

## ВЛИЯНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ НАВИГАЦИИ НА КЛИНИЧЕСКИЕ И РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРИГИРУЮЩИХ ОКОЛОСУСТАВНЫХ ОСТЕОТОМИЙ БЕДРЕННОЙ И БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТЕЙ У БОЛЬНЫХ ГОНАРТРОЗОМ (обзор литературы)

П.Г. Кочергин<sup>1</sup>, Н.Н. Корнилов<sup>1,2</sup>, Т.А. Куляба<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена»  
Минздрава России  
Ул. Акад. Байкова, д. 8, Санкт-Петербург, 195427, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»  
Минздрава России  
Ул. Киричная, д. 41, Санкт-Петербург, 191015, Россия

### Реферат

В течение последнего десятилетия отмечается тенденция к более широкому клиническому применению цифровых технологий на всех этапах лечения пациентов с ортопедическими заболеваниями: от диагностики и предоперационного планирования до интраоперационного контроля за точностью хирургических манипуляций и последующей количественной оценки достигаемых результатов.

Целью настоящего исследования является анализ научных публикаций, посвященных корригирующим остеотомиям бедренной и большеберцовой костей с использованием компьютерной навигации у больных гонартрозом. Гипотеза исследования заключалась в следующем: проведение корригирующих остеотомий с компьютерной навигацией улучшает точность коррекции оси конечности во фронтальной и сагиттальной плоскостях, что благоприятно сказывается как на функциональных исходах лечения, так и на продолжительности клинического эффекта.

В электронных базах данных PubMed, PubMedCentral, GoogleScholar и eLIBRARY был выполнен поиск публикаций на английском и русском языках по ключевым словам: остеоартроз коленного сустава, остеотомия бедренной кости, остеотомия большеберцовой кости, компьютерная навигация и их английским аналогам.

В большинстве проанализированных работ подтверждается выдвинутая гипотеза. Компьютерная навигация позволяет более точно, по сравнению с традиционной методикой, контролировать коррекцию оси конечности во фронтальной и сагиттальной плоскостях, в том числе наклон плато большеберцовой кости кзади. Несмотря на то, что изучение функциональных результатов лечения в меньшей степени привлекало исследователей, чем точность интраоперационных манипуляций, можно констатировать, что навигация способствовала достижению более высоких показателей, хотя выявляемые различия чаще всего статистически значимо не отличались. В единичных работах, в которых анализируются отдаленные исходы лечения, предпочтение отдается использованию навигационных технологий, позволяющих добиться 10-летней выживаемости околосуставных остеотомий на уровне 97%, что сопоставимо с результатами современного эндопротезирования коленного сустава.

Таким образом, анализ опубликованных работ подтвердил гипотезу исследования, а также не выявил повышенной частоты осложнений, ассоциированных с использованием данной инновационной технологии.

**Ключевые слова:** гонартроз, остеотомия бедренной кости, остеотомия большеберцовой кости, компьютерная навигация.

DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-163-175.

Кочергин П.Г., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А. Влияние компьютерной навигации на клинические и рентгенологические результаты корригирующих околосуставных остеотомий бедренной и большеберцовой костей у больных гонартрозом (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(1):163-175. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-163-175.

**Cite as:** Kochergin P.G., Kornilov N.N., Kulyaba T.A. [The Influence of Computer-Assisted Surgery on Clinical and Radiographic Outcomes of Periarticular Femur and Tibia Osteotomies in Osteoarthritic Patients (Review)]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):163-175. (in Russian). DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-163-175.

Кочергин Павел Геннадьевич. Ул. Акад. Байкова, д. 8, Санкт-Петербург, 195427, Россия / Pavel G. Kochergin. 8, ul. Akad. Baykova, St. Petersburg, 195427, Russia; e-mail: dr.kochergin2015@yandex.ru

Рукопись поступила/Received: 01.06.2016. Принята в печать/Accepted for publication: 13.02.2017.

## The Influence of Computer-Assisted Surgery on Clinical and Radiographic Outcomes of Periarticular Femur and Tibia Osteotomies in Osteoarthritic Patients (Review)

P.G. Kochergin, N.N. Kornilov, T.A. Kulyaba

<sup>1</sup> *Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics  
8, ul. Akad. Baykova, St. Petersburg, 195427, Russia*

<sup>2</sup> *Mechnikov North-Western State Medical University  
41, Kirochnaya ul., St. Petersburg, 191015, Russia*

### Abstract

Nowadays the clinical application of digital technologies became a growing trend at every stage of orthopedic patient treatment: from diagnostic procedures and pre-operative planning to intra-operative control of surgical manipulations and evaluation of final results later.

