

И. В. КАНДЫБО, О. И. ШАЛАТОНИНА, Л. А. ПАШКЕВИЧ, М. Т. МОХАММАДИ

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ СТАТОДИНАМИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ПОСЛЕ РЕВИЗИОННОГО ПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА

*Государственное учреждение «Республиканский научно-практический центр
травматологии и ортопедии», г. Минск, Республика Беларусь*

На основании применения триплексного сканирования, реографии и электромиографии проведено исследование функционального состояния нервно-мышечной системы, регионарного кровотока у пациентов с остеоартрозом 3 – 4 степени до и после ревизионного эндопротезирования коленного сустава. Изучены структурные особенности перипротезных тканей. Установлена дестабилизация функции мышц и характерные особенности кровотока. Определен паттерн функциональных изменений статодинамической функции и интенсивность дегенеративных процессов в костно-хрящевых структурах, что является объективной основой для выбора типа планируемой операции, прогнозирования сроков и качества восстановления моторной функции, опороспособности поврежденной конечности.

Ключевые слова: триплексное сканирование, реография, электромиография, патоморфологическое исследование, ревизионное эндопротезирование коленного сустава, мышечная функция.

Введение. Дегенеративно-дистрофические заболевания крупных суставов человека коррелируют с возрастом, достигая частоты в 3–5 % после 45 лет, 30 % у людей от 45 до 64 лет и 60–70 % у лиц старше 60 лет [1]. Среди них артроз коленного сустава (гонартроз) регистрируется в 50,6–54,5 % и в большинстве случаев поражает лиц трудоспособного возраста [2]. Одним из наиболее эффективных и общепризнанных методов лечения гонартроза 3–4 степени после малоэффективного консервативного является тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС), направленное на уменьшение интенсивности болевого синдрома, улучшение двигательной функции пораженного сустава и опороспособности нижней конечности [3, 4, 5, 6]. Степень удовлетворенности результатами лечения пациентов после ТЭКС составляет 75–89 %, а от 10 до 25% оперированных лиц предъявляют жалобы на развивающуюся с длительным временем неустойчивость коленного сустава, болевой синдром, изменение походки, что снижает качество жизни и требует ревизии сустава [7, 8].

С увеличением количества первичных операций растет число ревизионных операций [9]. В клиниках США процент ревизионных операций достигает 15 % от общего числа эндопротезирований, а по европейским публикациям, количество таких операций достигает 20 % [10]. В Республике Беларусь на 31 первичное эндопротезирование приходится одно ревизионное.

Восстановление функциональных возможностей пациентов после ревизионного эндопротезирования коленного сустава (РЭКС) является длительным и сложным процессом. Изучение особенностей восстановительных процессов в раннем и отдаленном периодах после выполнения хирургического вмешательства представляется актуальным для оценки состояния пациентов с учетом объективного определения двигательной функции, анатомического состояния и морфологических характеристик поврежденного сегмента. Оценка влияния на организм установки имплантата коленного сустава, которая вносит изменения и в рефлексогенные зоны и проприоцептивный ответ,

необходима для постановки реабилитационного диагноза и определения реабилитационного потенциала.

Материалы и методы исследования. Проведен анализ результатов реовазографического (РВГ) обследования и триплексного сканирования методом ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) магистральных артерий нижних конечностей у 23 пациентов с асептической нестабильностью коленного сустава в возрасте от 52 до 75 лет на этапах подготовки к ревизионному протезированию и в период 8–10 дней, 2–3 месяца, 6 месяцев после операции. Выполнена регистрация и анализ биоэлектрической активности (БА) мышц нижних конечностей при произвольных и вызванных реакциях. Функциональное состояние мышц (*mm. vastus lateralis, vastus medialis, rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior, gastrocnemius medialis, soleus, extensor hallucis longus*) определяли с помощью суммарной и стимуляционной электромиографии (ЭМГ) по стандартным методикам. Анализировали качественные параметры ЭМГ – структуру биоэлектрической активности, а также количественные показатели – амплитуду (А, мкВ). Билатерально регистрировали реограммы кровеносных сосудов бедра, голени и стопы в покое. Определяли объемную скорость кровотока (Q, мл/мин/100 см³). Методом УЗДГ сканировали *aa. и vv. femorales, femoris superficiales, profunda femoris, poplitea, tibiales posteriores, tibiales anterior, dorsales pedis, v. saphena magna, v. saphena parva*. Оценивали состояние сосудистых стенок (толщина, структура, однородность), наличие атеросклеротических бляшек и их характер, проходимость, наличие извитости, стенозов и их значимость, варикозного расширения, тромбозов, состоятельность клапанов магистральных глубоких и поверхностных вен, состояние периваскулярных тканей (зон отека). Оборудование: многофункциональный компьютерный комплекс «Нейро МВП», реограф «Рео-Спектр-3» (Нейрософт, Россия), ультразвуковой сканер «HD-15» (PHILIPS), линейный датчик 5–12 МГц. Контрольную группу составили 14 лиц в возрасте 52–64 лет с остеоартритом (ОА) коленного сустава I–II степени. Статистическая обработка данных производилась при помощи программы Microsoft Excel (2007 г.). Анализ соответствия вида распределения количественных показателей (критерий Шапиро-Уилка) показал нормальное распределение. Количественные показатели представлены в виде: среднее значение ± стандартное отклонение. Для определения статистической значимости использовали t-критерий Стьюдента для независимых выборок (межгрупповые различия). Статистически достоверным между оцениваемыми группами считали отклонение изучаемого параметра при $p < 0,05$.

