

## РАННИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВИЧНОГО РОБОТ-АССИСТИРОВАННОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ КОЛЕННОГО СУСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ STRYKER MAKO

Герасенкова А.Д.<sup>1</sup>, Орлецкий А.К.<sup>1</sup>, Шумский А.А.<sup>1</sup>, Крылов С.В.<sup>1</sup>, Дгебуадзе Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение Министерства здравоохранения Российской Федерации «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова», Москва, e-mail: nastennmodelmay@mail.ru;

<sup>2</sup>Юсуповская больница, Москва

**Аннотация.** Вопрос разработки новых методик операций на коленном суставе, в частности тотального эндопротезирования, является актуальным в настоящее время. Остаются важными задачи повышения эффективности хирургического лечения, удовлетворенности пациентов функциональностью нового имплантированного коленного сустава, долгосрочной выживаемости имплантата. Для решения этих задач были предложены методики использования роботизированных систем во время тотального эндопротезирования коленного сустава. Существует около девяти различных роботизированных систем, которые используются в ортопедии. Все они отличаются своей функциональностью, в том числе возможностью применения определенных техник выравнивания. Данная статья освещает вопросы применения различных методик при оперативном лечении коленного сустава с помощью роботизированной системы Мако компании Stryker. В работе приведены данные собственного наблюдения пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава, проведенного при участии роботизированной системы Мако с использованием механического и функционального выравнивания. При сравнении результатов лечения с использованием механического и функционального выравнивания не получено значимых отличий в раннем послеоперационном периоде. Однако через 3 и 6 месяцев отмечены лучшие результаты у пациентов, перенесших оперативное вмешательство с использованием функционального выравнивания.

Ключевые слова: коленный сустав, тотальное эндопротезирование, механическое выравнивание, кинематическое выравнивание, роботизированная система, боль

## EARLY RESULTS OF PRIMARY ROBOT-ASSISTED KNEE ENDOPROSTHETICS USING THE STRYKER MAKO SYSTEM

Gerasenkova A.D.<sup>1</sup>, Orletsky A.K.<sup>1</sup>, Shumsky A.A.<sup>1</sup>, Krylov S.V.<sup>1</sup>, Dgebuadze G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal state budgetary institution of the Ministry of Health of the Russian Federation «National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov», Moscow, e-mail: nastennmodelmay@mail.ru;

<sup>2</sup>Yusupov Hospital, Moscow

**Annotation.** The issue of developing new methods of knee joint surgery, in particular total arthroplasty, remains relevant at the present time. The tasks of increasing the effectiveness of surgical treatment, patient satisfaction with the functionality of the new implanted knee joint, and long-term survival of the implant remain important. To solve these problems, methods of using robotic systems during total knee replacement have been proposed. There are about nine different robotic systems that are used in orthopedics. All of them differ in their functionality, including the possibility of using certain alignment techniques. This article highlights the application of various techniques in the surgical treatment of the knee joint using the Mako robotic system, a company Stryker. The paper presents data from patients' own observation after total knee replacement performed with the participation of the Mako robotic system using mechanical and functional alignment. When comparing the results of treatment using mechanical and functional alignment, no significant differences were obtained in the early postoperative period. However, after 3 and 6 months, better results were noted in patients who underwent surgery using functional alignment.

Keywords: knee joint, total arthroplasty, mechanical alignment, kinematic alignment, robotic system, pain.

В настоящее время продолжается обсуждение оптимальной стратегии выравнивания при тотальном эндопротезировании коленного сустава (ТЭКС) [1]. Долгое время методом выбора при ТЭКС являлась концепция механического выравнивания (mechanical alignment –

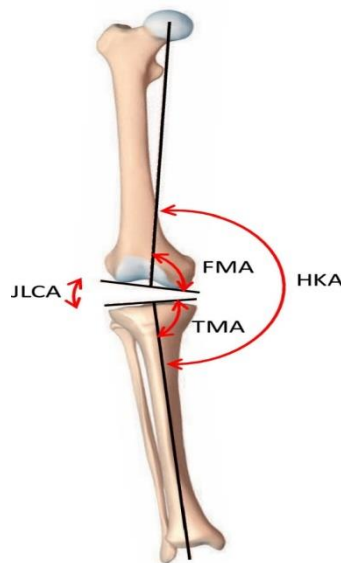
МА), направленная на нейтральное послеоперационное выравнивание нижней конечности (НК) и создание максимально равномерной нагрузки на эндопротез коленного сустава (КС).

