

**Михаил Герасименко,**  
директор РНПЦ травматологии  
и ортопедии, член-корреспондент  
НАН Беларуси, заведующий кафедрой  
травматологии и ортопедии  
Белорусского государственного  
медицинского университета, доктор  
медицинских наук, профессор;  
[ortoped@mail.belpak.by](mailto:ortoped@mail.belpak.by)

**Богдан Малюк,**  
заведующий лабораторией патологии  
суставов и спортивной травмы  
РНПЦ травматологии и ортопедии,  
кандидат медицинских наук, доцент;  
[bonya-mal@yandex.by](mailto:bonya-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,**  
заведующий лабораторией  
клинической морфологии РНПЦ  
травматологии и ортопедии,  
доктор медицинских наук, профессор

**Мохаммад Тахер Мохаммади,**  
ведущий научный сотрудник  
лаборатории 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 НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К РЕВИЗИОННОМУ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЮ КОЛЕННОГО СУСТАВА

**Аннотация.** Проанализированы результаты электромиографического (ЭМГ) обследования 13 пациентов в возрасте 50–87 лет с асептической нестабильностью компонентов эндопротеза коленного сустава (ЭКС) на этапе подготовки к ревизионному эндопротезированию, находившихся на лечении в РНПЦ травматологии и ортопедии в период с 2013 по 2020 г. Для оценки ортопедического статуса использовались клинический осмотр, рентгенография коленного сустава в двух стандартных и аксиальных проекциях, топограмма и PKT. Проведение электрофизиологических исследований позволило получить важную информацию для выяснения этиопатогенеза нестабильности ЭКС, одной из причин которой может быть развивающаяся при ходьбе несбалансированность активности мышц-сгибателей и разгибателей, приводящая впоследствии к перипротезному остеолиту, возникающему в ответ на формирование продуктов износа компонентов эндопротеза.

**Ключевые слова:** нервно-мышечная деятельность, коленный сустав, нестабильность, тотальное эндопротезирование, ревизионное эндопротезирование.

**Для цитирования:** Герасименко М., Малюк Б., Кандыбо И., Шалатонина О., Пашкевич Л., Мохаммади М., Деменцов А. Исследования нервно-мышечной деятельности на этапе подготовки к ревизионному эндопротезированию коленного сустава // Наука и инновации. 2024. №9. С. 79–83.

<https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-09-79-83>

УДК: 616.728–089.28–089.193.4:612.816

**Б**лезни костно-мышечной системы относятся к распространенной патологии в современном мире. Остеоартрит (ОА) в популяции составляет 6,43% и коррелирует с возрастом, достигая частоты в 13,9% у лиц старше 45 лет и 97% у лиц старше 60 лет [1].

Среди ОА крупных суставов одну из самых актуальных проблем представляет собой «гонартроз», или остеоартрит коленного сустава, который регистрируется в 50,6–54,5% случаев среди пациентов, страдающих дегенеративно-дистрофическими заболеваниями крупных суставов нижней конечности, в 86% случаев поражает людей трудоспособного возраста, а в 6,5–14,6% приводит к инвалидности [1, 2].

В настоящее время в числе наиболее эффективных и общепризнанных методов лечения остеоартрита III–IV степени важное место занимает тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС), направленное на уменьшение интенсивности болевого синдрома, улучшение двигательной функции пораженного сустава, стабилизацию опороспособности нижней конечности и обеспечение хорошего качества жизни пациентов.

Длительность функционирования современных моделей эндопротезов коленного сустава, по данным Национального института здоровья США (2003 г.), составляет до 99% через 10 лет, более 95% – через 12–15 лет и около 90% – через 20 лет после операции при условии 100%-й приживаемости имплантата к кости [3]. Несмотря на неоспоримые преимущества артропластики, в различные сроки после первичной операции по разным причинам приходится выполнять ревизионные вмешательства. Удовлетворенность пациентов результатами лечения после эндопротезирования составляет 75–89%, от 10 до 25% из них предъявляют жалобы на развивающуюся нестабильность коленного сустава, болевой синдром, из-за чего и возникает необходимость ревизии и повторной операции [4–6].

В связи с постоянным ростом количества первичного ТЭКС во всем мире увеличивается и количество ревизионного эндопротезирования коленного сустава (РЭКС): по данным зарубежных авторов, оно составляет от 7–8% до 10% от общего числа операций эндопротезирования [7–12]. К сожалению, на сегодняшний день можно сказать, что наступает «эра» РЭКС.