Материалом для патоморфологических исследований являлись перипротезные ткани 23 пациентов, полученные при операциях ревизионного эндопротезирования. Применяли общепринятые гистологические методики изучения мягкой и костной тканей. Обработка полученных материалов проводилась методом сравнения средних (t-критерий Стьюдента), стандартных отклонений (F-критерий Фишера), медиан (W-критерий Манна-Уитни). Взаимосвязь между показателями определялась методом непараметрического двустороннего коэффициента корреляции Спирмена. Достоверность различий устанавливалась с помощью непараметрического метода Манна-Уитни.

Для реэндопротезирования коленного сустава у данных пациентов использовались следующие виды имплантатов: бикондилярные несцепленные, частично сцепленные и полностью сцепленные модели эндопротезов (шарнирные и петлевые) различных фирм производителей.

Результаты и их обсуждение. На этапах подготовки к ревизионному эндопротезированию коленного сустава качественный анализ полученных электромиограмм выявил различные типы структурной характеристики их на симптомной (сторона септической нестабильности имплантата) и асимптомной (сторона

интактного сустава) конечности. Так, на интактной стороне доминировала интерференционная структура ЭМГ, характеризующаяся активностью близкой к норме и отражающая асинхронное сокращение большого количества двигательных единиц с оптимальной величиной амплитуды (300–1000 мкВ) и частоты. Встречались ЭМГ с начальными признаками изменений по типу функциональной перегрузки или утомления. На симптомной стороне ЭМГ относили к типу частично редуцированных или атипичных, которые характеризовались низкой амплитудой с участками минимальной видимой частоты. Принадлежность зарегистрированных ЭМГ к различным типам определяется сочетанием влияний центральных факторов, регулирующих активность мотонейронных пулов с возможностью генерации периферических потенциалов действия. При этом формируется команда «произвольное максимальное напряжение», которая в норме реализуется, как интерференционная ЭМГ с оптимальными величинами амплитуды и частоты. Причиной выраженного отклонения параметров ЭМГ и изменения типа может быть снижение плотности мышечных волокон в результате недостаточности их кровоснабжения и локальной гипокинезии, что и наблюдалось у обследованных пациентов.

Широкие мышцы бедра являются стабилизаторами коленного сустава, осуществляют моторную и афферентную функцию, оказывают значительное влияние на коленный сустав, при изменении биомеханики которого могут возникать боли. При обследовании мышц бедра пациентов и лиц контрольной группы выявлено статистически достоверное снижение амплитуды биоэлектрической активности (БА, мкВ) на стороне предполагаемой ревизии коленного сустава для *m. vastus lateralis* – на 58 %, *m. vastus medialis* – на 64 %, для *m. rectus femoris* и *m. biceps femoris* на – 51 %. На интактной конечности – 37–48 %, с асимметрией симптомная/асимптомная 22–31 %.

