

## ОЦЕНКА ПОСТУРАЛЬНОГО БАЛАНСА И ПОХОДКИ У ПАЦИЕНТОВ С ГОНАРТРОЗОМ ПОСЛЕ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННЫХ СУСТАВОВ

Ромакина Н.А.<sup>1</sup>, Киреев С.И.<sup>2</sup>, Марков Д.А.<sup>2</sup>, Решетников А.Н.<sup>2</sup>, Ульянов В.Ю.<sup>1,3</sup>, Пучиньян Д.М.<sup>1</sup>, Норкин И.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИТОН ФГБОУ ВО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов, e-mail: ab2009sar@list.ru;

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России, Саратов;

<sup>3</sup>Филиал частного учреждения образовательной организации высшего образования «Медицинский университет «РЕАВИЗ» в городе Саратове, Саратов

Произведен комплексный анализ результатов биомеханического исследования 95 пациентов с первичным двусторонним гонартрозом III стадии до и после тотального эндопротезирования коленных суставов. Функциональная диагностика, включавшая в себя подографию, стабилometriю и динамометрию, произведена с использованием биомеханического программно-аппаратного комплекса. С учетом суммарного анализа выявлено, что наиболее чувствительными параметрами, отражающими функциональные нарушения при гонартрозе III стадии до и после тотального эндопротезирования коленных суставов, являются: период одиночной опоры, девиации центра давления относительно среднего положения в сагитальной плоскости, значения амплитуд вертикальной составляющей реакции опоры. После тотального эндопротезирования обоих коленных суставов отмечена отчетливая положительная динамика биомеханических показателей, выражающаяся в улучшении временных характеристик шага и постурального баланса, повышении динамической опороспособности конечностей в послеоперационном периоде.

Ключевые слова: биомеханические параметры, гонартроз, тотальное эндопротезирование.

## POSTURAL BALANCE AND GAIT ASSESSMENT IN GONARTHROSIS PATIENTS AFTER TOTAL KNEE REPLACEMENT

Romakina N.A.<sup>1</sup>, Kireev S.I.<sup>2</sup>, Markov D.A.<sup>2</sup>, Reshetnikov A.N.<sup>2</sup>, Ulyanov V.Y.<sup>1,3</sup>, Puchinyan D.M.<sup>1</sup>, Norkin I.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery of FSBEI HI Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of Russia, e-mail: ab2009sar@list.ru;

<sup>2</sup>PBE IHE «The Saratov GMU of V.I. Razumovsky» Ministry of Health of Russia, Saratov;

<sup>3</sup>Filial agency of «Private educational of higher education «Medical university «Reaviz» in Saratov, Saratov

Biomechanical results complex analysis of 95 gonarthrosis patients with primary bilateral gonarthrosis III stage before and after total knee replacement have been presented in the article. Functional diagnostics including podography, stabilometry and dynamometry has been conducted with the help of biomechanical software and hardware system. Pooled data demonstrate that the most sensitive indexes reflecting functional changes in gonarthrosis III stage before and after total knee arthroplasty are: single leg support period, pressure center deviations relative to the neutral position in sagittal plane, the values of vertical component of support reaction. Study results demonstrate well-marked positive dynamics of biomechanical indexes after total replacement seen in step time and postural balance improvement as well as in increased dynamic support ability of the extremities in the postoperative period.

Keywords: biomechanical indexes, gonarthrosis, total replacement.

В настоящее время отмечается неуклонный рост среди населения дегенеративно-дистрофических заболеваний суставов, причем поражение коленных суставов – деформирующий остеоартроз - занимает лидирующие позиции [2; 5; 7; 8]. При тяжелых поражениях суставов с выраженными анатомо-функциональными нарушениями, при низком эффекте консервативного лечения наиболее действенной мерой является тотальное

эндопротезирование сустава [1; 4; 5], позволяющее улучшить опороспособность конечности, полностью ликвидировать или уменьшить болевой синдром, увеличить амплитуду движений в суставах. Немаловажным аспектом медицинской реабилитации данной категории пациентов является объективная оценка эффективности выполненного оперативного вмешательства. Помимо клинико-рентгенологического обследования, необходимо исследование функционального статуса опорно-двигательной системы на различных этапах лечебного процесса. Многочисленными авторами доказана значимость методов биомеханики, в частности клинического анализа движений, для эффективного выявления двигательных нарушений [1; 3; 4; 6; 9]. Учитывая тот факт, что биомеханические исследования, как правило, являются многопараметрическими, сложными для интерпретации клиницистами, остается актуальной проблема выбора наиболее значимых биомеханических параметров, отражающих патологические изменения.

