

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА, ВЫПОЛНЕННОГО МЕТОДОМ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОГО ВЫРАВНИВАНИЯ**



**КУЗИН В.В.,**  
д.м.н., профессор, врач –  
травматолог-ортопед кон-  
сультативного отделения  
ГБУЗ г. Москвы Городская  
клиническая больница № 1  
им. Н.И. Пирогова Департа-  
мента здравоохранения го-  
рода Москвы, лауреат премий  
правительств Российской Фе-  
дерации и г. Москвы, премии «Призвание», заслу-  
женный врач Российской Федерации, полковник  
мед. службы в отставке, [kvicvas@yandex.ru](mailto:kvicvas@yandex.ru)

дерации и г. Москвы, премии «Призвание», заслу-  
женный врач Российской Федерации, полковник  
мед. службы в отставке, [kvicvas@yandex.ru](mailto:kvicvas@yandex.ru)



**КУЗИН А.В.,**  
врач – травматолог-ортопед  
травматологического отделения  
№ 1 ГБУЗ г. Москвы Город-

ская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова  
Департамента здравоохранения города Москвы,  
[kuzin88av@gmail.com](mailto:kuzin88av@gmail.com)



**германов А.В.,**  
врач – травматолог-орто-  
пед травматологического от-  
деления № 2 ГБУЗ г. Москвы

Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пи-  
рогова Департамента здравоохранения города  
Москвы, [germ-aleksej@yandex.ru](mailto:germ-aleksej@yandex.ru)



**ШПАК М.А.,**  
врач – травматолог-ортопед  
многопрофильного отделения  
ГБУЗ г. Москвы Городская клиническая боль-  
ница № 1 им. Н.И. Пирогова Департамента здраво-  
охранения города Москвы, [ShpakMA1@zdrav.mos.ru](mailto:ShpakMA1@zdrav.mos.ru)

ница № 1 им. Н.И. Пирогова Департамента здраво-  
охранения города Москвы, [ShpakMA1@zdrav.mos.ru](mailto:ShpakMA1@zdrav.mos.ru)



**КОЛЕСНИКОВ Д.А.,**  
аспирант кафедры Биомеди-  
цинские технические систе-  
мы ФГАОУ ВО «Московский

государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский  
университет)», [dracorex@mail.ru](mailto:dracorex@mail.ru)

**Работа посвящена оценке функцио-  
нальных результатов эндопротези-  
рования коленного сустава методом  
персонализированного выравнива-  
ния в сравнении с методом механи-  
ческого выравнивания.**

**Материал подготовлен в рамках  
гранта Правительства г. Москвы.**

**Ключевые слова:** эндопротезирование, ко-  
ленный сустав, метод персонализированно-  
го выравнивания.

### **FUNCTIONAL OUTCOMES OF THE TOTAL KNEE ARTHROPLASTY BY MEANS OF PERSONALIZED ALIGNMENT**

Kuzin V., Kuzin A., Germanov A., Shpak M.,  
Kolesnikov D.

The paper is dedicated to the evaluation  
of functional outcomes of the knee arthroplas-  
ty made by personalized alignment method as  
compared with mechanical alignment.

This material has been prepared in the  
framework of the Moscow government grant.

**Key words:** arthroplasty, knee joint, personal-  
ized alignment method.

#### **Введение**

Появление в 2008 г. нового подхода к вы-  
равниванию конечности при тотальном эн-  
допротезировании коленного сустава (КС)  
было связано с именем St. Howell [1]. В ка-  
честве основы был взят принцип индиви-  
дуального позиционирования компонен-  
тов относительно суставной поверхности.  
В дальнейшем данная методика развилась в  
технику персонализированного (кинемати-  
ческого) выравнивания [2].

По данным множества исследований,  
функциональные результаты операций,  
выполненных методом персонализиро-

ванного (кинематического) выравнивания, лучше, чем при операциях, выполненных техникой, ориентированной на механические оси [3–9].