При постановке показаний к такому вмешательству прежде всего необходимо выявить причину неудачного исхода предыдущей операции. Однако имеющиеся в арсенале хирурга клиничко-

лабораторные и инструментальные методы исследования не всегда полноценно принимаются во внимание, а полученные данные зачастую трактуются неоднозначно [7, 8].

Также известно, что проводимая в предоперационном периоде этапная медицинская реабилитация для подготовки пациента к РЭКС является основой последующего хорошего функционального результата. Комплекс мероприятий периоперационного периода, направленный на максимальное снижение возможных осложнений, улучшение непосредственных исходов и отдаленных функциональных результатов лечения в зависимости от особенностей хирургического вмешательства и модели имплантированного эндопротеза, тоже нуждается в совершенствовании [13, 14].

Таким образом, перечисленные аспекты планирования и подготовки пациентов к РЭКС в настоящее время остаются не решенными окончательно. Они недостаточно освещены в работах отечественных и зарубежных авторов, что послужило основанием для проведения настоящего исследования, которое направлено на профилактику нарушений статодинамической функции и улучшение результатов медицинской реабилитации пациентов с нестабильностью эндопротеза коленного сустава путем исследования нервно-мышечной деятельности на этапах подготовки к ревизионному эндопротезированию.

## Материалы и методы

Клинический материал представляет собой расчетные и графические данные результатов обследования 13 пациентов (10 женщин – 76,9%, 3 мужчин – 23,1% случаев) в возрасте 50–87 лет с асептической нестабильностью компонентов эндопротеза коленного сустава (ЭКС), находившихся на стационарном лечении в РНПЦ травматологии и ортопедии в период с 01.01.2013 по 09.04.2020 г. В связи с неудачными исходами первичного эндопротезирования им было выполнено еще одно хирургическое вмешательство – РЭКС, на этапах подготовки к которому для решения поставленных научно-практических задач было проведено клиничко-рентгенологическое и клиничко-функциональное обследование указанных пациентов.

Оценка ортопедического статуса осуществлялась по данным стандартного клинического осмотра, рентгенографии коленного сустава в 2 стандартных и аксиальных проекциях, топограммы и РКТ.

Лидировала по частоте встречаемости асептическая нестабильность большеберцового компо-

нента эндопротеза – 7 (53,8%) случаев, на 2-м месте была нестабильность бедренного компонента – 3 (23,1%), на 3-м – износ полиэтиленового вкладыша или его вывих, а также «размонтаж» или перелом компонентов эндопротеза и/или его связочная нестабильность – 2 случая (15,4%), на 4-м – нестабильность обоих компонентов 1 (7,7%).

Проведено ЭМГ-обследование групп мышц бедра и голени у 13 пациентов с нестабильностью эндопротезов коленного сустава: имплантированных в 2016 г. – 1 пациент, в 2017 г. – 2, в 2018 г. – 7 и в 2019 г. – 3; выявлены мышцы-маркеры и составлена методология обследования нервно-мышечной функции для выявления критериев нарушения и определения запаса прочности при выборе спосов РЭКС.

Метод суммарной ЭМГ использовали для определения состояния мышц, обеспечивающих основные движения и стабильность в коленном суставе. На передней латеральной поверхности бедра обследовали 3 поверхностные головки четырехглавой мышцы: латеральная широкая (*m. vastus lateralis*), медиальная широкая (*m. vastus medialis*) и прямая мышца бедра (*m. rectus femoris*), выполняющие функции разгибания в коленном суставе и стабилизации его. На задней поверхности бедра обследовали двуглавую (*m. biceps femoris*) и полуперепончатую (*m. semitendinosus*) мышцы, осуществляющие функцию сгибания в коленном суставе и являющиеся антагонистами *m. quadriceps femoris*.