### **Материалы и методы**

Выполняли биомеханические исследования 95 пациентов обоего пола с первичным двусторонним гонартрозом III стадии (по Н.С. Косинской). Возраст пациентов составлял от 51 до 70 лет (средний возраст составил 61,9 года), из них основную часть составили женщины (78 человек), индекс массы тела - 35,9. На момент обследования у пациентов не было признаков обострения хронических соматических заболеваний, неврологического дефицита, вестибулярных расстройств, состояние зрения и слуха соответствовало возрастной норме. Наблюдаемые лица были разделены на следующие группы: 1-я группа – пациенты с гонартрозом до оперативного лечения (n=42); 2-я – пациенты после эндопротезирования одного коленного сустава (n=32); 3-я – пациенты после эндопротезирования обоих коленных суставов (n=21). Обследование пролеченных пациентов выполняли в сроки от 6 месяцев до 1,5 лет после операции. Функциональную диагностику нарушений постурального баланса и походки, включающую в себя электроподографию, стабилometriю и динамометрию, проводили с помощью клинического стабилметрического программно-аппаратного комплекса «МБН Биомеханика» (г. Москва). Электроподографию выполняли с использованием подографических датчиков давления, закрепленных в специальной обуви. Один из датчиков устанавливали на пяточную область, второй – на область головок плюсневых костей. Регистрацию осуществляли в привычном темпе ходьбы, при этом пройденная дистанция, которую пациент в состоянии мог преодолеть без средств дополнительной опоры, составляла 8-10 м. Стабилometriю и динамометрию проводили на стабилметрической платформе, специальным образом заглубленной и выведенной на уровень с полом. Стабилметрические исследования выполняли в основной стойке с европейской позицией стоп с открытыми глазами. Время исследования составляло 51 с.

Регистрацию реакций опоры производили при прохождении пациента по стабилметрической платформе, отдельно для правой и левой нижних конечностей, время исследования – 60 с. Во время исследования вели наблюдение за тем, чтобы пациент всей поверхностью стопы наступал в центр платформы. Изучали экстремумы вертикальной составляющей реакции опоры (максимумы Z1, Z2 и минимум Z3), а также поперечную составляющую реакции опоры, характеризующие динамическую опороспособность конечности. Статистическую обработку данных производили с использованием программного комплекса StatSoft, STATISTICA. Проверку распределения наблюдаемых признаков на нормальность производили с помощью критерия Шапиро-Уилка. Результаты теста показали, что гипотеза о нормальном распределении для большинства исследуемых параметров может быть отвергнута, в связи с чем доказательство достоверности полученных численных данных осуществлено с помощью методов непараметрической статистики. Для оценки различий между выборками использован U-критерий Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test).

### **Результаты исследования**

В 1-й группе пациентов до оперативного вмешательства выявляли нестабильность баланса основной стойки, проявляющуюся в смещении общего центра давления (ОЦД) во фронтальной плоскости в сторону менее пораженной конечности и смещения ОЦД в сагиттальной плоскости кпереди более чем на 15 мм. Подобное смещение ОЦД кпереди является компенсаторно-приспособительной реакцией, способствующей поддержанию равновесия при ходьбе и стоянии при патологии коленного сустава [3; 6]. Показатель площади статокинезиограммы, характеризующей рабочую площадь опоры человека, превышал норму в среднем в 3,8 раза. Отмечено увеличение длины статокинезиограммы, повышение скорости перемещения ОЦД и плотности статокинезиограммы, что свидетельствует о наличии симптома комплекса нестабильности вертикальной позы [6]. У пациентов 2-й группы после эндопротезирования одного коленного сустава несколько увеличились девиации ОЦД, возросли показатели площади и длины статокинезиограммы. В 3-й группе пациентов после эндопротезирования обоих коленных суставов отмечалась положительная тенденция: уменьшились площадь и длина статокинезиограммы, хотя и превышали норму. Скорость перемещения ОЦД в трех группах пациентов не изменилась. Результаты стабилметрического исследования трех групп пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Средние арифметические величины и их доверительные интервалы для стабилметрических параметров трех групп обследованных пациентов с гонартрозом ( $p=0,05$ )