С 2020 г. в Городской клинической больнице № 1 им. Н.И. Пирогова Департамента здравоохранения города Москвы (ГКБ № 1 ДЗМ) также приступили к разработке метода, позволяющего учитывать индивидуальные особенности конечностей конкретного человека. Результатом стал патент, подробно описывающий этот метод [10], который был назван «Персонализированное выравнивание при тотальном эндопротезировании коленного сустава». При использовании данного метода были получены очень обнадеживающие результаты.

### Цель исследования

Оценить функциональные результаты эндопротезирования КС методом персонализированного выравнивания в сравнении с механическим выравниванием.

### Материалы и методы

Исследованы 76 случаев, когда пациентам (66 женщин и 10 мужчин) применялся метод выравнивания по механическим осям, и 83 случая (60 женщин и 23 мужчины), при которых применялся метод персонализированного выравнивания.

У пациентов, перенесших операции с применением принципа выравнивания по механическим осям (*группа 1*), оперативное вмешательство проводилось по общепринятым методикам с релизом мягких тканей и наружной ротацией бедренного компонента. В *группе 2* операцию проводили с использованием авторского метода персонализированного выравнивания, основанного на

принципе кинематического выравнивания.

В до- и послеоперационном периодах (не ранее 3 мес. после операции) оценивали функциональные результаты, которые включали в себя объём движений, шкалы KOOS и Oxford (табл. 1).

Изучались параметры походки пациентов после операции с помощью системы захвата движений Vicon и стабилометрической платформы Neugoc. Здесь в сравнении участвовали три группы:

- контрольная группа (КГ) со здоровым опорно-двигательным аппаратом (37 чел.);
- группа пациентов, перенесших эндопротезирование КС с одной стороны методом механического выравнивания (МВ, 18 чел.);
- группа пациентов с эндопротезом КС также с одной стороны, который установлен по методу персонализированного выравнивания (ПВ, 10 чел.).

В группах с МВ и ПВ были представлены больные, перенесшие операции в сроки не менее 3 мес. до исследования.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программ StatTech v. 4.1.7 (ООО «Статтех», Россия), Google Colab (в Python) и статистических пакетов scipy.stats.

### Результаты

Основные функциональные результаты, обработанные методами описательной статистики, показали, что при использовании метода персонализированного выравнивания комплексная оценка функции шкалами Oxford и KOOS статистически значимо выше, чем при использовании метода механического выравнивания. Такие же результаты были отмечены и при исследовании объёма движений (табл. 2 на с. 4).

Таблица 1

Характеристики пациентов

Показатели	Выравнивание		p
	механическое	персонализированное	
BMI, Ме [IQR]	32,30 [28,62; 34,92]	33,39 [27,70; 35,48]	0,701
Возраст (лет), М (SD)	64 (8)	67 (8)	0,019*
Сроки между операцией и оценкой результата (мес.), Ме [IQR]	24 [4; 53]	7 [3; 11]	<0,001*
Шкала Oxford до операции, Ме [IQR]	17,00 [12,00; 20,00]	17,00 [13,00; 22,00]	0,192
Шкала KOOS до операции, Ме [IQR]	36,00 [25,00; 46,00]	36,00 [25,00; 46,00]	0,638
Объём движений до операции (°), Ме [IQR]	95 [90; 100]	95 [90; 105]	0,743

Примечание: \* – статистически значимые различия результатов.