С целью оценки неврологического статуса и возможного дефицита регистрировали биоэлектрическую активность (БА) при произвольном максимальном усилии и вызванные потенциалы передней большеберцовой (*m. tibialis anterior*) и икроножной (*m. gastrocnemius*) мышц при электроимпульсной стимуляции малоберцового и большеберцового нервов. Применяли биполярное отведение БА указанных мышц с помощью поверхностных электродов, которые накладывали на мышцы обеих конечностей как при двустороннем, так и при одностороннем поражении суставов. Для анализа суммарной ЭМГ использовали следующие характеристики: структура, амплитуда и частота БА. По данным стимуляционной ЭМГ определяли возбудимость и скорость эфферентного проведения по указанным периферическим нервам. При выраженном изменении структурной характеристики суммарных электромиограмм обследование дополняли оценкой рефлекторной возбудимости для выявления возможного нарушения моторной иннервации мышц на участке поясничного отдела спинного мозга и его корешков.

Контрольную группу составили 14 лиц того же возраста с остеоартритом I–II степени.

Регистрация ЭМГ мышц выполнялась с использованием компьютерного multifunctional комплекса «Нейро-МВП» («Нейрософт», Российская Федерация). Статистическую обработку материалов работы проводили в программе Microsoft Excel (STATISTICA 10.0) с помощью *t*-критерия Стьюдента. Количественные показатели представлены в виде: среднее значение ± стандартное отклонение. Уровень статистической значимости исследования –  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Полученные данные при исследовании нервно-мышечной деятельности на этапе подготовки к ревизионному эндопротезированию коленного сустава сравнивали с аналогичными у пациентов с ОА I–II степени (контрольная группа) и III–IV степени.

В контрольной группе среднее значение амплитуды БА *m. vastus lateralis* составляло  $589 \pm 191$  мкВ, на ЭМГ *m. vastus medialis* ниже на 26% –  $439 \pm 100$  мкВ. У пациентов с ОА III–IV степени снижение амплитуды БА мышц бедра на интактной и пораженной стороне было более выраженное, при этом асимметрия БА мышц пациентов в возрасте 45–60 лет составляла от 25 до 55%, а у лиц 61–80 лет – 60–70% в сочетании со снижением частоты потенциалов и изменениями структуры ЭМГ на более пораженной



Название мышц	Контрольная группа (I–II степень ОА) N=14	Пациенты с нестабильностью первичного ЭКС N=13	
		пораженная	интактная
<i>m.rectus femoris</i>	434±92	213±79*	263±102*
<i>m.vastus lateralis</i>	589±191	211±41*	259±94*
<i>m.vastus medialis</i>	439±100	156±33*	197±54*
<i>m.biceps femoris</i>	595±110	210±51*	234±80*

Таблица. Значение амплитуды БА (мкВ) мышц бедра у пациентов на этапе подготовки к ревизионному эндопротезированию коленного сустава по сравнению с аналогичными значениями у пациентов контрольной группы \* достоверное изменение параметров БА обеих конечностей относительно нормы при  $p < 0,05$  по  $t$ -критерию Стьюдента

стороне и с начальными признаками дегенеративных изменений в мышцах интактной конечности. Сопоставление указанных параметров на ЭМГ *m. quadriceps femoris* показало, что медиальная порция подвержена более резким изменениям не только по величине амплитуды активности, но и по времени включения в активацию. Так, движение разгибания *m. vastus lateralis* включается в активацию раньше, чем ее синергисты, особенно при изометрическом максимальном напряжении и при 50% от максимального, а также в фазу разгибания при ходьбе, поэтому интенсивность, время и степень вклада *m. vastus medialis* в осуществление экстензорного движения или напряжения при остеоартрите коленного сустава значительно ниже, чем *m. vastus lateralis*, что может создать несбалансированность активности при снижении амплитуды одной из них. Отличия амплитуд БА-флексоров *m. biceps femoris* и *m. semitendinosus* на пораженной и интактной стороне, а также по сравнению с контрольными данными были относительно умеренными и составляли 20–30%. Однако параметры указанных мышц изменяются в процессе развития остеоартрита, амплитуда БА увеличивается более интенсивно, чем в мышцах-экстензорах (особенно *m. vastus medialis*), становится более высокой вследствие защитного рефлекторного механизма в виде гиперактивности флексоров, что способствует изменению нагрузки на пателло-фemorальное сочленение сустава, развитию боли в переднем отделе коленного сустава, формированию сгибательной контрактуры и возможному отклонению голени.

Слабость четырехглавой мышцы бедра – один из основных факторов риска боли в коленном

суставе, нарушения его функции и прогрессирующая суставного повреждения у лиц с остеоартритом [15]. При клинических показаниях к первичному протезированию амплитуда БА *m. vastus lateralis* и *m. vastus medialis* составляет 34% и 35% от контрольных параметров.

