

*Мохаммад Али Алькатауне, Е. В. Жук, П. И. Беспальчук*

## **ДЕФОРМАЦИИ И КОНТРАКТУРЫ КОЛЕННОГО СУСТАВА**

*УО «Белорусский государственный медицинский университет»*

*В статье приведен сравнительный анализ функциональных результатов тотального эндопротезирования коленного сустава и его послеоперационной деформации и контрактуры у 124 пациентов (22 мужчины и 102 женщины), страдающих гонартрозом, в возрасте от 51 до 83 лет (в среднем 69,8 года), оперированных с использованием стандартной методики ( $n = 62$ ) либо с использованием системы компьютерной навигации ( $n = 62$ ), наблюдавшихся в течение 12 мес. с момента хирургического вмешательства. Использование навигационной системы позволило в ряде случаев достичь более точной резекции бедренной и большеберцовой костей (6,5 % случаев отклонений от анатомической оси против 19,4 % в контрольной группе), а также определить степени деформации и выраженность контрактуры для достижения наиболее оптимальной амплитуды движения после эндопротезирования (3,2 % против 8,1 %), однако данных о достоверном превосходстве функциональных результатов в указанные сроки наблюдения не выявлено.*

**Ключевые слова:** коленный сустав, эндопротезирование, компьютерная навигация.

*Mohammad Ali Alqatawneh, E.V. Zhuk, P. I. Bespalchuk*

## **DEFORMATION AND CONTRACTURE OF KNEE JOINT**

*The article provides a comparative analysis of the functional results of total knee arthroplasty and its postoperative deformity and contracture in 124 patients (22 men and 102 women) suffering from gonarthrosis, aged 51 to 83 years (average 69.8 years), operated on with using a standard technique ( $n = 62$ ) or using a computer navigation system ( $n = 62$ ), observed for 12 months. from the moment of surgery. The use of the navigation system made it possible in a number of cases to achieve more accurate resection of the femur and tibia (6.5 % of cases of deviations from the anatomical axis versus 19.4 % in the control group), as well as to determine the degree of deformity and severity of contracture to achieve the most optimal range of motion after endoprosthesis (3.2 % versus 8.1 %), however, there was no evidence of a significant superiority of functional results within the indicated follow-up period.*

**Key words:** knee joint, arthroplasty, computer navigation.

После завершения регистрации большеберцовой кости и верификации рассчитанной модели определяли величину деформации и выраженность контрактуры коленного сустава. Для этого коленный сустав удерживали в крайних положениях разгибания и сгибания, во время чего производили их регистрацию компьютером. Данные о предоперационном нарушении оси конечности и амплитуды движений вносили в окончательный отчет о процедуре для сравнения с конечным результатом.

Уменьшение амплитуды движений (АД) остается проблемой при тотальном эндопротезировании коленного сустава (ТЭКС). Факторами, влияющими на послеоперационное АД, являются предоперационная и интраоперационная АД [37], возраст

пациента [32], индекс массы тела (ИМТ) [10], тип протеза [34], соотношение Инсолла–Сальвати [31] и смещение задней части мыщелка бедра [6]. Восстановление равных промежутков сгибания и разгибания является широко распространенной хирургической целью и считается важным для хорошего функционирования сустава. Это также объясняется снижением жесткости [19] или нестабильности [32]. Тем не менее, биомеханическое исследование [25] показало, что небольшое и контролируемое увеличение (2 мм) сгибания приводило к уменьшению тибioфemorальной силы за пределами 90° пассивного сгибания колена, не влияя на растяжение средней и боковой связок. Эти биомеханические результаты показывают, что увеличение сгибательной щели может приве-

сти к лучшей послеоперационной АД, не влияя на стабильность коленного сустава. Несколько клинических сравнительных исследований также показали увеличение удовлетворенности пациентов при слегка ослабленных связках коленных суставах [12, 28]. Тем не менее, большинство из исследователей не увеличивали сгибательные щели преднамеренно, и опубликовали небольшое количество исследований для оценки вышеуказанных результатов. Таким образом, необходимо дальнейшее изучение клинических эффектов преднамеренно увеличенного сгибания с акцентом на АД, стабильность коленного сустава и показатели результата, о которых сообщают пациенты. Гипотеза текущего исследования заключалась в том, что увеличение сгибания приведет к увеличению послеоперационной функции.

ТЭКС – оптимальное лечение прогрессирующего артроза коленного сустава. Однако смещение бедренного и большеберцового компонентов остается серьезной проблемой. Было проведено много дискуссий о приемлемом диапазоне механического выравнивания для успешной операции. В последнее время ставится под сомнение важность общего механического выравнивания в ТЭКС и его влияние на выживаемость имплантатов, хотя большинство авторов по-прежнему предпочитают размещать механическую ось в пределах  $3^\circ$  от нейтральной механической оси. Имеется ряд технологий, помогающих хирургам получить желаемое положение компонентов и механическое выравнивание в ТЭКС. К ним относятся экстрамедуллярные (ЭМ) и интрамедуллярные (ИМ) механические устройства, большие консольные компьютерные навигационные (КН) системы. Традиционный метод использования направляющей для выравнивания большеберцовой кости ЭМ и направляющей для бедренной кости ИМ для достижения проксимальной резекции большеберцовой и дистальной части бедренной кости перпендикулярно их механическим осям имеет ограниченную степень точности для всего механического выравнивания и размещения отдельных компонентов эндопротеза [1].