Таблица 2

**Результаты в группах с МВ и ПВ по шкалам Oxford и KOOS, общий объём движений минимум через 3 мес. после операции**

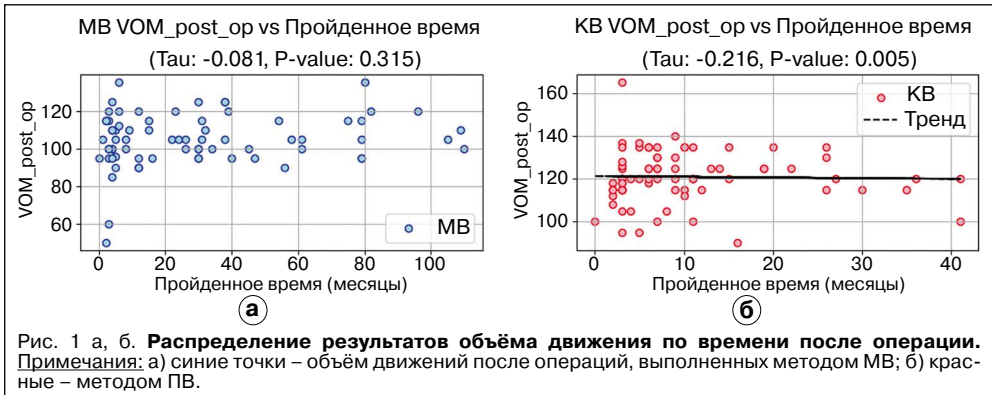
Показатели	Выравнивание		p
	механическое	персонализированное	
Шкала Oxford после операции, Me [IQR]	41,00 [38,00; 44,00]	45,00 [39,00; 47,00]	0,001*
Шкала KOOS после операции, Me [IQR]	81,00 [68,00; 91,00]	90,00 [73,00; 97,00]	0,002*
Объём движений после операции (0), Me [IQR]	105 [95; 115]	120 [115; 125]	<0,001*

Примечание: \* – отмечены статистически значимые различия результатов.

Таблица 3

**Результаты оценки элементов походки в группах исследуемых пациентов после операций тотального эндопротезирования КС, выполненных методами МВ и ПВ, по сравнению с контрольной группой (КГ)**

Параметр	p	
	КГ vs. МВ	КГ vs. ПВ
LAnkleAngles_X_Mean	0,079	0,017
LAnkleAngles_X_Std_Dev	0,139	0,384
LAnkleAngles_Y_Mean	0,193	0,969
LAnkleAngles_Y_Std_Dev	0,479	0,735
LAnkleAngles_Z_Mean	0,043	0,765
LAnkleAngles_Z_Std_Dev	0,105	0,050
LHipAngles_X_Mean	0,921	0,969
LHipAngles_X_Std_Dev	0,017	0,785
LHipAngles_Y_Mean	0,015	0,948
LHipAngles_Y_Std_Dev	0,247	0,079
LHipAngles_Z_Mean	0,462	0,384
LHipAngles_Z_Std_Dev	<0,001	<0,001
LKneeAngles_X_Mean	0,014	0,311
LKneeAngles_X_Std_Dev	0,044	0,726
LKneeAngles_Y_Mean	0,572	0,649
LKneeAngles_Y_Std_Dev	0,747	0,253
LKneeAngles_Z_Mean	0,003	0,001
LKneeAngles_Z_Std_Dev	0,026	0,096
RAnkleAngles_X_Mean	0,031	0,079
RAnkleAngles_X_Std_Dev	0,092	0,866
RAnkleAngles_Y_Mean	0,837	0,805
RAnkleAngles_Y_Std_Dev	0,929	0,659
RAnkleAngles_Z_Mean	0,116	0,907
RAnkleAngles_Z_Std_Dev	0,004	0,491
RHipAngles_X_Mean	0,795	0,990
RHipAngles_X_Std_Dev	0,003	0,349
RHipAngles_Y_Mean	<0,001	0,094
RHipAngles_Y_Std_Dev	0,425	0,317
RHipAngles_Z_Mean	0,156	0,585
RHipAngles_Z_Std_Dev	<0,001	0,001
RKneeAngles_X_Mean	0,788	0,428
RKneeAngles_X_Std_Dev	0,490	0,269
RKneeAngles_Y_Mean	0,007	0,475
RKneeAngles_Y_Std_Dev	0,680	0,116
RKneeAngles_Z_Mean	0,002	0,336
RKneeAngles_Z_Std_Dev	0,056	0,128



При исследовании походки на Visop авторы получили результаты, потребовавшие дополнительных действий. Поскольку количество групп – больше двух, был использован статистический тест Крускала–Уоллиса. Результаты отсортированы (ранжированы) по убыванию р-значения.