The aim of this research was to analyze the studies dedicated to application of computer-assisted surgery (CAS) for femur and tibial osteotomies in patients with gonarthrosis. The hypothesis was that CAS improves the precision of leg alignment correction in frontal and sagittal planes that positively influencing both functional result of treatment and longevity of clinical effect.

The PubMed, PubMedCentral, GoogleScholar and eLIBRARY searched for relevant studies using following key words: knee, osteoarthritis, gonarthrosis, osteotomy, CAS, navigation and its russian analogs.

The majority of publications favored CAS in comparison to traditional osteotomy techniques both for leg alignment and tibial slope control. Despite generally researchers paid less attention to functional results after CAS-osteotomies than to precision of surgical manipulations it is possible to confirm that there is strong tendency to better knee scores after navigation while the difference is not always statistically significant. Rare publications dedicated to long term results favor CAS: 10 years survival rate is 97% that correspond to outcomes of modern total knee arthroplasty.

Hence, the current literature confirms the hypothesis of our study and don't reveal increase of complications rate associated with CAS.

**Keywords:** knee osteoarthritis, gonarthrosis, femur osteotomy, tibial osteotomy, CAS, computer-assisted navigation.

DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-163-175.

**Competing interests:** the authors declare that they have no competing interests.

**Funding:** the authors have no support or funding to report.

В течение последнего десятилетия отмечается тенденция к более широкому клиническому применению цифровых технологий на всех этапах лечения пациентов с ортопедическими заболеваниями: от диагностики и предоперационного планирования до интраоперационного контроля за точностью хирургических манипуляций и последующей количественной оценки достигаемых результатов.

**Целью** настоящего исследования является анализ научных публикаций, посвященных корригирующим остеотомиям бедренной и большеберцовой костей с использованием компьютерной навигации у больных гонартрозом. Гипотеза исследования заключалась в следующем: проведение корригирующих остеотомий с компьютерной навигацией улучшает точность коррекции оси конечности во фронтальной и сагиттальной плоскостях, что благоприятно сказывается как на функциональных исходах лечения, так и на продолжительности клинического эффекта.

В электронных базах данных PubMed, PubMedCentral, GoogleScholar и eLIBRARY

был выполнен поиск публикаций на английском и русском языках по ключевым словам: остеоартроз коленного сустава, остеотомия бедренной кости, остеотомия большеберцовой кости, компьютерная навигация и их английским аналогам.

К гонартрозу в настоящее время относят гетерогенную группу заболеваний различной этиологии со сходными биологическими, морфологическими, клиническими проявлениями и исходом, при которых имеет место поражение всех элементов коленного сустава: хряща, субхондральной кости, менисков, синовиальной оболочки, связок, капсулы и околоуставных мышц [1].

По данным различных авторов, доля остеоартроза колеблется от 30 до 55% среди всех ортопедических заболеваний, по поводу которых пациенты обращаются к врачу [2, 3]. В частности, М.В. Головаха с соавторами приводят сведения о том, что рентгенологические признаки артроза крупных суставов есть у 70% пациентов старше 55 лет, а удельный вес пациентов с артрозом коленного сустава составляет 30–50% [3].

Гонартроз широко распространен среди средних возрастных групп, активно занимающихся трудовой деятельностью и спортом.

При гонартрозе снижение качества жизни отмечают до 80% пациентов, а инвалидизация происходит у 10–21% больных [3]. Это связано с тем, что до настоящего времени не разработаны консервативные методы и средства лечения, способные остановить развитие заболевания, в связи с чем по мере его прогрессирования большинству пациентов требуется частичная или тотальная артропластика коленного сустава.

По данным М.А. Колесникова, 58% больных гонартрозом, перенесших эндопротезирование коленных суставов, были моложе 60 лет [5]. Регистр эндопротезирования РНИИТО им. Р.Р. Вредена также свидетельствует о ежегодном росте больных в возрастной группе моложе 55 лет, которым выполняется этот вид хирургического лечения [9]. Как данные зарубежных регистров эндопротезирования, так и посвященные анализу осложнений этой операции исследования свидетельствуют, что частота ревизионных вмешательств у пациентов моложе 55 лет в 5 раз выше, чем в группе старше 75 лет, и достигает 53,1% [9]. Следовательно, артропластика коленного сустава у больных этого возраста является не лучшим хирургическим решением.