Подъем линии сустава более чем на  $5^\circ$  может привести к появлению нестабильности надколенника, столкновению компонента надколенника и боли в колене. Другие потенциальные проблемы влияют на функцию коллатеральной связки и квадрицепса, что приводит к нестабильности протеза и неудовлетворенности пациента [13, 15].

Потеря разгибания голени во время функциональной активности обычно встречается с возрастом [4]. Однако дегенеративные состояния, такие как остеоартрит, связаны с гораздо большей потерей разгибания. ТЭКС является признанной и весьма успешной хирургической процедурой для лечения остеоартроза коленного сустава [11] и важным результатом операции является восстановление полного разгибания остеоартрозного коленного сустава [40]. Действительно, пациенты со сгибательной контрактурой сообщают о худших послеоперационных исходах, а степень сгибательной контрактуры напрямую показывает худшие послеоперационные результаты [38]. Сгибательная контрактура в оперированной конечности также может привести к механическим перегрузкам и ухудшению прогрессирования заболевания в противоположной конечности [21]. Несмотря на очевидную важность разгибания для функции и качества жизни, большинство исследований диапазона движений в коленном суставе после ТЭКС сосредоточены на максимальном сгибании [9, 27]. Тем не менее, был выявлен ряд факторов риска, которые могут прогнозировать развитие послеоперационного ограничения функции. К ним относятся уже существующая сгибательная контрактура [29], предоперационная гиперэкстензия более  $9^\circ$  и мужской пол [38]. В настоящее время было доказано, что дистальная резекция бедренной кости значительно изменяет функцию [7, 14]. Сгибательная контрактура оценивалась во время операции путем визуального осмотра колена при полном разгибании [8, 20], однако Gallie P. A. с авторами, сообщили о неточностях в среднем  $5,57^\circ$  для этого метода [18]. Достижения в области технологии позволили повысить точность и улучшить выравнивание имплантов за счет использования RY технологии для ТЭКС [41]. Однако до настоящего времени было проведено небольшое количество исследований с использованием интраоперационных данных, предоставленных системами КН, чтобы попытаться уменьшить сгибательную контрактуру.

Целью настоящего исследования было выявление интраоперационных предпосылок развития контрактуры после первичной ТЭКС, для получения наилучшего результата резекции.

В основу работы положены сведения о результатах обследования и лечения 124 больных с первичным гонартрозом III стадии в возрасте от 51 до 83 лет. Все пациенты проходили хирур-

гическое лечение в УЗ 6-я ГКБ в отделениях травматологии и ортопедии с сентября 2019 по апрель 2020 года.

Во время операции использовали навигационную систему Vector Vision фирмы «BrainLAB» (Германия), состоящую из неподвижных и мобильных датчиков, инфракрасной камеры с излучателем, улавливающей перемещение датчиков в пространстве, и компьютера с программным обеспечением.

В системе КН, использованной нами, программное обеспечение было универсальным, что позволило применять эндопротезы и инструменты различных типов, в частности, нами использовались эндопротезы с цементной фиксацией. Комплексную оценку функции коленного сустава перед операцией, через три и шесть месяцев после вмешательства проводили с использованием балльных шкал WOMAC и KSS [5]. Проведен ретроспективный анализ 124 случаев ТЭКС, выполненных на базе УЗ «6-я ГКБ» Статистическая обработка данных производилась с помощью программ Microsoft Excel и IBMSPSS v.20. Обработка рентгенограмм выполнялась с использованием программы eFilm.

**Технические особенности применения КН «Brain Lab» при ТЭКС.** В компьютерных навигационных системах анатомическая модель заложена в программное обеспечение, и её приведение в соответствие с индивидуальными особенностями пациента производилась путём интраоперационной поэтапной регистрации контрольных точек и отслеживания калиброванного инструмента с инфракрасными датчиками, устанавливаемыми на ориентирах в рабочем поле. Благодаря этому, отпала необходимость в дополнительном предоперационном планировании с использованием компьютерной или магнитно-резонансной томографии, или рентгеновских снимков. Вместе с тем, точность соответствия виртуальной анатомической модели истинным анатомическим параметрам напрямую зависит от качества регистрации контрольных точек.

Система помогает хирургу точно оценить степень деформации и контрактуру коленного сустава, проанализировать кинематику бедренно-большеберцового и бедренно-надколенникового сочленения, спланировать размеры и пространственную ориентацию имплантата в зависимости от индивидуальных анатомических особенностей пациента, проконтролировать выполнение костных опилов и степень баланса капсульно-связочных образований, изучить и задокументировать конечный результат эндопротезирования. Следует под-

черкнуть, что система является только вспомогательным средством в работе ортопеда и не может заменить его профессиональный опыт или снять с него ответственность за результат операции.