Для обеспечения МА бедренный и большеберцовый компоненты располагаются под углом  $90^\circ$  к механической оси бедренной и большеберцовой костей. Эта философия выравнивания при ТЭКС была основана на достижении равномерной нагрузки на имплант для уменьшения износа полиэтилена и профилактики асептической нестабильности, а не на восстановлении нормальной кинематики и функции КС. Методика МА при ТЭКС продемонстрировала хорошую долгосрочную выживаемость имплантатов [2, 3, 4].

Однако функциональные результаты оказались противоречивы. В ряде опубликованных исследований авторы обнаружили, что 75–89% пациентов, перенесших ТЭКС, сообщали о значительном дискомфорте во время повседневной деятельности, что явилось важной причиной неудовлетворенности пациентов оперативным вмешательством [5–7].

L.V. Moser и соавторы провели исследование механической оси НК у пациентов, не страдающих остеоартрозом (ОА). Было выявлено, что средний угол между тазобедренным, коленным и голеностопными суставами (Hip-Knee-Ankle – НКА) колебался от  $176,7^\circ$  до  $180,7^\circ$  (рис. 1) [8]. В большинстве исследований, за исключением Ховинга и Лернера [9], не сообщалось об исходном нейтральном положении механической оси НК с НКА, равным  $180^\circ$ , что поднимает вопрос о «стандартизации» нейтрального выравнивания конечности для всех пациентов. Данное исследование показало, что фенотипы КС очень неоднородны и более разнообразны в варусной или вальгусной форме. Эти результаты подтверждают тот факт, что одна стратегия выравнивания не подходит всем пациентам и следует рассмотреть более персонализированный подход.

Технику анатомического выравнивания (anatomicaligment – АА), первоначально предложенную в 1980-х годах D.S. Hungerford и К.А. Krackow [10], также нельзя определить как персонализированный подход, поскольку этот метод направлен на систематическое косое выравнивание суставных поверхностей относительно механической оси НК. При АА создается косая линия КС с отклонением на  $2-3^\circ$  от перпендикуляра к механической оси,  $2-3^\circ$  вальгуса для бедренной кости и  $2-3^\circ$  варуса для большеберцовой кости соответственно. Целевое значение НКА составляет  $180^\circ$ . Рациональной поддержкой этой техники являются улучшение распределения нагрузки на большеберцовый компонент, а также улучшение биомеханики надколенника, поскольку это снижает риск растяжения латеральной ретинакулярной связки при сгибании колена [11].

