

М. А. Герасименко¹, Е. В. Жук², П. И. Лознухо², В. А. Врублевский³, С. И. Третьяк³

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ НАВИГАЦИИ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ КОЛЕННОГО СУСТАВА

ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования»¹,
УО «Белорусский государственный медицинский университет»²,
УЗ «6-я городская клиническая больница г. Минска»³

В обзоре приведены литературные данные, посвященные использованию системы компьютерной навигации при тотальном эндопротезировании коленного сустава. Описаны причины и структура ревизионных операций, необходимость в которых возникает при неудовлетворительном результате проведения первичной артропластики, и возможные варианты снижения их количества. Выделены преимущества и недостатки использования системы компьютерной навигации. Приведены данные исследований для сравнения навигационной и традиционной техники тотальной артропластики коленного сустава по таким показателям, как положение компонентов, восстановление правильной механической оси, срок функционирования эндопротеза, а также качество восстановления функции конечности. Ключевую роль для широкого распространения навигационных систем сыграло их влияние на снижение частоты ревизионных вмешательств.

Ключевые слова: тотальное эндопротезирование коленного сустава; компьютерная навигация.

M. A. Gerasimenko, Y. V. Zhuk, P. I. Loznuho, V.A. Vrublevsky, S. I. Tratsiak

THE USE OF COMPUTER NAVIGATION SYSTEM IN TOTAL KNEE ARTHROPLASTY

The review provides literature data about the use of computer navigation system in total knee arthroplasty. The reasons and structure of revision operations, which are necessary when the result of primary arthroplasty is unsatisfactory, and possible ways for reducing their number, are described. There are defined advantages and disadvantages of using the computer navigation system. The research data is presented to compare navigation and traditional techniques of total knee arthroplasty by such parameters as position of components, restoration of the correct mechanical axis, period of validity of endoprosthesis, and the quality of limb function restoration. The lead role for wide distribution of navigation systems was played by their influence on reducing the frequency of revision operations and better functional outcomes.

Key words: *total knee arthroplasty; computer navigation.*

Дегенеративно-дистрофические поражения коленного сустава относятся к патологиям, ограничивающим двигательную активность пациентов и ухудшающим качество их жизни. Наиболее эффективным методом лечения терминальных стадий этих заболеваний является тотальное эндопротезирование. Замена коленного сустава способствует устранению болевого синдрома, нормализации функции и восстановлению нормальной механической оси нижней конечности [2].

ВОЗ назвала тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) самой успешной операцией столетия. В течение последних 20 лет, ежегодное использование первичного ТЭКС увеличилось на 161,5 %, что соответствует более чем 4 миллионам пациентов с имплантатами [7].

По данным Американского регистра 2016 удельный вес первичной замены коленного сустава составил 55,2 % в структуре всех эндопротезирований. Вместе с тем, удельный вес ревизионных операций составил 5,2 %, что указывает на неудовлетворительный результат первичного вмешательства и развитие осложнений в ближайшие и отдаленные сроки после операции.

В национальном регистре Англии и Уэльса статистика ревизионных операций через год после эндопротезирования составляет 0,7 %, через 3 года – 2,7 %, через 5 лет – 3,9 % ревизий, а через 7 лет – 4,9 %.

По данным регистра ТЭКС РНИИТО им. Р. Р. Вредена за 2013 год в структуре причин, способствующих проведению повторных операций на коленном суставе, наиболее частыми являются инфекционные осложнения – 53,1 %, асептическая нестабильность компонентов эндопротеза – 16,1 %, остеонекроз надколенника – 8 %, износ компонентов или вкладыша – 5,7 %, неправильное пространственное положение и дисбаланс сустава – 5,2 % и др. [3].

Асептическое расшатывание эндопротеза – одна из наиболее частых причин ревизионных операций после ТЭКС. Это осложнение характеризуется нестабильностью компонентов эндопротеза в результате резорбции костной ткани на границе с имплантом, возникающей по причинам, не связанным с инфек-

ционными агентами. В большинстве случаев это приводит к преждевременному износу полиэтиленового вкладыша из-за смещения центра нагрузки на эндопротез. Причиной асептической нестабильности часто становятся ошибки, совершаемые хирургами при установке протеза [6].

В ортопедической хирургии существует достоверная связь между точностью при выполнении вмешательства и его результатом [16]. Успех ТЭКС мультифакторный, но определяется прежде всего правильным положением имплантата и общим восстановлением правильной оси конечности [13]. Berend and al. выявили, что отклонение тиббиального компонента эндопротеза более чем на 3 градуса в направлении варуса может привести к 17-кратному возрастанию вероятности его нестабильности [5]. Даже опытные хирурги достигают оптимального позиционирования только в 60 % случаев при использовании стандартной методики ТЭКС [14].