Программа идентифицирует кость по геометрической форме прикрепленного датчика. Y-образный датчик прикрепляется к бедренной кости, а T-образный датчик – к большеберцовой кости. Для того, чтобы избежать контакта между датчиками и хирургическими инструментами, при размещении датчиков нужно учитывать размер как имплантата, так и хирургических инструментов. Важно надёжно зафиксировать стационарные датчики. Любое смещение датчиков может повлиять на всю измерительную систему координат. При «стандартном» рабочем процессе сначала регистрируем бедренную кость, а затем сразу же выполняем регистрацию большеберцовой кости. После завершения регистрации последней и верификации рассчитанной модели, определяется величина деформации и выраженность контрактуры коленного сустава. Далее программа автоматически вычисляет размер и положение бедренного компонента на основании точек, полученных во время регистрации бедренной кости, а также технических условий производителя эндопротеза. После выполнения резекций костей при помощи «вставок» производится балансировка связок, во время которой можно проверить размер медиального и латерального промежутков, который программа отображает в миллиметрах. Проводя необходимые элементы релиза, необходимо добиться равных значений в медиальном и латеральном отделах. Когда завершены все шаги планирования, резекции и верификации костных опилов на примерочных компонентах эндопротеза, можно перейти к определению оси конечности. После имплантации ТЭКС можно также количественно оценить АД, баланс мягких тканей и сохранить эти данные.

Наиболее важным результатом настоящего исследования было то, что контролируемое увеличение промежутка сгибания приводило к улучшению АД и улучшению оценки пациента при измерении с помощью FJS-12. Равные амплитуды сгибания и разгибания считаются конечной целью в ТЭКС. Этот критерий был также включен в конструкцию большинства КН систем. Хотя навигация повысила точность положения компонентов и общего положения конечностей [23, 26], в большинстве исследований она не улучшила удовлетворенность пациентов или АД [22, 30]. Новейшие ме-



тодики, включая частично сбалансированную модифицированную технику уравнивания [3, 39], новые эндопротезы, такие как изготовленные по индивидуальному заказу [36] или высокогибкие имплантаты [2], также не могли достичь значительного улучшения в оценке АД. В сравнительном исследовании двусторонних ТЭКС Kuster M. S. с соавт. [28] показали, что есть пациенты, которые предрасположены к слабости коленных суставов, указывающей на то, что некоторая слабость в ТЭКС может быть нормальной. Исследование Jeffcote B. [25], показало, что увеличение промежутка сгибания может оказать положительное влияние на послеоперационную функцию связок, не влияя на стабильность колена.

Некоторые исследования о влиянии дисбаланса промежутка не могли найти явного увеличения сгибания [16, 24, 33]. Minoda Y. с соавт. [32] не обнаружили корреляции между дисбалансом в зазоре и сгибанием колена, в то время как Higuchi H. с соавт. [24] обнаружили положительную корреляцию между разницей в зазорах и послеоперационным сгибанием, но только для коленного протеза с фиксированной опорой. Fujimoto E. с соавт. [17] сообщили об отсутствии значительного влияния увеличения промежутка сгибания в послеоперационной шкале WOMAC. Возможные объяснения противоречивых результатов – оперативная техника, дизайн и различные параметры оценки. Анализ среднего значения послеоперационного сгибания коленного сустава может не полностью отражать влияние разницы зазора. В настоящем исследовании число пациентов, достигших удовлетворительной или хорошей АД, было статистически значимым, но не разницей в среднем пассивном сгибании. Хорошо известно, что пациенты с АД ниже  $100^\circ$  испытывают проблемы в повседневной деятельности, такой как подъем по лестнице, приседание на корточках или даже сидение. Следовательно, важным выводом является то, что в этой группе функция была меньшей, чем у пациентов с увеличенным промежутком сгибания. Опасение, что большой промежуток сгибания может привести к нестабильности при глубоком сгибании, не подтвердилось, и послеоперационная слабость коленного сустава не различалась между двумя группами. Небольшая слабость может быть благоприятной, поскольку было показано, что она улучшает результаты, сообщаемые пациентами [12, 28]. Наконец, представляется важным сделать правильный выбор результатов измерений, чтобы разли-

чать хорошо и очень хорошо функционирующие эндопротезы. Интересным выводом этого исследования было то, что мы могли измерить значительное ( $p = 0,01$ ) улучшение после операционной АД, оцениваемой с помощью FJS-12, которое не могло быть обнаружено по шкале WOMAC. Несмотря на то, что результаты для пациентов с более высоким объемом сгибания были немного лучше в баллах WOMAC, это различие не было статистически значимым ( $p = 0,05$ ). В исследовании Fujimoto E. с соавт. [17] было также изучено влияние разницы оценок пациентов. Общий балл WOMAC, хотя и меньший для пациентов с увеличенным промежутком, не показал статистической значимости, что согласуется с нашими результатами. FJS-12, с другой стороны, был в состоянии обнаружить тонкие субъективные различия в пользу группы с более высоким сгибательным промежутком. Это качество FJS-12 уже было признано и обсуждено в других исследованиях [5, 17]. Было установлено, что FJS-12 является более гибкой и подходящей оценочной мерой [39]. Причина повышенной избирательной способности FJS-12 у пациентов с хорошей функцией, вероятно, указывает на то, что это более чувствительная методика. Показателя «забытый сустав» (т. е. полноценная функция в пораженном суставе во время различных видов повседневной жизни) очень трудно достичь [17], и это сопровождается эффектом более низкого потолка по сравнению с другими показателями, такими как WOMAC [5].