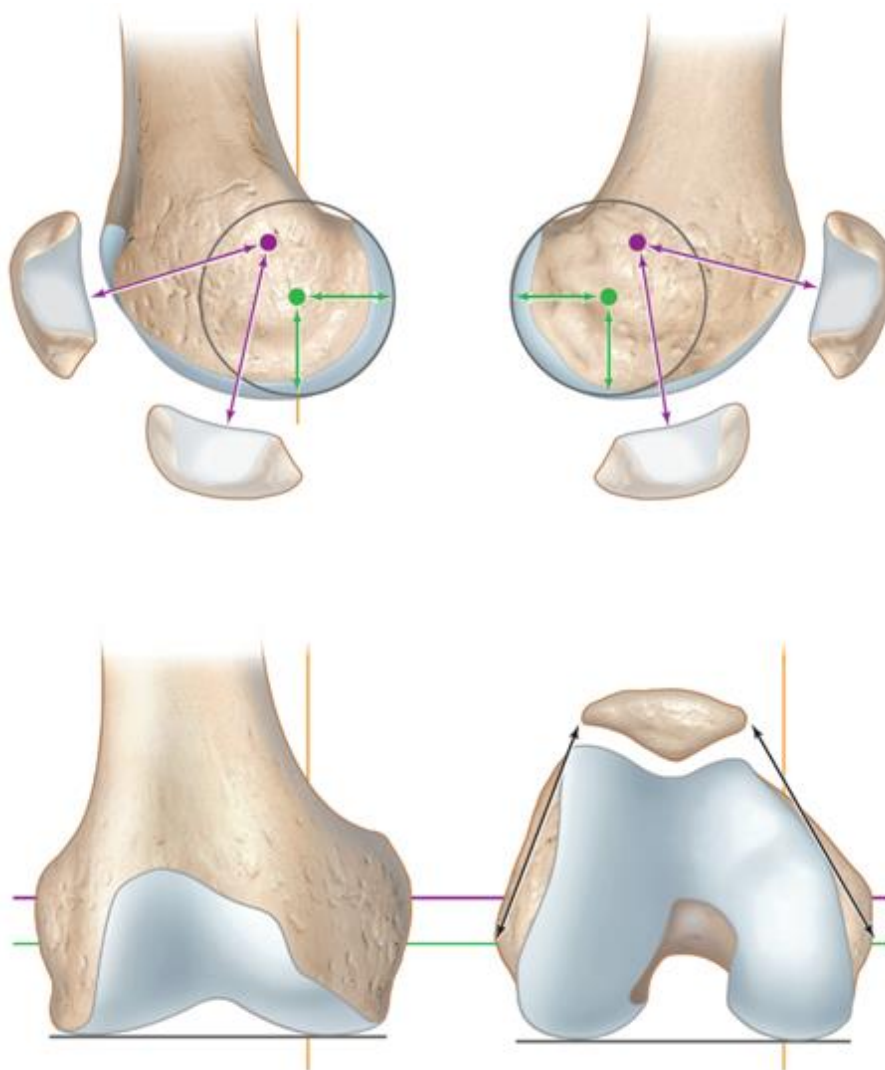


*Рис. 1. НКА (Hip-Knee-Ankle), FMA (Femoral Mechanical Angle)  
и TMA (Tibial Mechanical Angle)*

В связи с тем, что использование АА не привело к улучшению клинических и функциональных результатов ТЭКС, были разработаны несколько концепций индивидуального выравнивания: кинематическое (kinematic alignment – КА), обратное кинематическое (inverse kinematic alignment – iKA), ограниченное кинематическое (restricted kinematic alignment – rKA) и функциональное (functional alignment – FA). Новые стратегии выравнивания направлены на восстановление нативной оси конечности пациента до ОА, что приведет к более естественной кинематике КС и, таким образом, улучшит функциональный результат. Однако некоторые хирурги, занимающиеся вопросами оперативного лечения заболеваний КС, обеспокоены показателями долгосрочной выживаемости эндопротеза, поскольку предполагается, что сохранение определенной предоперационной варусной деформации может привести к нестабильности имплантата с течением времени и может потребовать ревизионной операции [12].

В 2006 году S.M. Howell и соавторы описали концепцию КА, представляющую собой индивидуальную технику для каждого конкретного пациента. Она направлена на восстановление конституциональных линий КС до ОА, что сводит к минимуму релиз мягких тканей. Данная концепция основана на том, что движение в коленном суставе осуществляется вокруг трех кинематических осей: поперечная ось бедренной кости, вокруг которой происходит скольжение большеберцовой кости относительно бедра в сагиттальной плоскости (зеленая линия); поперечная ось бедра, вокруг которой происходит скольжение надколенника (фиолетовая линия); продольная ось бедра, вокруг которой происходит ротация

большеберцовой кости (желтая линия). Все три оси должны быть либо параллельны, либо перпендикулярны линиям сустава искусственного (черная линия) (рис. 2) [13].



*Рис. 2. Поперечная ось бедра, вокруг которой происходит скольжение большеберцовой кости относительно бедренной в саггитальной плоскости (зеленая линия), расположена дистально и кзади (зеленая линия). Поперечная ось бедра, вокруг которой происходит скольжение надколенника, расположена более проксимально и кпереди (фиолетовая линия). Продольная ось, вокруг которой происходит ротация большеберцовой кости относительно бедренной, проходит через медиальный отдел бедренно-большеберцового сочленения (желтая линия). Все три оси либо перпендикулярны, либо параллельны линиям сустава (черная линия)*

Оперативное вмешательство начинается с восстановления кривой линии бедренной кости до ОА, далее производится коррекция сгибательных и разгибательных промежутков с помощью кривой резекции большеберцовой кости. В 2020 году исследования авторов не показали какой-либо разницы клинических и функциональных результатов ТЭКС в группах с МА и КА с наблюдением в течение 2 лет [14,15]. В исследовании Т.Ж. Shelton и соавторов были

оценены функциональные результаты и степень удовлетворенности пациентов ТЭКС в группах МА и КА. Удовлетворенность пациентов в группе МА соответствовала 83% при 92% в группе КА [16].