Вместе с тем остеотомии позволяют отсрочить необходимость эндопротезирования коленного сустава у пациентов средней возрастной группы на 10–15 лет. Так, А. Sternheim с соавторами, проанализировав результаты 45 корригирующих остеотомий со средним сроком наблюдения 13,3 года (максимум – 25 лет) у пациентов, средний возраст которых на момент операции составлял 46 лет, установили, что 10-летняя выживаемость составила 89,9%, 15-летняя – 78,9%, а 20-летняя – 21,5% [50]. Таким образом, органосохраняющее хирургическое лечение больных гонартрозом может быть столь же успешным, как и артропластика коленного сустава. При этом для достижения успеха важно проводить тщательное предоперационное планирование с правильным выбором сегмента конечности и постоянный контроль точности действий хирурга во время операции. Тогда, по данным D. Saragaglia с соавторами, результаты эндопротезирования коленного сустава после корригирующих остеотомий не будут значимо отличаться от исходов стандартной артропластики [45].

Корригирующие околосуставные остеотомии бедренной или большеберцовой костей более 100 лет применяются для лечения больных

гонартрозом, однако в настоящее время частота их использования существенно уступает эндопротезированию. Корригирующая остеотомия направлена на перенос нагрузки с пораженного отдела сустава на интактный, восстановление измененной оси нижней конечности, улучшение соотношения суставных поверхностей и восстановление биомеханических свойств коленного сустава [13]. По данным литературы, внутренний отдел коленного сустава подвергается дегенеративно-дистрофическим изменениям в 10 раз чаще, чем наружный. Известно, что при нормальной оси нижней конечности около 60% нагрузки приходится на внутренний отдел коленного сустава. По мере появления и прогрессирования варусной деформации перегрузка медиального отдела возрастает в несколько раз. Тем не менее, в большинстве случаев заболевание на протяжении многих лет продолжает локализоваться в том отделе сустава, который впервые был поражен патологическим процессом [6, 13].

Причины снижения болевого синдрома после остеотомии до конца не ясны, но, по данным различных авторов, наряду с изменением нагрузки и ликвидацией повышенного внутрисуставного давления, остеотомия стимулирует локальное кровоснабжение и ремоделирование субхондральной кости в пораженном отделе сустава [10]. Хотя в некоторых работах сообщается о пролиферации фиброзного хряща на внутренних мышечках большеберцовой и бедренной костей, по мнению большинства авторов, прямая связь между клиническими результатами и степенью восстановления суставной поверхности, по данным гистологического, рентгенологического и артроскопического исследований, отсутствует [39, 49].

По данным М.В. Coventry, после обычной корригирующей подмышечковой остеотомии большеберцовой кости вследствие нормализации механической оси конечности происходит декомпрессия и бедренно-надколенникового сочленения, из-за чего выраженность боли в переднем отделе коленного сустава уменьшается без дополнительных вмешательств [24]. По данным автора, через 10 лет купирование болевого синдрома и сохранение хорошей функции было отмечено у 62% из 213 пациентов [23].

Клинический результат остеотомии, как и любого оперативного вмешательства, зависит от соблюдения показаний и противопоказаний к операции, тщательности подготовки пациентов и точности оперативной техники. По данным Н.А. Коржа с соавторами, показаниями к выполнению корригирующих остеотомий бедренной и большеберцовой костей являются:

– нарушение функции коленного сустава при низкой эффективности комплексной консервативной терапии у пациентов моложе 55 лет с I–II стадиями гонартроза и индексом массы тела не более 32;

– повреждение хряща в смежном отделе бедренно-большеберцового сочленения не более II стадии по Outerbridge;

– отсутствие системного остеопороза;

– варусная или вальгусная деформация конечности, не превышающая при нагрузке  $15^\circ$  [6, 49].

В. Мюллер отмечает, что стабильная фиксация костных фрагментов после остеотомии является одним из важнейших условий достижения оптимального результата, так как, с одной стороны, делает возможным быстрое восстановление движений в коленном суставе, а с другой – сохраняет достигнутую коррекцию оси конечности до завершения консолидации. У пациентов с гонартрозом дополнительная иммобилизация нежелательна, так как потеря подвижности в коленном суставе напрямую ассоциируется с прогрессированием заболевания [12].

Околосуставная остеотомия большеберцовой кости получила широкое распространение в конце 1950-х г. как метод выбора хирургического лечения физически активных пациентов среднего возраста с остеоартритом коленных суставов и варусной деформацией конечности. На протяжении последующих пяти десятилетий среди ортопедов превалировала догма о том, что при варусных деформациях показана остеотомия большеберцовой кости, а при вальгусной – бедренной [17, 23]. Однако, по данным S. Hofmann с соавторами, в 59% случаев варусная деформация конечности обусловлена бедренной костью, и только в 31% – большеберцовой, у 10% больных наблюдается комбинированная деформация. Вальгусная деформация за счет большеберцовой кости составляет 45% всех наблюдений, бедренной – 22%, а обоих сегментов – 33% [32, 49]. Не удивительно, что выполнение остеотомии без учета локализации деформации приводило к изменению наклона суставной линии во фронтальной плоскости, что способствовало дальнейшему прогрессированию деформирующего артроза и отсутствию клинического эффекта от вмешательства [32, 43]. Кроме этого, после некорректно выполненных остеотомий нередко наблюдались изменение угла наклона плато большеберцовой кости в сагиттальной плоскости и развитие низкого положения надколенника, что в дальнейшем существенно затрудняло проведение эндопротезирования коленного сустава, негативно отражаясь как

на количестве осложнений, так и на его функциональных исходах [4, 7].