Продолжительность наших наблюдений составила 9 месяцев. Этого периода было достаточно для того, чтобы большинство пациентов достигали максимального сгибания [35,37], а также для подтверждения почти окончательного стабильного состояния в отношении удовлетворенности пациента и стабильности колена [16]. Для установления безопасности таких исследований потребуется более длительное наблюдение.

Таким образом, компьютерная навигация позволяет при выполнении дистального спила бедра учесть сгибательную контрактуру и гиперэкстензию коленного сустава, что сокращает время при тестовых примерках и для достижения адекватной амплитуды движений.

### Литература

1. Anderson, K. C. Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: comparison with conventional methods / K. C. Anderson, K. C. Buehler, D. C. Markel // J Arthroplasty. – 2005. – Vol. 20, № 7. – Suppl 3. – P. 132.

2. *Arirachakaran, A.* Clinical outcomes after high-flex versus conventional total knee arthroplasty / *A. Arirachakaran, T. Wande, K. Pituckhanotai, P. Predeeprompan, J. Kongtharvonskul // Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, № 60. – P. 1610–1621.
3. *Baier, C.* Improved kinematics of total knee replacement following partially navigated modified gap-balancing technique / *C. Baier, W. Fitz, B. Craiovan, A. Keshmiri, S. Winkler, R. Springorum, J. Grifka, J. Beckmann // Int Orthop.* – 2014. – Vol. 38, № 2. – P. 243–249.
4. *Begg, R. K.* Ageing effects on knee and ankle joint angles at key events and phases of the gait cycle / *R. K. Begg, W. A. Sparrow // J Med Eng Technol.* – 2006. – Vol. 30, № 6. – P. 382–389.
5. *Behrend, H.* The “forgotten joint” as the ultimate goal in joint arthroplasty: validation of a new patient-reported outcome measure / *H. Behrend, K. Giesinger, J. M. Giesinger, M. S. Kuster // J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 3. – P. 430–436.
6. *Bellemans, J.* Fluoroscopic analysis of the kinematics of deep flexion in total knee arthroplasty. Influence of posterior condylar offset / *J. Bellemans, S. Banks, J. Victor, H. Vandenuecker, A. Moemans // J Bone Jt Surg Br.* – 2002. – Vol. 84, № 1. – P. 50–53.
7. *Bellemans, J.* Flexion contracture in total knee arthroplasty / *J. Bellemans, H. Vandenuecker, J. Victor, Vanlauwe // J Clin Orthop Relat.* – 2006. – Res. 452. – P. 78–82.
8. *Campbell, D. G.* Multiparameter quantitative computer-assisted tomography assessment of unicompartmental knee arthroplasties / *D. G. Campbell, L. J. Johnson, S. C. West // ANZ J Surg.* – 2006. – Vol. 76, № 9. – P. 782–787.
9. *Casino, D.* Intraoperative evaluation of total knee replacement: kinematic assessment with a navigation system / *D. Casino, S. Zaffagnini, S. Martelli, N. Lopomo, S. Bignozzi, F. Iacono, A. Russo, M. Marcacci // Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2009. – Vol. 17, № 4. – P. 369–373.
10. *Dennis, D. A.* Factors affecting flexion after total knee arthroplasty / *D. A. Dennis, R. D. Komistek, G. R. Scuderi // Zingde Clin Orthop Relat.* – 2007. – Res. 464. – P. 53–60.
11. *Dixon, M. C.* Modular fixed-bearing total knee arthroplasty with retention of the posterior cruciate ligament. A study of patients followed for a minimum of fifteen years / *M. C. Dixon, R. R. Brown, D. Parsch, R. D. Scott // J Bone Joint Surg.* – 2005. – Am. 87. – P. 598–603.
12. *Edwards, E.* The effect of postoperative collateral ligament laxity in total knee arthroplasty / *E. Edwards, J. Miller // Chan Clin Orthop Relat.* – 1988. – Res. 236. – P. 44–51.
13. *Engh, G. A.* Joint line restoration and flexion extension balance with revision total knee arthroplasty. Revision total knee arthroplasty / *G. A. Engh, Mc. Auley // JP. Baltimore. Williams and Wilkins.* – 1997. – P. 235.
14. *Ferber, R.* Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in older adults / *R. Ferber, L. Osternig, D. Gravelle // J Electromyogr Kinesiol.* – 2002. – Vol. 12, № 5. – P. 391–397.
15. *Figgie III H. E.* The influence of tibial – patella femoral location on function of the knee in patients with the posterior stabilized condylar knee prosthesis / *H. E. Figgie III, V. M. Goldberg, K. G. Heiple [et al.] // J Bone Joint Surg Am.* – 1986. – Vol. 68-A. – P. 1035.