Техника КА остается спорной, так как по мере увеличения отклонения от нейтральной оси конечности увеличивается нагрузка на имплант, что повышает риск асептической нестабильности эндопротеза. В связи с этим Р.А. Vendittoli и соавторами были предложены «безопасные зоны» для выравнивания при ТЭКС и разработан протокол гКА [17].

При гКА происходят восстановление конституциональных линий КС и выравнивание конечности с учетом безопасной зоны, то есть НКА должна оставаться  $\pm 3^\circ$  от  $180^\circ$ , а FMA и TMA должны составлять  $\pm 5^\circ$  по отношению к механической оси. В большинстве «стандартных» случаев при использовании КА опил большеберцовой кости не достигает 14 мм и более. У пациентов с тяжелыми деформациями увеличение резекции большеберцовой кости может привести к повреждению коллатеральных связок и в дальнейшем значительно затруднить ревизионное ТЭКС. Также при сильном варусном выравнивании большеберцового компонента увеличивается риск ранней асептической нестабильности импланта [18].

В связи с этим Р. Winnock de Grave и соавторами была описана концепция iKA с использованием роботизированной системы [19]. iKA начинается с равномерного поверхностного опиления большеберцовой кости с учетом износа костной ткани. Далее происходит восстановление исходного медиального проксимального угла большеберцовой кости в пределах безопасной зоны  $84-92^\circ$ . Бедренный компонент позиционируется так, чтобы медиальная суставная щель была равномерна как при сгибании, так и при разгибании. Коррекция промежутков достигается за счет задних и дистальной резекций бедренной кости. Целью данной техники является создание равномерных сгибательно-разгибательных промежутков с остаточной слабостью 1–3 мм в латеральном и 1–2 мм в медиальном отделах. Целевой угол НКА остается в безопасной зоне между  $174^\circ$  и  $183^\circ$ .

Функциональное выравнивание (далее – FA) преследует схожие цели и было разработано по тем же причинам, что и КА [20, 21]. Данная концепция предполагает возможность интраоперационного контроля выравнивания костных резекций, положения импланта и натяжения связок с помощью роботизированных систем (РС). Использование РС позволяет производить количественные измерения резекций, оценивать положение компонентов относительно нативной оси конечности и баланс мягких тканей с точностью до 1 мм или  $1^\circ$ . В связи с этим при использовании FA снижается необходимость в чрезмерных костных резекциях и мягкотканых релизах для восстановления нативной кинематики КС.

Выполнение техник МА, АА, гКА, КА возможно мануально, с использованием компьютерной навигации, индивидуальных опилочных блоков, РС. iKA возможно выполнить

мануально, но ввиду сложности данной техники чаще всего она используется при робот-ассистированном ТЭКС. В связи с необходимостью интраоперационного количественного контроля показателей осуществление FA возможно только при использовании РС.

На данный момент на рынке существует более 9 РС, таких как TSolutionOne (ThinkSurgical, США), NAVIO (Smith&Nephew, Великобритания), ROSA (ZimmerBiomet, США), OMNIbotics (Corin, Великобритания), SpineAssist (MAZORRobotics, Израиль), Globus (ExcelsiusMedical, Германия), Cuvis (MerilHealthcare, Индия), VELYS (DepuySynthes, США), Мако (Stryker, США). Несмотря на все преимущества функционального выравнивания, большинство РС данную функцию не поддерживают. С помощью роботизированной системы Мако возможно выполнение ТЭКС по методикам: АА, МА, КА, rKA, iKA и FA. Мако использует 3D-модель КС пациента для предоперационного планирования хирургического вмешательства. Система обеспечивает как слуховую, так и тактильную обратную связь, ограничивая рабочее пространство пилы. Мако является параллельным манипулятором (хирург и робот работают вместе для перемещения инструмента). Интраоперационный контроль показателей осуществляется на каждом этапе оперативного вмешательства, начиная с установки антенн для регистрации костной ткани и заканчивая имплантацией эндопротеза.

Цель данного исследования: провести сравнение результатов робот-ассистированного ТЭКС с использованием МАКО в режимах МА и FA в раннем послеоперационном периоде, через 3 и 6 месяцев после вмешательства.