Качественный анализ полученных электромиограмм у пациентов перед РЭКС выявил различные типы их структурной характеристики на стороне нестабильности имплантата и противоположной (интактной). Так, на интактной структура ЭМГ мышц бедра чаще типичная интерференционная или с начальными признаками изменений по типу функциональной перегрузки или утомления. На пораженной стороне ЭМГ относится к типу частично редуцированных или атипичных. При сравнении амплитуды БА мышц (таблица) выявлено асимметричное их соотношение со значительным снижением на стороне имплантированного сустава, более выраженное на ЭМГ *m. vastus lateralis* и *m. vastus medialis* (50–65%).

Средняя частота БА мышц также имеет выраженное снижение на стороне нестабильного сустава (от 40 до 80%), что отражает развитие гипотрофии с ограничением участия двигательных единиц в сократительной функции мышц.

По литературным данным, в среднестатистической популяции людей, не занимающихся спортом, сила мышц-разгибателей выше, чем сгибателей, до 26% [16–18]. У пациентов с ОА отмечается тенденция преобладающего снижения параметров мышечной активности экстензоров по сравнению с флексорами, что является следствием изменения биомеханики ходьбы, программы нагрузки мышц в фазы шага при развитии нестабильности в протезированном коленном суставе.

При электроимпульсной стимуляции малоберцового и большеберцового нервов в дистальной точке (предплюсна) и околоколенной области (разделение ствола *n. ischiadicus* на *n. peroneus* и *n. tibialis*) у 8 обследованных пациентов получены М-ответы *m. extensor digitorum brevis* и *m. abductor hallucis*. Скорость эфферентного проведения на дистальном сегменте (стопа) составляет 25–35 м/с, на протяжении нервов в сегменте голени умеренно снижена – 43–45 м/с, при контрольных величинах – от 50 м/с. Наличие отека в области голеностопного сустава у 2 пациентов явилось причиной сопротивления для отведения М-ответов мышц и невозможности определить скорость эфферентного проведения.

В ходе проведенного исследования авторами получены сравнительные результаты состояния

нервно-мышечной функции, особенностей иннервации в сегменте бедра, голени и стопы, выявлены мышцы-маркеры, критерии нарушения, определена методология обследования пациентов для выяснения факторов нарушения опороспособности нижних конечностей при остеоартрите коленного сустава, а также после первичной имплантации эндопротеза и на этапах подготовки к ревизионному эндопротезированию.

Показано, что для доказательства изменения нервно-мышечной активности необходима сравнительная оценка параметров амплитуды, частоты БА билатеральных мышц-разгибателей и сгибателей, обеспечивающих движения в коленном суставе, с контрольными значениями.

Выявленное выраженное снижение ЭМГ параметров мышц на стороне предполагаемой ревизии сустава по сравнению с контрлатеральной отражает ограничение участия двигательных единиц в сократительной функции и предполагает проведение восстановительных мероприятий для обеспечения устойчивости коленного сустава и выработки адаптивного стереотипа ходьбы.

Таким образом, проведение клинических электромиографических обследований пациентов с ОА обеспечивает получение значимой информации для выяснения и подтверждения одной из возможных причин развития нестабильности ЭКС, которой может быть развивающаяся при ходьбе несбалансированность активности мышц-сгибателей и разгибателей, приводящая впоследствии к перипротезному остеолиту, который возникает как ответ на формирование продуктов износа компонентов эндопротеза. ■

■ **Summary.** The results of an electromyographic study of 13 patients, aged 50–87 years, with aseptic instability of the components of a knee joint endoprosthesis at the stage of preparation for revision arthroplasty, who were treated at the Republican Scientific and Practical Center of Traumatology and Orthopedics in the period from 2013 to 2020, were analyzed. To assess the orthopedic status, we used: clinical examination, radiography of the knee joint in 2 standard and axial projections, topogram and CT scan. Electrophysiological studies provide important information for elucidating the etiopathogenesis of knee joint endoprosthesis instability. One of the causes of instability may be an imbalance in the activity of the flexor and extensor muscles that develops during walking, subsequently leading to periprosthetic osteolysis, which occurs as a response to the formation of wear and tear products of the components of the endoprosthesis.