Таким образом, традиционно используемые инструменты и только визуальный контроль за проведением операции не обеспечивают достаточной точности в выравнивании механической оси конечности вне зависимости от опытности хирурга. Это приводит к преждевременному износу эндопротеза и требует проведения ревизионных операций, выполнение которых является технически более сложным и экономически затратным в сравнении с первичным ТЭКС.

На основании вышеперечисленных фактов появилась необходимость в разработке новых систем, направленных на более точное восстановление механической оси конечности, учитывающие индивидуальные особенности пациентов, за счёт правильности расположения компонентов и сбалансированности сгибательных и разгибательных промежутков.

Впервые при ТЭКС компьютерная навигация была использована Saragaglia и Picard в 1997 году в г. Гренобль (Франция).

Применение компьютерной навигации позволяет получить цифровое изображение, которым хирург сможет руководствоваться в процессе операции. На это изображение также могут накладываться и хи-

рургические инструменты, чтобы контролировать их расположение с точностью до миллиметра или градуса.

Все системы компьютерной навигации подразделяются на две группы. Системы первой группы, или «системы на основе изображений», требуют предоперационной подготовки (КТ, МРТ или ЭОП) для создания трёхмерного изображения, а также дополнительной интраоперационной верификации.

Системы второй группы – системы, не требующие изображения. Анатомическая модель встроена в программное обеспечение этих систем и необходимо только интраоперационное подтверждение ключевых анатомических ориентиров. При этом нет необходимости в предоперационном планировании с использованием КТ или рентгенографии, которое сопровождается повышением лучевой нагрузки. Однако, в данном случае точность процесса регистрации имеет принципиальное значение для соответствия виртуальной модели истинным параметрам пациента.

В состав навигационной системы входит компьютер, получающий сигнал от инфракрасной камеры, которая, в свою очередь, передаёт информацию о неподвижных и мобильных датчиках. Датчики могут активно излучать либо пассивно отражать инфракрасный сигнал от источника, вмонтированного в камеру. Неподвижные датчики на стержнях фиксированы к диафизам бедренной и большеберцовой кости через верхний и нижний край операционной раны либо с помощью дополнительных пункционных разрезов. Мобильные датчики используются как указатели для регистрации точек основных анатомических ориентиров и уточнения плоскостей опилов [16].

Компьютерная навигация должна применяться не только для определения положения режущего приспособления, но также для проверки резекции кости и положения импланта во время проведения операции.

В соответствии с рядом исследований, использование систем компьютерной навигации имеет преимущество по сравнению с традиционным методом эндопротезирования при анализе таких показателей, как положение компонентов, восстановление правильной механической оси и, следовательно, срок функционирования эндопротеза, а также качество восстановления функции конечности.

А. О. Dutton с соавторами проанализировали отклонение оси конечности от нормальной механической оси после ТЭКС. Если при операции применялась компьютерная навигация, то отклонение не превышало $\pm 3^\circ$ в 92 % случаев, в то время как без её использования – в 68 % случаев [9].

В ретроспективном исследовании Bryan Loh с соавт. сравнили результаты 100 пациентов, эндопротезирование которым было выполнено при участии навигационной системы и 100 пациентов с использованием стандартной техники. Оценивалось общее выравнивание конечности и положение

компонентов. Отклонение бедренного компонента более, чем на 3° составило 7 % для группы, в которой применялась система навигации и 17 % – для контрольной группы. Для выравнивания оси конечности и положения большеберцового компонента статистически значимой разницы не обнаружено [13].

J. A. Vaumbach с соавт. был проведён анализ 10-летней выживаемости эндопротезов коленного сустава, установленных с участием компьютерной навигации и стандартным методом. В 1999 было проведено 217 операций ТЭКС у 213 пациентов (113 операций с использованием навигации и 104 традиционных операции). Через 10 лет под наблюдением остались 96 прооперированных коленных суставов у 94 пациентов, из которых 50 операций были выполнены с применением навигации (основная группа), 46 – по традиционной методике (контрольная группа). В течение 10 лет было выполнено 8 ревизионных операций, связанных с асептическим расшатыванием эндопротеза, 7 из которых в контрольной, 1 – в основной группе. Это приравнивается к 87 % 10-летней выживаемости эндопротеза при стандартной технике и 98 % при навигационной имплантации. Механический тибioфemorальный угол оказался в пределах эталонного диапазона $\pm 3^\circ$ в 58 % случаев при традиционной и 78 % случаев при навигационном ТЭКС [4].