Изучаемый параметр	1-я группа		2-я группа		3-я группа	
среднее положение ЦД относительно фронтальной плоскости, мм (X)	-1,37	-29,0..16,3	-1,74	-21,1..16,74	-3,6	-19,2..2,95
среднее положение ЦД сагиттальной плоскости, мм (Y)	2,2	-28,05..23,62	-3,99	-29,11..26,7	-8,5	-26,5..2,49
девиации ЦД относительно среднего положения во фронтальной плоскости, мм (x)	9,1	5,1..16,94	10,81	5,7..16,9	8,95	5,52..16,19
девиации ЦД относительно среднего положения в сагиттальной плоскости, мм (y)	11,2	6,2..23,5	12,7	7,98..24,23	14,6	10,93..26,2
площадь статокинезиограммы (S), мм <sup>2</sup>	379,8	229,81..842,01	416,1	121,31..1225,4	314,7	127,58..742,4
длина статокинезиограммы (L), мм	562,1	340,29..1067,7	575,4	265,8..1070,07	442,7	329,8..784,12
средняя скорость колебания ЦД, мм/с	10,4	6,68..20,9	10,4	5,21..20,99	10,4	5,17..11,9
отношение длины статокинезиограммы к ее площади (LFS), мм <sup>-1</sup>	1,65	0,7..3,1	1,58	0,86..3,7	1,48	1,05..2,8

По данным электроподографии, выполненной до оперативного вмешательства, отмечали нарушение всех фаз внутри цикла шага. Коэффициент ритмичности, рассчитанный по опорному периоду [6], в ряде случаев был значительно снижен, но часто наблюдалась симметрия походки при нарушенных параметрах цикла шага. Отмечали увеличение опорного периода и суммарного времени двойной опоры, сокращение периода переноса, асимметрию первого и второго периодов двойной опоры, что свидетельствует о неустойчивости при ходьбе. У пациентов, перенесших эндопротезирование одного коленного сустава, также сохранялись нарушения временной структуры цикла шага, возрастала асимметрия правого и левого шага. Пациенты отмечали дискомфорт при ходьбе,

необходимость в использовании средств дополнительной опоры. В целом отмечено, что при выраженных патологических изменениях и боли в неоперированном коленном суставе при двустороннем гонартрозе, пациент в большей степени использует как опорную ту конечность, где выполнено тотальное эндопротезирование сустава. Об этом свидетельствует увеличение периода одиночной опоры и сокращение периода переноса на стороне операции. Результаты электроподографии трех групп пациентов представлены в таблице 2.

Таблица 2

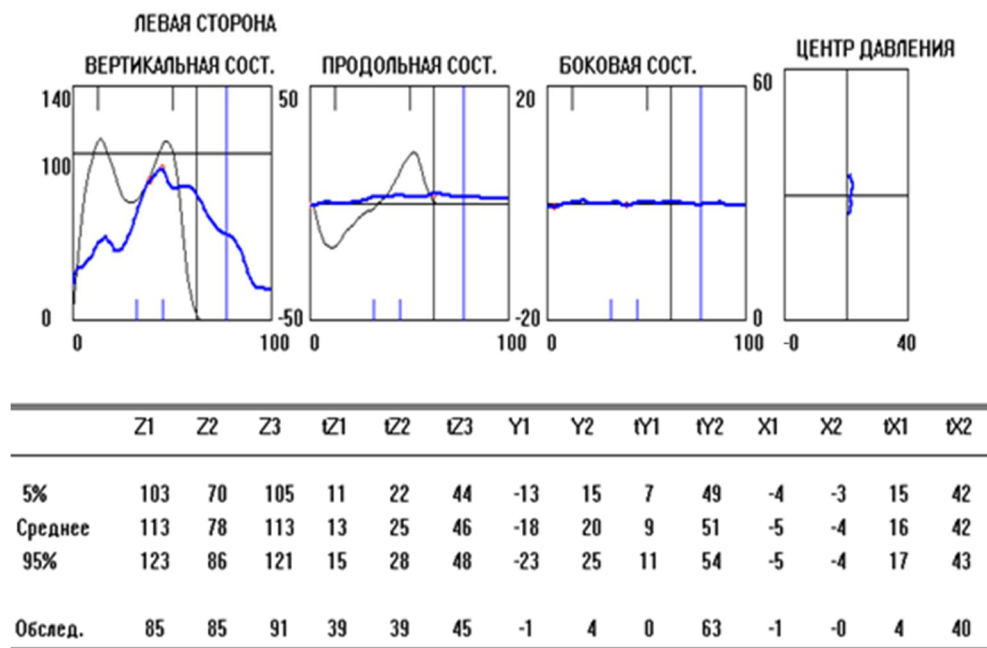
Средние арифметические величины и их доверительные интервалы для временных характеристик шага трех групп обследованных пациентов с гонартрозом ( $p=0,05$ )