На ЭМГ мышц голени дефицит амплитуды составлял для *m. gastrocnemius medialis* – 61 %, для *m. extensor hallucis longus* – 47 %, для *m. soleus* – 30 %, без существенной асимметрии между симптомной и асимптомной стороной. Значения амплитудных показателей *m. tibialis anterior* находились в пределах контрольных значений, что является позитивным фактом. Передняя большеберцовая мышца (*m. tibialis anterior*) в положении «стоя» участвует в установке стопы в соответствии с неровностями опоры, т.е. обеспечивает баланс конечности. При ходьбе эта мышца активна в фазе переднего толчка, при отрывании стопы от земли и в фазе переноса ноги. Вместе с мышцами-синергистами (*m. gastrocnemius*, *m. soleus*, *m. tibialis posterior*) обеспечивает супинацию стопы. Таким образом, сохранение на стороне нестабильности протеза коленного сустава сократительной способности *m. tibialis anterior* в диапазоне нормативных значений, на фоне снижения показателей БА мышц-синергистов, можно расценивать как адаптационную реакцию, необходимую для осуществления двигательной задачи. Симметричное распределение показателей сократительной способности мышц голени на симптомной и асимптомной конечности может свидетельствовать о возможности восстановления функции конечности после проведения ревизионного вмешательства.

В раннем послеоперационном периоде (8–10 дней) на стороне РЭКС выявлено снижение амплитуды БА мышц по сравнению с исходным уровнем в *m. vastus lateralis* и *m. biceps femoris* – на 48 %, *m. vastus medialis* – на 33 %, для *m. rectus femoris* – на 26 %, в *m. gastrocnemius medialis* – на 45 %, в *m. extensor hallucis longus* – 19 %, в *m. tibialis anterior* – на 54 %, в *m. soleus* – 38 %.

В следующий период наблюдения (2–3 месяца) отмечали положительную динамику параметров БА. На стороне ревизии в области бедра значение амплитудных показателей увеличилось в мышцах-разгибателях коленного сустава – на 4–35 %, в мышцах-сгибателях – на 51 %. В области голени оперированной конечности прирост

мышечной активности составил 36–73 %. Через 6 месяцев реабилитационного периода сократительная способность мышц оперированной конечности возростала и составляла от нижней границы контрольных значений в *m. vastus medialis* – 35 %, *m. vastus lateralis* – 40 %, с достижением исходного уровня, в *m. biceps femoris* и *m. rectus femoris* – 84 %, в *m. soleus* – 64 %, в *m. gastrocnemius medialis* и *m. extensor hallucis longus* – 67 % с превышением дооперационных значений. Сохранялась умеренная асимметрия параметров симптомная/асимптомная конечность в области бедра в пределах 30–54 %, в области голени – 7–19 %. Амплитудные показатели *m. tibialis anterior* находились в пределах контрольных значений.

Таким образом, проведенные исследования показали, что после РЭКС через 6 месяцев реабилитационного периода по сравнению с контрольной группой отмечается снижение функциональной активности мышц, участвующих в локомоторном акте, на уровне дооперационного исходного уровня. Отмечается асимметрия показателей симптомная/асимптомная конечность, что замедляет процесс восстановления симметричности походки и требует выполнение следующего этапа реабилитации. Дифференциальным критерием эффективности реабилитации служит процент различия амплитуд симптомной/асимптомной конечности в виде коэффициента асимметрии. Он несет двойную информационную нагрузку как реабилитационный потенциал и реабилитационный прогноз, что важно для выбора направленной реабилитации и коррекции режимов отдельных средств на различных временных этапах.

Выявленная динамика свидетельствует о сохранении резервных возможностей мышц для восстановления функции конечности. Полученные результаты работы в рамках системного интегрального подхода оценки спектра изменений в организме пациента (биологических, медицинских, психологических) позволяют прогнозировать получение положительных исходов реабилитации с возможностью повышения уровня жизнедеятельности пациентов.

Данные РВГ-исследования, проведенного на этапах подготовки к РЭКС свидетельствовали о достоверном ($p < 0,05$) выраженном (до 51 %) симметричном снижении показателей объемного кровенаполнения относительно среднестатистических контрольных значений в области бедра на стороне планируемой ревизии и на асимптомной конечности (таблица 1).

Таблица 1. Динамика объемной скорости кровотока (Q , см³/мин/100 см³) на стороне ревизии и интактной нижней конечности на этапе подготовки и после РЭКС в различные сроки восстановительного периода по сравнению с контрольными значениями

Сроки	Бедро		Голень		Стопа	
	ревизия	интактная	ревизия	интактная	ревизия	интактная
до операции	1,32±0,52*	1,36±0,65*	3,18±0,84	3,16±0,72	3,48±1,27	3,43±0,87
8-10 дней	0,65±0,25*	0,58±0,14*	2,94±0,96	2,93±0,85	3,13±1,14	2,64±0,71
2-3 месяца	0,86±0,31*	0,64±0,20*	3,65±1,50	3,48±1,60	2,62 ± 0,77	2,43±0,96
6 месяцев	0,75±0,19*	0,96±0,26*	3,12±0,28	3,34±0,28	3,29 ± 0,37	3,96±0,16
норма	2,64±0,8 (1,60–3,27)		4,95±1,20 (3,75–6,15)		3,65±0,70 (2,94–4,3)	