16. *Fitzgerald, J. D.* Patient quality of life during the 12 months following joint replacement surgery / *J. D. Fitzgerald, E. J. Orav, T. H. Lee, E. R. Marcantonio, R. Poss, L. Goldman, C. M. Mangione // Arthritis Rheum.* – 2004. – Vol. 51, № 1. – P. 100–109.
17. *Fujimoto, E.* Intra-operative gaps affect outcome and postoperative kinematics in vivo following cruciate-retaining total knee arthroplasty / *E. Fujimoto, Y. Sasashige, T. Tomita, H. Sasaki, Y. Touten, Y. Fujiwara, M. Ochi // Int Orthop.* – 2015. – doi:10.1007/s00264-015-2847-y
18. *Gallie, P. A.* Computer-assisted navigation for the assessment of fixed flexion in knee arthroplasty / *P. A. Gallie, E. T. Davis, K. Macgroarty, J. P. Waddell, E. H. Schemitsch Can // J Surg.* – 2010. – Vol. 53, № 1. – P. 42–46.
19. *Gandhi, R.* Predictive risk factors for stiff knees in total knee arthroplasty / *R. Gandhi, J. de Beer, J. Leone, D. Petrucelli, M. Winemaker, A. Adili // J Arthroplast.* – 2006. – Vol. 21, № 1. – P. 46–52.
20. *Giesinger, K.* Comparative responsiveness of outcome measures for total knee arthroplasty. *K. Giesinger, D. F. Hamilton, B. Jost, B. Holzner, J. M. Giesinger // Osteoarthritis Cartil.* – 2014. – Vol. 22, № 2. – P. 184–189.
21. *Harato, K.* Extension limitation in standing affects weight-bearing asymmetry after unilateral total knee arthroplasty / *K. Harato, T. Nagura, H. Matsumoto, T. Otani, Y. Toyama, Y. Suda // J Arthroplast.* – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 225–229.
22. *Harvie, P.* Computer navigation vs conventional total knee arthroplasty: five-year functional results of a prospective randomized trial / *P. Harvie, K. Sloan, R. J. Beaver // J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 5. – P. 667–672.
23. *Hetaimish, B. M.* Meta-analysis of navigation vs conventional total knee arthroplasty / *B. M. Hetaimish, M. M. Khan, N. Simunovic, H. H. Al-Harbi, M. Bhandari, P. K. Zalzal // J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 6. – P. 1177–1182.
24. *Higuchi, H.* Relationship between joint gap difference and range of motion in total knee arthroplasty: a prospective randomised study between different platforms / *H. Higuchi, K. Hatayama, M. Shimizu, A. Kobayashi, T. Kobayashi, K. Takagishi // Int Orthop.* – 2009. – Vol. 33, № 4. – P. 997–1000.
25. *Jeffcote, B.* The variation in medial and lateral collateral ligament strain and tibiofemoral forces following changes in the flexion and extension gaps in total knee replacement laboratory experiment using cadaver knees / *B. Jeffcote, R. Nicholls, A. Schirm, M. S. Kuster // J Bone Jt Surg Br.* – 2007. – Vol. 89, № 11. – P. 1528–1533.
26. *Kim, S. J.* Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: improved coronal alignment / *S. J. Kim, M. MacDonald, J. Hernandez, R. L. Wixson // J Arthroplast.* – 2005. – Vol. 20, № 7. – Suppl. 3. – P. 123–131.
27. *Klein, G. R.* The effect of knee component design changes on range of motion evaluation in vivo by a computerized navigation system / *G. R. Klein, C. Restrepo, W. J. Hozack // J Arthroplast.* – 2006. – Vol. 21, № 5. – P. 623–627.
28. *Kuster, M. S.* Influence of collateral ligament laxity on patient satisfaction after total knee arthroplasty: a comparative bilateral study / *M. S. Kuster, B. Bitschnau, T. Votruba // Arch Orthop Trauma Surg.* – 2004. – Vol. 124, № 4. – P. 15–41.
29. *Lam, L.O.* Fixed flexion deformity and flexion after knee arthroplasty. What happens in the first 12 months after surgery and can a poor outcome be predicted? / *L. O. Lam, S. Swift, D. Shakespeare // Knee.* – 2003. – Vol. 10, № 2. – P. 181–185.
30. *Lutzner, J.* No difference between computer-assisted and conventional total knee arthroplasty: five-year results of a prospective randomised study / *J. Lutzner, J. Dixel,*

S. Kirschner // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 10. – P. 2241–2247.

31. *Meneghini, R. M.* The effect of the Insall–Salvati ratio on outcome after total knee arthroplasty / R. M. Meneghini, M. A. Ritter, J. L. Pierson, J. B. Meding, M. E. Berend, P. M. Faris // *J Arthroplasty.* – 2006. – Vol. 21, № 6. – Suppl. 2. – P. 116–120.