Изучаемый параметр	1-я группа		2-я группа		3-я группа	
	ср.	ДИ	ср.	ДИ	ср.	ДИ
цикл шага (ЦШ), с	1,71	1,13..2,29	1,43	1,16..2,24	1,42	1,42..1,81
	1,48	1,12..1,48	1,43	1,2..1,9	1,43	1,43..1,78
период опоры (ПО), %	63,2	20,5..82,1	63,8	61,0..76,8	63,8	51,7..69,3
	66,8	25,8..81,5	68,1	37,5..74,6	69,2	61,9..72,2
период переноса (ПП), %	35,9	17,9..43,9	36,2	20,2..43,4	36,2	29,7..38,1
	33,2	18,5..53,7	32,8	25,4..42,0	31,8	17,8..38,9
период двойной опоры (ДО), %	36,6	22,1..74,7	33,9	27,2..57,9	36,7	25,4..37,72
	36,5	22,4..65,6	35,83	26,9..64,7	35,9	26,00..39,68
первый период двойной опоры (ПДО), %	18,8	11,5..32,8	15,9	11,9..22,0	16,44	12,29..18,79
	17,5	7,08..27,7	16,6	12,2..17,5	16,6	12,74..17,85
второй период двойной опоры (ВДО), %	18,03	11,9..29,6	18,07	13,2..18,95	18,66	13,49..19,18
	18,84	7,6..20,1	19,23	12,4..17,7	19,23	12,32..22,72
период одиночной опоры (ОО), %	30,7	15,9..32,1	30,3	19,78..34,4	34,33	29,4..34,4
	30,9	18,4..36,7	32,9	25,0..38,7	33,09	25,0..37,06
коэффициент ритмичности (КР)	0,9	0,36..0,91	0,8	0,51..0,94	0,9	0,76..0,97

Примечание. В верхней половине ячейки указаны значения для стороны с большей степенью поражения.

При проведении динамометрических проб у всех пациентов в предоперационном периоде выявляли снижение динамической опороспособности конечностей, выражающееся снижением амплитуд  $Z1$ ,  $Z2$  менее 100% веса тела пациента и возрастанием амплитуды  $Z3$ . Вертикальная составляющая реакции опоры имела неправильную форму, вид колоколообразной или П-образной кривой. Со стороны поперечной составляющей отмечена её инверсия и снижение амплитуды. Согласно исследованиям [3], при патологии коленного сустава амплитуды переднего и заднего толчков вертикальной составляющей реакции опоры являются информативными характеристиками, свидетельствующими о степени выраженности патологических изменений процесса ходьбы, причем снижение амплитуд

является неблагоприятным признаком и говорит о биомеханических нарушениях. Пример графического изображения реакций опоры у пациента до оперативного лечения представлен на рисунке, где можно отметить признаки функциональных нарушений: величина максимальной амплитуды вертикальной составляющей достигает только 91% веса тела, сама кривая неправильной формы. Продольная составляющая значительно снижена и инвертирована.



*Фрагмент отчета динамометрического исследования пациента перед операцией  
эндопротезирования левого коленного сустава*

При обследовании пациентов в сроки от 6 до 12 месяцев после операции отмечали улучшение толчковых реакций на стороне операции: максимумы вертикальной составляющей Z1, Z3 достигали 95-110%, кривая вертикальной составляющей приближалась к характерному виду двугорбой кривой с максимумами Z1, Z3 и минимумом Z2.

С помощью U-критерия Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test) выполнено сравнение выборок до оперативного лечения и после тотального эндопротезирования как одного ( $U_{1-2}$ ), так и обоих коленных суставов ( $U_{1-3}$ ). При сравнении выборок  $U_{1-2}$  статистически значимые отличия выявлены только по показателям периода одиночной опоры, по другим переменным значимых отличий не выявлено. При сравнении выборок  $U_{1-3}$  статистически значимые различия между средними величинами в этих группах получены по показателям одиночной опоры, девиации центра давления относительно среднего положения в сагиттальной плоскости, длины статокнезиограммы, что представлено в таблице 3.