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

В ближайшем послеоперационном периоде (8–10 дней) динамика параметров объемного кровотока была аналогичной, как и улучшение амплитудных показателей

мышечной активности. Уровень кровенаполнения еще больше уменьшался относительно нормативных значений и составлял от среднестатистического значения нормы 21–24 % (таблица 1). Через 2–6 месяцев после РЭКС отмечалось слабое нарастание показателей объемного кровотока. Уровень кровенаполнения мышц бедра и на стороне ревизии и в интактной конечности не достигал дооперационного уровня, оставаясь достоверно ($p < 0,05$) ниже нормативных значений. В области голени и стоп (таблица 1) на этапах подготовки к РЭКС тенденция к снижению значений Q была незначительной, что не подтверждалось статистически. В послеоперационном периоде через 8–10 дней отмечали уменьшение показателей кровенаполнения в диапазоне 9–17 % с последующим восстановлением до исходного уровня к 6 месяцам после операции.

По данным ультразвуковой доплерографии в магистральных артериях выявлены признаки атеросклеротического проявления в виде диффузного медиасклероза и кальциноза стенок, преимущественно артерий берцового сегмента и стоп, у 13 из 23 пациентов – без значимого нарушения проходимости, у 4 – со стенозом 51–65 %. При сканировании магистральных глубоких и поверхностных вен у 12 пациентов было выявлено варикозное расширение большой подкожной (БПВ) и малой подкожной вен (МПВ), которое у 11 из них сопровождалось несостоятельностью остиальных клапанов, а у 3 – несостоятельностью перфорантов Кокетта. Недостаточность клапанов магистральных глубоких вен отмечали у 12 пациентов. У всех обследованных диагностировали телеангиэктазии и ретикулярный варикоз. Замедление венозного оттока по венам берцового сегмента имело место у 9 пациентов, по венам подколенно-берцового сегмента – у 4. Признаки незначительного или умеренного подкожно-лимфатического отека отмечали у 9 пациентов.

В раннем послеоперационном периоде у всех пациентов на стороне операции по глубоким венам регистрировался стимулированный кровоток и усиленный отток по магистральным поверхностным венам, имел место выраженный подкожно-лимфатический отек. В динамике наблюдения в исследуемой группе пациентов не было выявлено прогрессирования стенозирующих заболеваний артерий и тромбозов глубоких и поверхностных вен. В период 8–10 дней и через 2–3 месяца после РЭКС на стороне операции у всех пациентов по *v. poplitea* и *v. femoralis* регистрировался рефлюкс более 1,6 с. Эти данные свидетельствовали о выраженном затруднении венозного оттока по магистральным глубоким венам.

Проведенные наблюдения показали, что ответом регионарного кровотока на сложное хирургическое вмешательство и повторную имплантацию сустава явилось симметричное снижение объемного кровенаполнения на обеих нижних конечностях, выраженное в большей степени в области бедер (50–58 %), которое сохранялось до 6 месяцев реабилитационного периода. В области голени и стопы незначительные (9–11 %) колебания параметров объемного кровотока позволяли сохраняться уровню кровенаполнения практически в диапазоне физиологически допустимых нормативных значений. Сопоставление данных о затруднении венозного оттока и состоянии мягких тканей оперированной конечности предположительно свидетельствует о том, что основным патогенетическим звеном в развитии дисфункции сосудистой системы оперированной конечности в период до двух месяцев после РЭКС является наличие подкожно-лимфатического отека. Это обусловлено не только реакцией на хирургическое вмешательство, но и наличием у пациентов с ОА коленного сустава венозной недостаточности и нарушением лимфатического оттока, как в области коленного сустава, так и в регионе всей нижней конечности [11].

В группе обследуемых пациентов при гистологическом исследовании ревизионного материала коленного сустава, в перипротезной костной ткани,

контактирующей с эндопротезом выявлялся разной степени выраженности перипротезный остеолит, который, по мнению авторов статьи, является основным фактором, приводящим к нестабильности эндопротеза. В свою очередь, причиной остеолита является реактивное гигантоклеточное продуктивное воспаление в ответ на формирование продуктов износа компонентов импланта (пластика). В эндопротезированной суставной синовиальной оболочке наблюдались синовиты разной степени выраженности и активности проявления патологических признаков. На основании выявленных гистологических признаков авторы решили все перипротезные синовиальные ткани разделить на три группы: износ-индуцированный перипротезный синовит; инфекционно-индуцированный перипротезный синовит; индифферентный перипротезный синовит. Конкретизация формы синовита является важным для определения тактики дальнейшего лечения и коррекции интенсивности и продолжительности реабилитации.