В табл. 3 (с. 4) приведены результаты сравнения с контрольной группой (КГ) групп пациентов с механическим выравниванием (МВ), персонализированным выравниванием (ПВ), с прооперированными обоими суставами (по одной технологии и по разным технологиям). Ячейки, для которых р-value – меньше 0,025 (уменьшенный вдвое исходный уровень значимости с учётом поправки Бонферрони при сравнении двух групп), выделены желтым цветом, а для которых рvalue – меньше 0,0125 (уменьшенный вчетверо исходный уровень значимости с учётом поправки Бонферрони при сравнении четырех групп), выделены зеленым цветом.

Из полученных результатов видно, что даже с учётом поправки Бонферрони в группе с МВ походка отличается от походки здоровых людей в КГ по восьми параметрам, а при ПВ – только по трем.

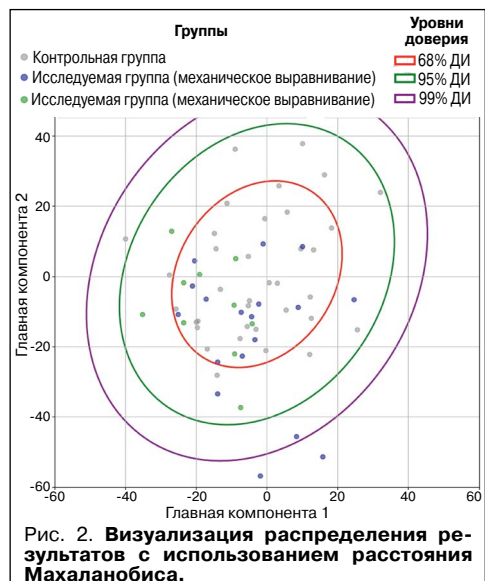
Для уверенного заявления о наличии или отсутствии зависимости между распределением результатов и временем после операции был проведен тест Манна–Кендалла (статистический тест, позволяющий обнаружить монотонные тренды во временных рядах). Среди указанных выше параметров статистически значимый тренд ( $p\text{-value} < 0,05$ ) оказался только для объёма движения после операции в группе с ПВ, причем коэффициент тренда оказался отрицательным (-0,207). Это говорит о том, что наибольший объём движений пациенты получа-

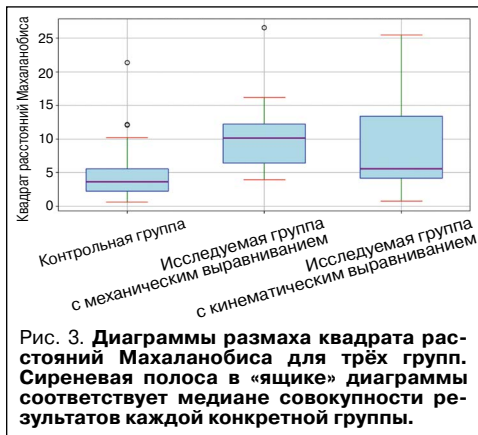
ли в ранние сроки после операции (рис. 1).

С учётом количества параметров данных ( $n=47$ ) по каждому из пациентов для статистической обработки было применено расстояние Махаланобиса (рис. 2), которое является статистической мерой, оценивающей расстояние между точкой и распределением. В отличие от евклидова расстояния расстояние Махаланобиса учитывает масштаб данных и корреляцию между переменными и, таким образом, является более универсальным инструментом для анализа многомерных данных [11].

В рамках исследования кластеризации и возможности использования расстояния Махаланобиса был выполнен расчет квадрата до центра контрольной группы для испытуемых с МВ и ПВ. Диаграммы распределения значения представлены на рис. 3 (с. 6).

Как видно из полученных результатов, исследуемая группа с ПВ оказалась ближе





к КГ, что косвенно может свидетельствовать о большей схожести набора угловых и стабилметрических параметров.