### **Материалы и методы исследования**

В проведенном исследовании пациенты были распределены на 2 группы по 10 человек в каждой. В первой группе во время ТЭКС использовалась методика МА, во второй – FA. Среди включенных в исследование пациентов преобладали лица женского пола (12 женщин, 8 мужчин). Средний возраст пациентов, принявших участие в исследовании, составил  $64,4 \pm 9,12$  года (47–81 год). У всех пациентов имели место первичный гонартроз 3–4-й степени и варусная деформация КС  $2-21^\circ$ . Всем пациентам было проведено ТЭКС с использованием роботизированной системы Мако. Полученные результаты исследования статистически обрабатывались с использованием стандартного программного пакета Statistica версии 6.0 (рус.). Достоверность различий между показателями оценивалась при помощи вычисления t-критерия Стьюдента, где достоверными принимались результаты при  $p < 0,05$ .

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Оценка результатов хирургического лечения осуществлялась через 3 и 6 месяцев с момента проведения операции при помощи шкал: визуальной аналоговой шкалы боли (VAS, ВАШ), FJS-12 (предложенной Н. Behrend в 2012 г. для оценки результатов эндопротезирования КС и ожиданий пациентов от этой операции), опросников KSS (Hospital

for Special Surgery, популяризированный J. Insall в 1989 г. для клинической оценки КС и оценки возможностей пациентов в быту), KOOS (The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score, разработанной E. Roos для оценки функции КС и активности пациента в повседневной и активной спортивной жизни) [22–24].

В раннем послеоперационном периоде у всех пациентов по шкале VAS отмечались баллы 3–6. После операции активизация пациентов производилась на 1-е сутки. На 2-е сутки после вмешательства пациенты приступали к занятиям лечебной физической культурой. Выписка из стационара проводилась на 3-и сутки с момента операции. В дальнейшем полный отказ от дополнительной опоры осуществлялся пациентами на 14-е сутки с момента хирургического вмешательства.

Через 3 месяца после операции по шкале VAS при МА средний балл равнялся  $3,0 \pm 0,99$ , при FA –  $1,7 \pm 0,48$ , ( $p=0,001$ ). Объем движений в КС составлял при МА 0–3–100, при FA – 0–1–117. По шкале KSS (функциональная подшкала) у пациентов при МА баллы составляли  $70 \pm 9,43$  (хорошо), при FA –  $84,5 \pm 9,56$  (отлично) ( $p=0,009$ ). По клинической подшкале баллы составили  $53,8 \pm 10,56$  (неудовлетворительно) и  $83,3 \pm 6,46$  (отлично) соответственно ( $p=0,001$ ).

По шкале KOOS баллы распределились следующим образом: симптомы –  $42,9 \pm 9,96\%$  (более выражены) при МА и  $75,9 \pm 6,73\%$  (менее выражены) при FA, ( $p=0,001$ ); боль –  $47,8 \pm 12,28\%$  (более интенсивная) и  $74,7 \pm 6,5\%$  (менее интенсивная) соответственно ( $p=0,001$ ); повседневная активность –  $53,7 \pm 8,78\%$  (более низкая) и  $72,2 \pm 7,68\%$  (более высокая) соответственно ( $p=0,001$ ); спорт –  $23,5 \pm 7,84\%$  (низкая активность) и  $58,0 \pm 12,95\%$  (высокая активность) соответственно ( $p=0,001$ ); качество жизни –  $43,1 \pm 17,29\%$  и  $70,6 \pm 8,36\%$  соответственно ( $p=0,001$ ).

Через 6 месяцев после операции по шкале VAS при МА средний балл равнялся  $1,6 \pm 0,7$ , при FA –  $0,5 \pm 0,53$  ( $p=0,002$ ). Объем движений в КС составлял при МА 0–1,5–108, при FA 0–0–125. По шкале KSS (функциональная подшкала) у пациентов при МА баллы составляли  $90,0 \pm 8,16$  (отлично), при FA –  $98,0 \pm 4,22$  (отлично) ( $p=0,005$ ). По клинической подшкале баллы составили  $70,0 \pm 8,83$  (хорошо) и  $94,5 \pm$  (отлично) соответственно ( $p=0,001$ ).

По шкале KOOS баллы распределились следующим образом: симптомы –  $72,5 \pm 8,27\%$  при МА и  $92,1 \pm$  при FA; боль –  $69,7 \pm 7,22\%$  (более интенсивная) и  $92,5 \pm 5,08\%$  (менее интенсивная) соответственно ( $p=0,001$ ); повседневная активность –  $72,2 \pm 7,8\%$  (более низкая) и  $88,7 \pm 8,08\%$  (более высокая) соответственно ( $p=0,001$ ); спорт –  $55,5 \pm 14,62\%$  (низкая активность) и  $84,0 \pm 7,75\%$  (высокая активность) соответственно ( $p=0,001$ ); качество жизни –  $78,1 \pm 11,12\%$  и  $92,5 \pm 7,07\%$  соответственно ( $p=0,005$ ).