Заключение. Таким образом, проведение электрофизиологических, реовазографических, ультразвуковых доплеровских исследований и стандартизированных патоморфологических исследований позволило получить важную информацию для выяснения многофакторного этиопатогенеза нестабильности эндопротеза коленного сустава. Причиной нестабильности чаще всего является развивающаяся при ходьбе несбалансированность активности мышц сгибателей и разгибателей, что усугубляется перипротезным остеолитом разной степени выраженности, который возникает в ответ на формирование продуктов износа компонентов сустава. Важно, что установленные патоморфологические результаты при сопоставлении с функциональными критериями статодинамической функции конечности имеют значение, не только в прогнозировании исходов эндопротезирования коленного сустава, но и для планирования реабилитационных мероприятий в зависимости от стадии восстановительного периода.

Литература:

- [1]. Насонова В.А. Проблема остеоартроза в начале XXI века // Consilium Medicum. 2000. Т. 2. № 6. С. 61–64.
- [2]. Miller T.T. Imaging of knee arthroplasty // Eur J Radiol. 2005. Vol. 54. № 2. P. 164–177.
- [3]. Багирова Г.Г., Мейко О.Ю. Остеоартроз, эпидемиология, клиника, диагностика, лечение. Медицина. 2005. 224 с.
- [4]. Кавалерский Г.М., Мурыле В.Ю., Елизаров П.М. Жучков А.Г. Тотальное эндопротезирование коленного сустава с использованием компьютерной навигации при тяжелых деформациях // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010. № 2. С. 34–40.
- [5]. Зайцева Е.М., Алексеева Л.И. Причины боли при остеоартрозе и факторы прогрессирования заболевания (обзор литературы) // Научно-практическая ревматология. 2011. № 1. С. 50–57.
- [6]. Keurentjes J.C., Van Tol F.R., Fiocco M. et al. Minimal clinically important differences in health-related quality of life after total hip or knee replacement: A systematic review // Bone Joint Res. 2012. Vol. 1. № 5. P. 71–77.
- [7]. Bae D.K., Song S.J., Heo D.B. et al. Long-term survival rate of implants and modes of failure after revision total knee arthroplasty by a single surgeon // J. Arthroplasty. 2013. Vol. 28. № 7. P. 1130–1134.
- [8]. Postler A., Lutzner C., Beyer F. et al. Analysis of total knee arthroplasty revision causes // BMC Musculoskelet Disord. 2018. Vol. 19. № 55. P. 1–6.
- [9]. Clement N.D., Hamilton D.F., Burnett R. A technique of predicting radiographic joint line and posterior femoral condylar offset of the knee // Arthritis. 2014. Vol. 2014. № 121069. P. 1–5.
- [10]. Bozic K., Kurtz S., Lau E. et al. The epidemiology of revision total knee arthroplasty in the United States // Clin. Orthop. 2010. Vol. 468. P. 45–51.
- [11]. Любарский М.С., Мустафаев Н.Р., Алтухов И.А. Нарушение гемоциркуляции и лимфатического оттока в регионе коленного сустава у пациентов с гонартрозом // Политравма. 2011. № 3. С. 29–42.

I. V. KANDYBO, O. I. SHALATONINA, L. A. PASHKEVICH, M. T. MOHAMMADI

**STUDY OF FUNCTIONAL RESERVES OF STATODYNAMIC FUNCTIONAL AFTER REVISION
KNEE ARTHROPLASTY**

*State Institution "Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics",
Minsk, Republic of Belarus*

Summary

Using triplex scanning, rheography and electromyography, the functional state of the neuromuscular system and regional blood flow in patients with 3–4 degree osteoarthritis before and after revision knee arthroplasty were studied. Structural features of periprosthetic tissues were also studied. Destabilization of muscle function and characteristic features of blood flow were determined. The pattern of functional changes in statodynamic function and intensity of degenerative processes in bone and cartilage structures were determined, which is an objective basis for choosing the type of the planned operation, predicting the terms and quality of motor function restoration and support ability of the damaged limb.

Keywords: triplex scanning, rheography, electromyography, pathomorphological research, revision knee replacement, muscles functional state.