32. *Minoda, Y.* Mobile-bearing prosthesis and intraoperative gap balancing are not predictors of superior knee flexion: a prospective randomized study / Y. Minoda, H. Iwaki, M. Ikebuchi, T. Yoshida, S. Mizokawa, M. Itokazu, H. Nakamura // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, № 7. – P. 986–1992.

33. *Muller, P. E.* Influence of minimally invasive surgery on implant positioning and the functional outcome for medial unicompartmental knee arthroplasty / P. E. Muller, C. Pellengahr, M. Witt, J. Kircher, H. J. Refior, V. Jansson // *J Arthroplasty.* – 2004. – Vol. 19, № 3. – P. 296–301.

34. *Nicholls, R. L.* Tibiofemoral force following total knee arthroplasty: comparison of four prosthesis designs in vitro / R. L. Nicholls, A. C. Schirm, B. O. Jeffcote, M. S. Kuster // *J Orthop.* – 2007. – Res. 25. – P. 1506–1512.

35. *Parsley, B. S.* Preoperative flexion. Does it influence postoperative flexion after posterior-cruciate-retaining total knee arthroplasty? / B. S. Parsley, G. A. Engh, K. A. Dwyer // *Clin Orthop Relat.* – 1992. – Res. 275. – P. 204–210.

36. *Pietsch, M.* Custom-fit minimally invasive total knee arthroplasty: effect on blood loss and early clinical outcomes / M. Pietsch, O. Djahani, Ch. Zweiger, F. Plattner, R. Radl, Ch. Tschauner, S. Hofmann // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 10. – P. 2234–2240.

37. *Ritter, M. A.* Predicting range of motion after total knee arthroplasty / M. A. Ritter, L. D. Harty, K. E. Davis, J. B. Meding // Berend Clustering, log-linear regression, and regression tree analysis // *J Bone Jt Surg Am.* – 2003. – Vol. 85, № 7. – P. 1278–1285.

38. *Ritter, M. A.* The role of flexion contracture on outcomes in primary total knee arthroplasty. / M. A. Ritter, J. D. Lutgring, K. E. Davis, M. E. Berend, J. L. Pierson, R. M. Meneghini // *J Arthroplasty.* – 2007. – Vol. 22, № 8. – P. 1092–1096.

39. *Roh, Y. W.* Preservation of the posterior cruciate ligament is not helpful in highly conforming mobile-bearing total knee arthroplasty: a randomized controlled study / Y. W. Roh, J. Jang, W. C. Choi, J. K. Lee, S. H. Chun, S. Lee, S. C. Seong, M. C. Lee // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 12. – P. 2850–2859.

40. *Scuderi, G. R.* Management of flexion contracture in total knee arthroplasty / G. R. Scuderi, T. Kochhar // *J Arthroplasty.* – 2007. – Vol. 22, № 4. – Suppl. 1. – P. 20–24.

## References

1. *Anderson, K. C.* Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: comparison with conventional methods. / K. C. Anderson, K. C. Buehler, D. C. Markel // *J Arthroplasty.* – 2005. – Vol. 20, № 7. – Suppl. 3. – P. 132.

2. *Arirachakaran, A.* Clinical outcomes after high-flex versus conventional total knee arthroplasty / A. Arirachakaran, T. Wandee, K. Pituckhanotai, P. Predeeprompan, J. Kongtharvonskul // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, № 60. – P. 1610–1621.

3. *Baier, C.* Improved kinematics of total knee replacement following partially navigated modified gap-balancing technique / C. Baier, W. Fitz, B. Craiovan, A. Keshmiri, S. Winkler,

R. Springorum, J. Grifka, J. Beckmann // *Int Orthop.* – 2014. – Vol. 38, № 2. – P. 243–249.

4. *Begg, R. K.* Ageing effects on knee and ankle joint angles at key events and phases of the gait cycle / R. K. Begg, W. A. Sparrow // *J Med Eng Technol.* – 2006. – Vol. 30, № 6. – P. 382–389.

5. *Behrend, H.* The “forgotten joint” as the ultimate goal in joint arthroplasty: validation of a new patient-reported outcome measure / H. Behrend, K. Giesinger, J. M. Giesinger, M. S. Kuster // *J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 3. – P. 430–436.

6. *Bellemans, J.* Fluoroscopic analysis of the kinematics of deep flexion in total knee arthroplasty. Influence of posterior condylar offset / J. Bellemans, S. Banks, J. Victor, H. Vandenneucker, A. Moemans // *J Bone Jt Surg Br.* – 2002. – Vol. 84, № 1. – P. 50–53.

7. *Bellemans, J.* Flexion contracture in total knee arthroplasty / J. Bellemans, H. Vandenneucker, J. Victor Vanlauwe // *J Clin Orthop Relat.* – 2006. – Res. 452. – P. 78–82.