По шкале «забытого сустава» баллы составляли через 3 месяца при МА  $33,0 \pm 6,93$  (умеренная степень осознания пациентом и низкая степень забывания о протезе КС), при FA

20,8±6,68 (низкая степень осознания и высокая степень забывания о протезе КС) (p=0,002), через 6 месяцев – 18,1±5,99 и 8,7±4,0 соответственно (p=0,002).

### **Выводы**

Несмотря на достижения в эндопротезировании КС, произошедшие за последние годы, сохраняется достаточно высокий уровень неудовлетворенности пациентов результатами хирургического лечения (18–20%). Максимально точно имплантированный эндопротез КС должен способствовать улучшению функциональных и клинических показателей НК, снижению болевого синдрома у пациента, улучшению качества жизни и увеличению повседневной и физической активности пациентов. В настоящее время набирает популярность концепция FA. Первичные результаты исследования свидетельствуют о лучших клинических и функциональных показателях у пациентов после робот-ассистированного ТЭКС через 3 и 6 месяцев после вмешательства при использовании методики FA при сравнении с методикой МА.

### **Список литературы**

1. Schelker B.L., Moret C.S., von Eisenhart-Rothe R., Graichen H., Arnold M.P., Leclercq V., Huegeli R.W., Hirschmann M.T. The impact of different alignment strategies on bone cuts for neutral knee phenotypes in total knee arthroplasty // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2023. Vol. 31. Is. 4. P. 1267-1275. DOI: 10.1007/s00167-022-07209-7.
2. Jang S.J., Kunze K.N., Casey J.C., Steele J.R., Mayman D.J., Jerabek S.A., Sculco P.K., Vigdorichik J.M. Variability of the femoral mechanical-anatomical axis angle and its implications in primary and revision total knee arthroplasty // *Bone and Joint Open*. 2024. Vol. 5. Iss. 2. P. 101-108. DOI: 10.1302/2633-1462.52.BJO-2023-0056.R1.
3. Tew M., Waugh W. Tibiofemoral alignment and the results of knee replacement // *Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*. 1985. Vol. 67. Iss. 4. P. 551-556. DOI: 10.1302/0301-620X.67B4.4030849.
4. Tokunaga S., Rogge R.D., Small S.R., Berend M.E., Ritter M.A. A Finite-Element Study of Metal Backing and Tibial Resection Depth in a Composite Tibia Following Total Knee Arthroplasty // *Journal of Biomechanical Engineering*. 2016. Vol. 138. Iss. 4. P. 041001. DOI: 10.1115/1.4032551.
5. Bonnin M.P., Basiglini L., Archbold H.A. What are the factors of residual pain after uncomplicated TKA? // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2011. Vol. 19. Iss. 9. P. 1411-1417. DOI: 10.1007/s00167-011-1549-2.