■ **Keywords:** neuromuscular activity, knee joint, instability, total arthroplasty, revision arthroplasty.

■ <https://doi.org/10.29235/1818-9857-2024-09-79-83>

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Багирова Г.Г. Остеоартроз: эпидемиология, клиника, диагностика, лечение / Г.Г. Багирова, О.Ю. Майко. – М., 2005.
- Ивашкин В.Т. Болезни суставов. Пропедевтика, дифференциальный диагноз, лечение: рук. для врачей / В.Т. Ивашкин, В.К. Султанов. – М., 2005.
- Functional advantage of articulating versus static spacers in 2-stages revision for total knee arthroplasty infection / M. Freeman [et al.] // *J. Arthroplasty*. 2007. Vol. 22, № 8. P. 1116–1121.
- Gioe T.J. Why are total knee replacements revised? Analysis of early revision in a community knee implant registry / T.J. Gioe, K.K. Killeen, K. Grimm // *Clin. Orthop*. 2004. Vol. 428. P. 100–106.
- Epidemiology of total knee replacement in the United States medicare population / N.N. Mahomed [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2005. Vol. 87-A. P. 1222–1227.
- Cameron H.U. Failure in total knee arthroplasty: mechanisms, revisions, and results / H.U. Cameron, J.A. Hunter // *Clin. Orthop*. 1982. № 170. P. 141146.
- Modes of failure and preoperative evaluation / K.J. Saleh [et al.] // *The Journal of Bone and Joint Surgery*. 2003. Vol. 85-A. P. 21–25.
- Revision Total Knee Arthroplasty: What the practicing orthopaedic surgeon needs to know / D. Jacofsky [et al.] // *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2010. Vol. 92-A. P. 1282–1292.
- Mendes M.W. The results of tibial tubercle osteotomy for revision total knee arthroplasty / M.W. Mendes, P. Caldwell, W.A. Jiranek // *The Journal of Arthroplasty*. 2004. Vol. 19-P. 167–174.
- Meek R.M. The extensive rectus snip exposure in revision of total knee arthroplasty / R.M. Meek, N.V. Greidanus, W.L. McGraw, B.A. Masri // *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2003. Vol. 85-B. P. 1120–1122.
- Results of revision total knee arthroplasty after exposure of the knee with extensor mechanism tenolysis / P.F. Sharkey [et al.] // *The Journal of Arthroplasty*. 2004. Vol. 19, № 6. P. 751–756.
- Engh G.A. Treatment of major defects of bone with bulk allografts and stemmed components during total knee arthroplasty / G.A. Engh, P.J. Herzog, N.L. Parks // *Journal of Bone and Joint Surgery*. 1997. Vol. 79-A. P. 1030–1039.
- Fehring T.K. Outcome comparison of partial and full component revision TKA / T.K. Fehring, S. Odum, W.L. Griffin, J.B. Mason // *Clin. Orthop*. 2005. Vol. 440. P. 131–134.
- Aseptic versus septic revision total knee arthroplasty: Patient satisfaction, outcome and quality of life improvement / N. Patil [et al.] // *Knee*. 2010. Vol. 17, № 3. P. 200–203.
- Кутберг С. Ключевые аспекты прикладной кинезиологии. Утраченная связь с организмом // С. Кутберг, Д.С. Уолтер, Э. Роснер, Б.А. Старк, Д.Л. Станп. – СПб., 2015.
- Щуров В.А. Функциональное состояние больных с варусной деформацией нижних конечностей различной этиологии / В.А. Щуров, К.И. Новиков, Т.И. Долганова // *Гений ортопедии*. 2012. № 3. С. 122–125.
- Тряпичников А.С. Оценка дисфункции мышц нижних конечностей на предоперационном этапе у больных коксартрозом с деформацией бедренной кости / А.С. Тряпичников, Е.Н. Щурова, О.К. Чергунов, Т.И. Долганова // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 1–5. С. 1042–1045.
- Сысоев Ю.В. Топография и специфика развития максимальной относительной силы мышц-сгибателей и разгибателей нижних конечностей и туловища у женщин – спринтеров различной спортивной квалификации / Ю.В. Сысоев, А.А. Федорова-Шпаер // *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта*. 2017. № 3. С. 195–201.

Статья поступила в редакцию  
12.06.2024 г.