8. *Campbell, D. G.* Multiparameter quantitative computer-assisted tomography assessment of unicompartmental knee arthroplasties / D. G. Campbell, L. J. Johnson, S. C. West // *ANZ J Surg.* – 2006. – Vol. 76, № 9. – P. 782–787.

9. *Casino, D.* Intraoperative evaluation of total knee replacement: kinematic assessment with a navigation system / D. Casino, S. Zaffagnini, S. Martelli, N. Lopomo, S. Bigozzi, F. Iacono, A. Russo, M. Marcacci // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2009. – Vol. 17, № 4. – P. 369–373.

10. *Dennis, D. A.* Factors affecting flexion after total knee arthroplasty / D. A. Dennis, R. D. Komistek, G. R. Scuderi // *Zingde Clin Orthop Relat.* – 2007. – Res. 464. – P. 53–60.

11. *Dixon, M. C.* Modular fixed-bearing total knee arthroplasty with retention of the posterior cruciate ligament. A study of patients followed for a minimum of fifteen years / M. C. Dixon, R. R. Brown, D. Parsch, R. D. Scott // *J Bone Joint Surg.* – 2005. – Am. 87 – P. 598–603.

12. *Edwards, E.* The effect of postoperative collateral ligament laxity in total knee arthroplasty / E. Edwards, J. Miller // *Chan Clin Orthop Relat.* – 1988. – Res. 236. – P. 44–51.

13. *Engh, G. A.* Joint line restoration and flexion extension balance with revision total knee arthroplasty. Revision total knee arthroplasty / G. A. Engh, Mc. Auley // *JP. Baltimore. Williams and Wilkins.* – 1997. – P. 235.

14. *Ferber, R.* Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in older adults / R. Ferber, L. Osternig, D. Gravelle // *J Electromyogr Kinesiol.* – 2002. – Vol. 12, № 5. – P. 391–397.

15. *Figgie, III H. E.* The influence of tibial – patella femoral location on function of the knee in patients with the posterior stabilized condylar knee prosthesis / H. E. Figgie III, V. M. Goldberg, K. G. Heiple [et al.] // *J Bone Joint Surg Am.* – 1986. – Vol. 68-A. – P. 1035.

16. *Fitzgerald, J. D.* Patient quality of life during the 12 months following joint replacement surgery / J. D. Fitzgerald, E. J. Orav, T. H. Lee, E. R. Marcantonio, R. Poss, L. Goldman, C. M. Mangione // *Arthritis Rheum.* – 2004. – Vol. 51, № 1. – P. 100–109.

17. *Fujimoto, E.* Intra-operative gaps affect outcome and postoperative kinematics in vivo following cruciate-retaining total knee arthroplasty / E. Fujimoto, Y. Sasashige, T. Tomita, H. Sasaki, Y. Touten, Y. Fujiwara, M. Ochi // *Int Orthop.* – 2015. – doi.10.1007.s00264–015–2847-y