Чтобы перейти с языка чувственного восприятия на язык статистики, были проведены тесты Манна–Уитни и Данна. Результаты проведенных сравнений КГ и исследуемых групп с разными типами выравнивания эндопротеза КС представлены в табл. 4 и 5 на с. 7.

И действительно, оба теста подтвердили, что статистически значимых различий между КГ и ИГ с ПВ не наблюдается. При этом такие различия имеются при сравнении КГ

и ИГ с МВ. Это позволяет сделать вывод, что ПВ позволяет получить угловые параметры сустава и параметры стабилметрические, близкие в совокупности к соответствующему набору параметров контрольной группы.

### Обсуждение

Таким образом, при комплексной оценке полученных данных не остаётся сомнений, что функциональные результаты операций тотального эндопротезирования КС с использованием ПВ при всех прочих равных дают значительно лучшие показатели как по шкалам Oxford и KOOS (отражающим проблемы с повседневной активностью пациентов до операции и после неё), так и в общем объёме движений в суставе после операции. Кроме этого обращает на себя внимание, что восстановление пациентов проходит значительно быстрее при использовании ПВ, чем при эндопротезировании методом МВ.

Особый интерес представляют результаты исследования походки и стабилметрических тестов.

Исследования различий параметров походки в исследуемых группах показали, что в тех случаях, когда один сустав заменён эндопротезом, установленным методом

### Литература

1. Howell S.M. Calipered kinematically aligned total knee arthroplasty: An accurate technique that improves patient outcomes and implant survival // *Orthopedics*. – 2019; 42(3):126–135. Doi: 10.3928/01477447-20190424-02
2. Howell S.M., Hull M.L., Nedopil A.J., Rivière C. Caliper-Verified Kinematically Aligned Total Knee Arthroplasty: Rationale, Targets, Accuracy, Balancing, Implant Survival and Outcomes // *Instr Course Lect*. – 2023; 72:241–259.
3. Davis K.R., Soti V. Effectiveness of Kinematic Alignment-Total Knee Arthroplasty in Treating Preoperative Varus and Valgus Deformities in Patients With Knee Osteoarthritis // *Cureus*. – 2024 Jan 30; 16(1):e53230. Doi: 10.7759/cureus.53230
4. Sarzaeem M.M., Movahedinia M., Mirahmadi A., Abolghasemian M., Tavakoli M., Amouzadeh Omrani F. Kinematic Alignment Technique Outperforms Mechanical Alignment in Simultaneous Bilateral Total Knee Arthroplasty: A Randomized Controlled Trial // *J Arthroplasty*. – 2024 Sep; 39(9):2234–2240. Doi: 10.1016/j.arth.2024.03.045
5. Hiranaka T., Suda Y., Saitoh A., Tanaka A., Arimoto A., Koide M., Fujishiro T., Okamoto K. Current concept of kinematic alignment total knee arthroplasty and its derivatives // *Bone Jt Open*. – 2022 May; 3(5):390-397. Doi: 10.1302/2633-1462.35.BJO-2022-0021.R2
6. Liu B., Feng C., Tu C. Kinematic alignment versus mechanical alignment in primary total knee arthroplasty: an updated meta-analysis of randomized controlled trials // *J Orthop Surg Res*. – 2022 Apr 4; 17(1):201. Doi: 10.1186/s13018-022-03097-2
7. Elbuluk A.M., Jerabek S.A., Suhardi V.J., Sculco P.K., Ast M.P., Vigdorichik J.M. Head-to-Head Comparison of Kinematic Alignment Versus Mechanical Alignment for Total Knee Arthroplasty // *J Arthroplasty*. 2022 Aug; 37(8S):S849-S851. Doi: 10.1016/j.arth.2022.01.052

Таблица 4

## Сравнение групп с разным типом выравнивания с помощью теста Манна–Уитни

Группа 1	Группа 2	U-статистика	p
КГ	ИГ с МВ	98	<0,001*
КГ	ИГ с ПВ	120	0,094
ИГ с МВ	ИГ с ПВ	113	0,281

Примечания: КГ – контрольная группа; ИГ с МВ – исследуемая группа с МВ; ИГ с ПВ – исследуемая группа с ПВ; \* – статистически значимые различия результатов.