Безгодковым с соавт. выполнен сравнительный анализ показателей стояния и походки пациентов, которым операция проводилась с участием системы компьютерной навигации и по стандартной методике. Результаты оценивались методами стабилόμεрии, динамометрии и подографии. При использовании навигации отмечено более выраженное улучшение статических показателей пациентов, таких как восстановление положения общего центра давления и восстановление центров давления конечностей. Динамические показатели достоверно улучшились в каждой из групп [1].

Однако, некоторые исследования указывают на отсутствие каких-либо существенных отличий в результатах пациентов, операция которым была проведена с использованием системы компьютерной навигации.

Saradej Khuangsirikul с соавт. сравнили удовлетворённость пациентов ТЭКС, выполненным с применением системы навигации, и малоинвазивным традиционным методом на протяжении 10 лет. Было выявлено отсутствие различий в удовлетворённости пациентов, оценённой по шкале WOMAC, на протяжении всего срока исследования [11].

В исследовании, проведённом Young-Hoo Kim сравнили результаты лечения 162 пациентов с артрозом обоих коленных суставов, причём операцию на одном суставе проводили традиционным способом, а на другом – с использованием компьютерной навигации. Средняя продолжительность наблюдения

составила 12,3 года. Клинические и рентгенологические обследования пациентов проводились через 3 месяца и через 1 год после операции, а в последующем каждые 2 или 3 года на протяжении всего исследования. При оценке обеих групп по шкале WOMAC и сравнении диапазона движения в коленном суставе, выживаемости компонентов эндопротеза, а также при анализе удовлетворённости пациентов, существенных различий между группами ни в один из периодов исследования выявлено не было. Однако, авторы выдвигают гипотезу о том, что двустороннее протезирование суставов повлияло на оценку различий в боли и функционировании каждого сустава в отдельности [12].

Кроме того, противоречивость вышеперечисленных результатов может быть связана с недостаточной чувствительностью традиционно используемых балльных систем оценки функциональных различий для сравнения результатов эндопротезирования.

По мнению Richard Joel Friedman, автора статьи «Navigation in Total Knee Arthroplasty: A Procedure Whose Time Has Not Come», применение компьютерной навигации представляется оправданным только для некоторых групп пациентов, у которых применение традиционных методов затруднено, например, пациентов со сложными деформациями костей (врожденными или посттравматическими) или пациентов с ожирением. В остальных группах, ввиду отсутствия существенной разницы в результатах и осложнениях, анализ затрат и пользы не оправдывает рутинное использование компьютерной навигации в ТЭКС [10].

К недостаткам компьютерной навигации следует отнести высокую стоимость оборудования и необходимость дополнительного обучения хирургов, а также зависимость результата от точности интраоперационного определения анатомических ориентиров и установки датчиков. Кроме того, в некоторых случаях использование навигации невозможно, например, при анкилозе тазобедренного сустава, когда при ротации возникает погрешность при определении оси конечности. Время проведения операции увеличивается только на этапе освоения системы, в дальнейшем же её постоянная эксплуатация может даже приводить к экономии времени ввиду сокращения необходимости выполнения дополнительных контрольных процедур (экстремедулярная оценка оси конечности стандартным инструментарием, промежуточное рентгенологическое исследование и др.).

К недостаткам также относят потенциальный риск развития осложнений, вызванных непосредственно использованием навигационных приборов. М. J. Brown с соавторами проанализировал частоту послеоперационных осложнений ТЭКС с применением компьютерной навигации. Среди 3100 прооперированных пациентов было обнаружено 2 случая послеоперационных осложнений, связанных с применением системы компьютерной навигации: дистальный

перелом бедренной кости и проксимальный перелом большеберцовой кости в местах установки стержней для фиксации датчиков. Осложнений, связанных с инфицированием места установки датчиков, выявлено не было, благодаря их установке в пределах операционного разреза. Таким образом, риск осложнений, вызванных непосредственно использованием приборов для компьютерной навигации, составил 0,065 % [6].

Из преимуществ использования системы компьютерной навигации по данным различных авторов можно выделить следующие:

- Точное восстановление механической оси конечности за счёт правильного пространственного расположения компонентов эндопротеза.
- Возможность точно рассчитать необходимую плоскость опиловки, что особенно важно при тяжелых сгибательных контрактурах и гиперэкстензионных коленных суставах.
- Возможность выполнения проверки правильности костного опиловки после его выполнения.
- При рутинном использовании система навигации может уменьшать время проведения вмешательства.
- Приводит к снижению количества ревизионных операций, повышая выживаемость эндопротеза.

Изначально применение систем компьютерной навигации в ортопедической хирургии было воспринято с осторожностью. Аргументами отсроченного широкого использования систем компьютерной навигации являлись увеличение продолжительности операции, риск возникновения переломов и некроза краёв раны в местах крепления датчиков, стоимость и отсутствие разницы в функциональных результатах.