18. Gallie, P. A. Computer-assisted navigation for the assessment of fixed flexion in knee arthroplasty / P. A. Gallie, E. T. Davis, K. Macgroarty, J. P. Waddell, E. H. Schemitsch *Can // J Surg.* – 2010. – Vol. 53, № 1. – P. 42–46.
19. Gandhi, R. Predictive risk factors for stiff knees in total knee arthroplasty / R. Gandhi, J. de Beer, J. Leone, D. Petruccelli, M. Winemaker, A. Adili // *J Arthroplast.* – 2006. – Vol. 21, № 1. – P. 46–52.
20. Giesinger, K. Comparative responsiveness of outcome measures for total knee arthroplasty. K. Giesinger, D. F. Hamilton, B. Jost, B. Holzner, J. M. Giesinger // *Osteoarthr Cartil.* – 2014. – Vol. 22, № 2. – P. 184–189.
21. Harato, K. Extension limitation in standing affects weight-bearing asymmetry after unilateral total knee arthroplasty / K. Harato, T. Nagura, H. Matsumoto, T. Otani, Y. Toyama, Y. Suda // *J Arthroplast.* – 2010. – Vol. 25, № 2. – P. 225–229.
22. Harvie, P. Computer navigation vs conventional total knee arthroplasty: five-year functional results of a prospective randomized trial / P. Harvie, K. Sloan, R. J. Beaver // *J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 5. – P. 667–672.
23. Hetaimish, B. M. Meta-analysis of navigation vs conventional total knee arthroplasty / B. M. Hetaimish, M. M. Khan, N. Simunovic, H. H. Al-Harbi, M. Bhandari, P. K. Zalzal // *J Arthroplast.* – 2012. – Vol. 27, № 6. – P. 1177–1182.
24. Higuchi, H. Relationship between joint gap difference and range of motion in total knee arthroplasty: a prospective randomised study between different platforms / H. Higuchi, K. Hatayama, M. Shimizu, A. Kobayashi, T. Kobayashi, K. Takagishi // *Int Orthop* – 2009. – Vol. 33, № 4. – P. 997–1000.
25. Jeffcote, B. The variation in medial and lateral collateral ligament strain and tibiofemoral forces following changes in the flexion and extension gaps in total knee replacement laboratory experiment using cadaver knees / B. Jeffcote, R. Nicholls, A. Schirm, M. S. Kuster // *J Bone Jt Surg Br.* – 2007. – Vol. 89, № 11. – P. 1528–1533.
26. Kim, S. J. Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: improved coronal alignment / S. J. Kim, M. MacDonald, J. Hernandez, R. L. Wixson // *J Arthroplast.* – 2005. – Vol. 20, № 7. – Suppl. 3. – P. 123–131.
27. Klein, G. R. The effect of knee component design changes on range of motion evaluation in vivo by a computerized navigation system / G. R. Klein, C. Restrepo, W. J. Hozack // *J Arthroplast.* – 2006. – Vol. 21, № 5. – P. 623–627.
28. Kuster, M. S. Influence of collateral ligament laxity on patient satisfaction after total knee arthroplasty: a comparative bilateral study / M. S. Kuster, B. Bitschnau, T. Votruba // *Arch Orthop Trauma Surg.* – 2004. – Vol. 124, № 4. – P. 15–41.
29. Lam, L. O. Fixed flexion deformity and flexion after knee arthroplasty. What happens in the first 12 months after surgery and can a poor outcome be predicted? / L. O. Lam, S. Swift, D. Shakespeare // *Knee.* – 2003. – Vol. 10, № 2. – P. 181–185.
30. Lutzner, J. No difference between computer-assisted and conventional total knee arthroplasty: fiveyear results of a prospective randomised study / J. Lutzner, J. Dexel, S. Kirschner // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 10. – P. 2241–2247.
31. Meneghini, R. M. The effect of the Insall–Salvati ratio on outcome after total knee arthroplasty / R. M. Meneghini, M. A. Ritter, J. L. Pierson, J. B. Meding, M. E. Berend, P. M. Faris // *J Arthroplast.* – 2006. – Vol. 21, № 6. – Suppl. 2. – P. 116–120.
32. Minoda, Y. Mobile-bearing prosthesis and intraoperative gap balancing are not predictors of superior knee flexion: a prospective randomized study / Y. Minoda, H. Iwaki, M. Ikebuchi, T. Yoshida, S. Mizokawa, M. Itokazu, H. Nakamura // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2015. – Vol. 23, № 7. – P. 1986–1992.
33. Muller, P. E. Influence of minimally invasive surgery on implant positioning and the functional outcome for medial unicompartmental knee arthroplasty / P. E. Muller, C. Pelligahr, M. Witt, J. Kircher, H. J. Refior, V. Jansson // *J Arthroplast.* – 2004. – Vol. 19, № 3. – P. 296–301.
34. Nicholls, R. L. Tibiofemoral force following total knee arthroplasty: comparison of four prosthesis designs in vitro / R. L. Nicholls, A. C. Schirm, B. O. Jeffcote, M. S. Kuster // *J Orthop.* – 2007. – Res. 25. – P. 1506–1512.
35. Parsley, B. S. Preoperative flexion. Does it influence postoperative flexion after posterior-cruciate-retaining total knee arthroplasty? / B. S. Parsley, G. A. Engh, K. A. Dwyer // *Clin Orthop Relat.* – 1992. – Res. 275. – P. 204–210.
36. Pietsch, M. Custom-fit minimally invasive total knee arthroplasty: effect on blood loss and early clinical outcomes / M. Pietsch, O. Djahani, Ch. Zweiger, F. Plattner, R. Radl, Ch. Tschauner, S. Hofmann // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 10. – P. 2234–2240.
37. Ritter, M. A. Predicting range of motion after total knee arthroplasty / M. A. Ritter, L. D. Harty, K. E. Davis, J. B. Meding // *Berend Clustering, log-linear regression, and regression tree analysis // J Bone Jt Surg Am.* – 2003. – Vol. 85, № 7. – P. 1278–1285.
38. Ritter, M. A. The role of flexion contracture on outcomes in primary total knee arthroplasty / M. A. Ritter, J. D. Lutgring, K. E. Davis, M. E. Berend, J. L. Pierson, R. M. Meneghini // *J Arthroplast.* – 2007. – Vol. 22, № 8. – P. 1092–1096.
39. Roh, Y. W. Preservation of the posterior cruciate ligament is not helpful in highly conforming mobile-bearing total knee arthroplasty: a randomized controlled study / Y. W. Roh, J. Jang, W. C. Choi, J. K. Lee, S. H. Chun, S. Lee, S. C. Seong, M. C. Lee // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* – 2013. – Vol. 21, № 12. – P. 2850–2859.
40. Scuderi, G. R. Management of flexion contracture in total knee arthroplasty / G. R. Scuderi, T. Kochhar // *J Arthroplast.* – 2007. – Vol. 22, № 4. – Suppl. 1. – P. 20–24.

Поступила 01.03.2021 г.