6. Høvik L.H., Winther S.B., Foss O.A., Gjeilo K.H. Preoperative pain catastrophizing and postoperative pain after total knee arthroplasty: a prospective cohort study with one year follow-up // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2016. Vol. 17. P. 214. DOI: 10.1186/s12891-016-1073-0.
7. Nashi N., Hong C.C., Krishna L. Residual knee pain and functional outcome following total knee arthroplasty in osteoarthritic patients // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2015. Vol. 23. Iss. 6. P. 1841-1847. DOI: 10.1007/s00167-014-2910-z.
8. Moser L.B., Hess S., Amsler F., Behrend H., Hirschmann M.T. Native non-osteoarthritic knees have a highly variable coronal alignment: A systematic review // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2019. Vol. 27. Iss. 5. P. 1359-1367. DOI: 10.1007/s00167-019-05417-2.
9. Hovinga K.R., Lerner A.L. Anatomic variations between Japanese and Caucasian populations in the healthy young adult knee joint // *Journal of Orthopaedic Research*. 2009. Vol. 27. Iss. 9. P. 1191-1196. DOI: 10.1002/jor.20858.
10. Hungerford D.S., Kenna R.V., Krackow K.A. The porous-coated anatomic total knee // *Orthopaedic Clinics of North America*. 1982. Vol. 13. P. 103-122.
11. Ahmed I., Salmon L.J., Waller A., Watanabe H., Roe J.P., Pinczewski L.A. Total knee arthroplasty with an oxidised zirconium femoral component: ten-year survivorship analysis // *Bone and Joint Journal*. 2016. Vol. 98. P. 58-64. DOI: 10.1302/0301-620X.98B1.36314.
12. Begum F.A., Kayani B., Magan A.A., Chang J.S., Haddad F.S. Current concepts in total knee arthroplasty : mechanical, kinematic, anatomical, and functional alignment // *Bone and Joint Open*. 2021. Vol. 2. P. 397-404. doi:10.1302/2633-1462.26.BJO-2020-0162.R1.
13. Kim K.K., Howell S.M., Won Y.Y. Kinetically Aligned Total Knee Arthroplasty with Patient-Specific Instrument // *Yonsei Medical Journal*. 2020. Vol. 61. Iss. 3. P. 201-209. DOI: 10.3349/ymj.2020.61.3.201.
14. Sappey-Marinié E., Pauvert A., Bataillier C., Swan J., Cheze L., Servien E., Lustig S. Kinematic versus mechanical alignment for primary total knee arthroplasty with minimum 2 years follow-up: A systematic review // *SICOT Journal*. 2020. Vol. 6:18. DOI: 10.1051/sicotj/2020014.
15. Young S.W., Sullivan N.P.T., Walker M.L., Holland S., Bayan A., Farrington B. No difference in 5-year clinical or radiographic outcomes between kinematic and mechanical alignment in TKA: A randomized controlled trial // *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2020. Vol. 478. Iss. 6. P. 1271-1279. DOI: 10.1097/CORR.0000000000001150.
16. 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 // *Journal of Knee Surgery*. 2019. Vol. 34. Iss. 1. P. 87-93. DOI: 10.1055/s-0039-1693000.

17. Almaawi A.M., Hutt J.R.B., Masse V., Lavigne M., Vendittoli P.A. The Impact of Mechanical and Restricted Kinematic Alignment on Knee Anatomy in Total Knee Arthroplasty // *Journal of Arthroplasty*. 2017. Vol. 32. Iss. 7. P. 2133-2140. DOI: 10.1016/j.arth.2017.02.028.
18. Zhu S., Zhang X., Chen X., Wang Y., Li S., Qian W., Peng H., Wang W., Lin J., Jin J., Weng X. Degree of coronal alignment correction can't predict knee function in total knee replacement. *BMC Surg*. 2021. Vol. 21. Iss. 1. P. 383. DOI: 10.1186/s12893-021-01372-3.
19. Winnock de Grave P., Luyckx T., Claeys K., Tampere T., Kellens J., Müller J. Higher satisfaction after total knee arthroplasty using restricted inverse kinematic alignment compared to adjusted mechanical alignment // *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2020. Vol. 30. P. 488-499. DOI: 10.1007/s00167-020-06165-4.
20. Kayani B., Konan S., Tahmassebi J., Oussedik S., Moriarty P.D., Haddad F.S. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty // *Trials*. 2020. Vol. 21. Iss. 1. P. 194. DOI: 10.1186/s13063-020-4123-8.
21. Karachalios T., Komnos G.A. Individualized surgery in primary total knee arthroplasty // *EFORT Open Review*. 2020. Vol. 5. Iss. 10. P. 663-671. DOI: 10.1302/2058-5241.5.190085.
22. Behrend H., Giesinger K., Giesinger J.M., Kuster M.S. The «forgotten joint» as the ultimate goal in joint arthroplasty: validation of a new patient-reported outcome measure // *The Journal of Arthroplasty*. 2012. Vol. 27. Is. 3. P.430-436.e1. DOI: 10.1016/j.arth.2011.06.035.
23. Иржанский А.А., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н.. Валидация и культурная адаптация шкал оценки исходов заболеваний, повреждений и результатов лечения коленного сустава WOMAc, KSS и Fjs-12 // *Травматология и ортопедия России*. 2018. Т. 24. №. 2. С. 70-79.
24. Бараненков А.А., Голозубов О.М., Голубев В.Г., Голубев Г.Ш., Жданов В.Г. Региональная адаптация шкалы оценки исходов повреждений и заболеваний коленного сустава KOOS // *Травматология и ортопедия России*. 2007. №. 1. С. 26-32.