Однако, по мере обучения хирургов, происходило снижение операционного времени, а точность имплантации была выше даже во время операций, выполненных в процессе обучения. Проблема возникновения переломов и некроза краёв раны уменьшилась при выполнении простых мер по их предупреждению. А первоначальные затраты на установку навигационной системы оказались выгодными в долгосрочной перспективе [8].

Ключевую роль сыграло влияние компьютерной навигации на снижение частоты ревизионных вмешательств. Ревизионные операции включают в себя установку более дорогостоящих имплантов, продолжительные госпитализации, использование антибиотиков и компонентов крови, а также прочие социальные услуги и расходы. Таким образом применение навигационных систем, как и любой методики, позволяющей уменьшить затраты путем увеличения срока эксплуатации эндопротеза, установленного при первичной операции, целесообразно.

Литература

1. Безгодков Ю. А., Корнилов Н. Н., Петухов А. И., Куляба Т. А., Селин А. В., Муранчик Ю. И., Кроитору И. И., Игнатенко В. Л., Сараев А. В. Биомеханические показатели стояния и походки больных после тотального эндопротезирования

коленного сустава с использованием компьютерной навигации. Травматология и ортопедия России. 2011; 4: 11–17.

2. Корж Н. А., Дедух Н. В., Зупанец И. А. Остеоартроз: консервативная терапия: Монография под. ред. Н. А. Коржа – Харьков: Золотые страницы, 2007. – 424 с.

3. Корнилов Н. Н., Т. А. Куляба, А. С. Филь, Ю. В. Муравьёва. Данные регистра эндопротезирования коленного сустава РНИИТО им. П. Р. Вредена за 2011–2013 годы. Травматология и ортопедия России. 2015; 1(75): 136–151.

4. *Baumbach J. A., Willburger R., Haaker R., Dittrich M., Kohler S.* 10-Year Survival of Navigated Versus Conventional TKAs: A Retrospective Study. *Orthopedics*. 2016 May; 39 (3 Suppl): 72–6.

5. *Berend M. E., Ritter M. A., Meding JB, et al.* Tibial component failure mechanisms in total knee arthroplasty. *Clin OrthopRelat Res*. 2004; 428: 26–34.

6. *Brown M. J., Matthews J. R., Bayers-Thering M. T., Phillips M. J., Krackow K. A.* Low incidence of postoperative complications with navigated total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017 Jul; 32(7): 2120–2126.

7. *Cram P., Lu X., Kates S. L., Singh J. A., Li Y., Wolf B. R.* Total knee arthroplasty volume, utilization, and outcomes among Medicare beneficiaries, 1991–2010. *JAMA*. 2012; 308(12): 1227–1236.

8. *Deep K., Shankar S. & Mahendra A.* Computer assisted navigation in total knee and hip arthroplasty. *SICOT J* 2017; 3: 50.

9. *Dutton, A. Q.* Computer-assisted minimally invasive total knee arthroplasty compared with standard total knee arthroplasty. A prospective, randomized study. *J. Bone Joint Surg* 2008; 1: 2–9.

10. *Friedman R. J.,* Navigation in Total Knee Arthroplasty: A Procedure Whose Time Has Not Come. *J Bone Joint Surg Am*. 2017; 99: e64(1–2).

11. *Khuangsirikul S., Lekkreusuwan K. & Chotanaphuti T.* 10-Year patient satisfaction compared between computer-assisted navigation and conventional techniques in minimally invasive surgery total knee arthroplasty. *Computer Assisted Surgery* 2016; 21: 172–175.

12. *Kim Y. H., Park J. W., Kim J. S.* “The Clinical Outcome of Computer-Navigated Compared with Conventional Knee Arthroplasty in the Same Patients. A Prospective, Randomized, Double-Blind, Long-Term Study” *J Bone Joint Surg Am*. 2017 Jun 21; 99(12): 989–996.

13. *Loh B., Chen J. Y., Yew A. K., Pang H. N., Tay D. K., Chia S. L., Lo N. N., Yeo S. J.* The accuracy of a hand-held navigation system in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 24 Jun 2017; 137(3): 381–386.

14. *Mahaluxmivala J., Banks M. J., Nicolai P., Aldam C. H., Allen P. W.* The effect of surgeon experience on component positioning in 673 press fit condylar posterior cruciate-sacrificing total knee arthroplasties. *J Arthroplasty*. 2001; 16(5): 635–640.

15. *Morawietz L., Gehrke T., Classen R. A., et al.* Proposal for the classification of the periprosthetic membrane from loosened hip and knee endoprostheses. *Pathologie*. 2004; 25(5): 375–384.

16. *Sikorski J. M., Chauhan S.* Computer-Assisted Orthopaedic Surgery: Do we need CAOS? *J Bone Joint Surg* 2003; 85-B: 319–323.