Таблица 3

Оценка различий между выборками с использованием критерия Манна-Уитни

(при критическом значении критерия  $U=55$ ,  $p=0,05$ )

Исследуемый параметр	U1-3-значение критерия Манна-Уитни	p1-3-значение
КР	72,5	0,19
ЦШ	92,5	0,64
	94,5	0,7
ПО	84,5	0,4
	99,5	0,8
ПП	80,5	0,33
	94,5	0,7
ДО	94,0	0,9
	101,0	0,69
ПДО	97,0	0,7
	101,0	0,9
ВДО	82,5	0,8
	102,0	0,9
ОО	<b>30,5</b>	<b>0,002</b>
	<b>3,5</b>	<b>0,0002</b>
X (мм)	92,0	0,62
Y (мм)	<b>49,0</b>	<b>0,02</b>
x (мм)	86,0	0,46
y (мм)	<b>48,0</b>	<b>0,02</b>
S (мм <sup>2</sup> )	88,0	0,5
L (мм)	<b>56,0</b>	<b>0,05</b>
V(мм/с)	65,0	0,1
LFS (1/мм)	65,0	0,1

Примечание. В верхних половинах ячеек подографических параметров указаны значения для стороны с большей степенью поражения. Статистически значимые различия выделены жирным шрифтом.

### Выводы

1. Использование в клинической практике методов биомеханики помогает объективно оценить состояние локомоторных функций у пациентов с гонартрозом: нарушения постурального баланса, временные параметры шага, толчковые реакции. Данный вид функциональной диагностики позволяет проследивать динамику утраченных функций на различных этапах лечебного процесса.
2. Функциональный статус пациента после тотального эндопротезирования одного коленного сустава при двустороннем гонартрозе на сроках наблюдения от 6 до 12 месяцев характеризуется отсутствием значимого улучшения биомеханических параметров, а в ряде случаев отрицательной динамикой, что приводит к нерациональным затратам энергии при поддержании баланса тела и ходьбе. Наблюдаемая функциональная недостаточность может

быть обусловлена асимметрией биомеханических осей оперированной и неоперированной нижних конечностей.

3. При оценке эффективности выполненной операции тотального эндопротезирования коленного сустава следует принимать во внимание положительную динамику следующих биомеханических параметров: показателя одиночной опоры, девиации центра давления относительно среднего положения в сагиттальной плоскости на статокинезиограмме и повышение амплитуд максимумов вертикальной составляющей реакции опоры. Данные показатели следует учитывать для принятия решения о целесообразности эндопротезирования второго коленного сустава при двустороннем поражении.

### Список литературы

1. Биомеханические показатели стояния и походки больных после тотального эндопротезирования коленного сустава с использованием компьютерной навигации / Ю.А. Безгородков, Н.Н. Корнилов, А.И. Петухов, Т.А. Куляба и соавт. // Травматология и ортопедия России. – 2011. – № 4 (62). – С. 11-17.
2. Болезни суставов : руководство для врачей / под ред. В.И. Мазурова. – СПб. : СпецЛит, 2008. – 397 с.; ил.
3. Жилиев А.А. Биомеханические и электрофизиологические критерии оценки функционального состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей : дис. ... докт. мед. наук. – М., 2003. – С. 109-117.
4. Клинико-биомеханическое обоснование внутрисуставной инъекционной терапии пациентов с гонартрозом / Н.В. Загородний, Н.И. Карпович, Д.В. Скворцов, А.А. Дамаж, А.А. Ахлапашев // Клиническая практика. – 2015. – № 1. – С. 35-41.
5. Клинические рекомендации. Ревматология / под ред. Е.Л. Насонова. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2005. – 288 с.
6. Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. - М. : Т.М. Андреева, 2007. – 640 с.; ил.
7. Between-limb kinematic asymmetry during gait in unilateral and bilateral mild to moderate knee osteoarthritis / K. Mills, B.A. Hettinga, M.B. Pohl, R. Ferber // Arch. Phys. Med. Rehabil. – 2013. - Nov. 94 (11) – P. 2241-7.
8. Novel classification of knee osteoarthritis severity based on spatiotemporal gait analysis / A. Elbaz, A. Mor, G. Segal, R. Debi, N. Shazar, A. Herman // Osteoarthritis and Cartilage. – 2014. - № 22. – P. 457-463.



9. Использование методов биомеханики в оценке состояния и коррекции патологии опорно-двигательной системы / Н.А. Ромакина, А.С. Федонников, С.И. Киреев, Н.Х. Бахтеева, И.А. Норкин // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2015. – Т. 11. – № 3. – С. 310-316.