitehouse How long does a knee replacement last? A systematic review and meta-analysis of case series and national registry reports with more than 15 years of follow-up / J.T. Evans, R.W. Walker, J.P. Evans [et al.] // *Lancet*. 2019. №393. P. 655–663.
3. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? / R.B. Bourne, B.M. Chesworth, A.M. Davis [et al.] // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2010. №468. P. 57–63.
4. Patient dissatisfaction following total knee arthroplasty: a systematic review of the literature / R. Gunaratne, D.N. Pratt, J. Banda [et al.] // *The Journal of Arthroplasty*. 2017. №32. P. 3854–3860.
5. Анализ основных причин ревизионной артропластики коленного сустава / Б. В. Малюк [и др.] // *Медицинские новости*. 2024. №7. С. 3–8.
6. Clinical and economic burden of revision knee arthroplasty / M. Bhandari, J. Smith, L.E. Miller, J.E. Block // *Clinical Medicine Insights: Arthritis and Musculoskeletal Disorders*. 2012. №5. PP. 89–94.
7. The Current Epidemiology of Revision Total Knee Arthroplasty in the United States From 2016 to 2022 / J.A. Dubin, S.S. Bains, A.E. Paulson [et al.] // *The Journal of Arthroplasty*. 2024. №39 (3). P. 760–765. doi: 10.1016/j.arth.2023.09.013.
8. Monitoring the lifetime risk of revision knee arthroplasty over a decade: a population-level analysis of Australian national registry data / I.N. Ackerman, L. Busija, M. Lorimer [et al.] // *Bone Joint Lett Journal*. 2022. №104-B. P. 613–619.
9. Патология вен нижних конечностей при первичном остеоартрозе коленных суставов / О.М. Лесняк, Е.В. Зубарева, М.Г. Гончарова, Д.М. Максимов // *Остеопороз и остеопатия*. 2016. №2. С. 101.
10. Роль метаболических нарушений в риске развития острого идиопатического тромбоза глубоких вен нижних конечностей / Д.Н. Ровенских, С.А. Усов, М.И. Воевода // *Бюллетень СО РАМН*. 2014. Т. 34, №5. С. 97–101.
11. Нарушение гемоциркуляции и липидического оттока в регионе коленного сустава у пациентов с гонартрозом / М.С. Любарский, Н.Р. Мустафаев, И.А. Алтухов // *Политравма*. 2011. №3. С. 29–42.

■ **Summary.** The results of rheovasographic (RVG) and Doppler ultrasound (USDG) examination of the vessels of the lower extremities study of 13 patients, aged 50–75 years, with aseptic instability of the components of a knee joint endoprosthesis (TKA) at the stage of preparation for revision total knee arthroplasty (RTKA). To assess the orthopedic status, we used: clinical examination, radiography of the knee joint in 2 standard and axial projections, topogram and CT scan. The results of the conducted RVG and ultrasound Doppler studies indicate a decrease in the overall physiologically acceptable level of blood filling of the muscles of the lower extremities at rest, mainly in the thigh area, and a low reserve for restoring regional blood flow after revision, compared with primary prosthetics.

■ **Keywords:** regional blood flow, knee joint, instability, total arthroplasty, revision arthroplasty.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2025-08-74-78>

Статья поступила в редакцию
26.05.2025 г.