Таблица 5

## Сравнение с разным типом выравнивания с помощью теста Данна

Группа 1	КГ	ИГ с МВ	ИГ с ПВ
КГ	1,000	<0,001*	0,203
ИГ с МВ	<0,001*	1,000	0,523
ИГ с КВ	0,203	0,523	1,000

Примечания: КГ – контрольная группа; ИГ с МВ – исследуемая группа с МВ; ИГ с ПВ – исследуемая группа с ПВ; \* – статистически значимые различия результатов.

ПВ, походка достоверно меньше отличается от таковой в КГ в отличие от группы пациентов, где применялось МВ. Стабилометрические тесты также показали большую устойчивость пациентов на стабилметрической платформе в группе с эндопротезами, установленными методом ПВ, чем в группе с МВ.

Схожие данные получены коллегами в результате исследований по оценке походки пациентов после проведенно-

го тотального эндопротезирования КС по методике ПВ [12–15].

**Выводы**

Если комплексно оценить полученные результаты, можно сказать, что тотальное эндопротезирование КС методом ПВ позволяет восстановить функцию оперированного сустава, максимально приблизив ее к параметрам здорового сустава, в отличие от существующих десятилетия методов МВ.

**Литература**

- Shelton T.J., Gill M., Athwal G., Howell S.M., Hull M.L. Outcomes in patients with a calipered kinematically aligned TKA that already had a contralateral mechanically aligned TKA // *J Knee Surg.* – 2021; 34(1):87–93. Doi: 10.1055/s-0039-1693000
- Rivière C., Harman C., Boughton O., Cobb J. The kinematic alignment technique for total knee arthroplasty. In: Rivière C, Vendittoli P-A, eds. *Personalized Hip and Knee Joint Replacement // Cham, Switzerland: Springer.* – 2020. doi: 10.1007/978-3-030-24243-5\_16
- Способ персонализированного тотального эндопротезирования коленного сустава [текст]: пат.2823533 Российская Федерация: МПК А17/56 (2006, 01).
- Амелькин С.А., Захаров А.В., Хачумов В.М. Обобщенное расстояние Евклида–Махала–нобиса и его свойства // *Информационные технологии и вычислительные системы.* – 2006. – № 4. – С. 40–44.
- Blakeney W., Clément J., Desmeules F., Hagemester N., Rivière C., Vendittoli P.A. Kinematic alignment in total knee arthroplasty better reproduces normal gait than mechanical alignment // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2019 May; 27(5):1410–1417. Doi: 10.1007/s00167-018-5174-1
- McNair P.J., Boocock M.G., Dominick N.D., Kelly R.J., Farrington B.J., Young S.W. A Comparison of Walking Gait Following Mechanical and Kinematic Alignment in Total Knee Joint Replacement // *J Arthroplasty.* – 2018 Feb; 33(2):560–564. Doi: 10.1016/j.arth.2017.09.031
- Kang K.T., Koh Y.G., Nam J.H., Kwon S.K., Park K.K. Kinematic Alignment in Cruciate Retaining Implants Improves the Biomechanical Function in Total Knee Arthroplasty during Gait and Deep Knee Bend // *J Knee Surg.* – 2020 Mar; 33(3):284–293. Doi: 10.1055/s-0039-1677846
- Kamenaga T., Nakano N., Takayama K., Tsubosaka M., Takashima Y., Kikuchi K., Fujita M., Kuroda Y., Hashimoto S., Hayashi S., Niikura T., Kuroda R., Matsumoto T. Comparison of plantar pressure distribution during walking and lower limb alignment between modified kinematically and mechanically aligned total knee arthroplasty // *J Biomech.* – 2021 May 7; 120:110379. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110379