Недостаточная коррекция оси конечности во время операции, равно как и гиперкоррекция или ее потеря до завершения процесса консолидации, признаются всеми исследователями как следующий по важности, после выбора сегмента, фактор, негативно сказывающийся на результате лечения [32, 43]. Однако практически у каждого пятого пациента после операции ось конечности не совпадает с запланированной. Это происходит из-за неточного предоперационного планирования, неправильного выбора высоты удаляемого или открываемого клина, погрешностей интраоперационного контроля и потери достигнутой коррекции из-за недостаточно надежной фиксации фрагментов [26, 36, 40].

Прецизионность предоперационного планирования напрямую зависит от условий выполнения рентгенограмм, то есть соблюдения правильной рентгенологической укладки, которой нелегко добиться при наличии деформации и сгибательной контрактуры конечности [11]. Поэтому традиционные, основывающиеся на одноплоскостной рентгенографии методы расчета степени требуемой коррекции могут оказаться недостаточно точными [26].

Обязательным условием положительного исхода околосуставной вальгизирующей остеотомии большеберцовой кости большинство авторов считают гиперкоррекцию механической оси конечности на  $3-6^\circ$ . J. Insall с соавторами при наблюдении 95 пациентов отметили 97% хороших и отличных результатов через 2 года, 85% – через 5 лет, 63% – через 7 лет и через 10 лет – только 37%. В 23% случаях в дальнейшем потребовалось тотальное эндопротезирование коленного сустава из-за прогрессирующего болевого синдрома [21, 33].

Однако интраоперационно невозможно получить рентгенограммы сразу всей нижней конечности. Поэтому для контроля степени коррекции оси применяется ее последовательная визуализация (тазобедренный сустав, коленный сустав и зона остеотомии, голеностопный сустав) с использованием электронно-оптического преобразователя и длинных стержней или шнура от электрокоагулятора. Это позволяет лишь количественно судить о достигаемой коррекции и дает погрешность в несколько градусов, которая возрастает при ротации конечности [34]. Следует отметить, что все современные инструментальные системы, используемые для проведения остеотомии, имеют фундаментальные, лимитирующие их точность ограничения, главным из которых является необходимость постоянного контроля хирургом нескольких

пространственных параметров *adoculus*, поэтому от ошибок не застрахованы даже опытные хирурги.

Перевести точность как планирования, так и непосредственно последующей хирургической реализации на качественно новый уровень позволяют только цифровые технологии, в частности компьютерная навигация, которая успешно применяется в ортопедии на протяжении последних 15 лет [4, 7, 8]. Из опыта применения компьютерной навигации при эндопротезировании коленного сустава известно, что она позволяет точно оценить величину деформации нижней конечности, осуществить трехмерный интраоперационный контроль коррекции оси в реальном времени, адекватно воспроизвести запланированные костные резекции, тем самым избежав случайных технических ошибок, наблюдаемых в традиционной хирургии [4, 8, 27].

На протяжении последнего десятилетия компьютерная навигация стала использоваться и при проведении околосуставных остеотомий бедренной и большеберцовой костей. Этому предшествовали экспериментальные исследования S. Hankemeier с соавторами, которые продемонстрировали, что использование навигации в сравнении с традиционной техникой повышает точность выполнения остеотомий, сокращает лучевую нагрузку, однако для проведения вмешательства требуется больше времени [30, 31]. Схожие результаты получили J. Lützneg с соавторами. Они сообщили о сокращении отклонений оси конечности во фронтальной плоскости с 8,6 до 1% при использовании навигации [37]. Вместе с тем ограничения точности контроля положения фрагментов в сагиттальной и вертикальной плоскостях при использовании навигации были отмечены в экспериментальном исследовании P. Goleski с соавторами, применявшими для контроля компьютерную томографию [29]. Одним из вариантов повышения точности, особенно при выполнении открытых клиновидных остеотомий, может быть использование дополнительного датчика, который фиксируется к проксимальному фрагменту большеберцовой кости, что было убедительно продемонстрировано Y. Yamamoto с соавторами в эксперименте [52].

Существующие системы компьютерной навигации можно разделить на два типа. В более редких системах первого типа трехмерная виртуальная модель создается на основании данных предоперационных лучевых исследований (КТ, МРТ или 3D-флюороскопии), а затем анатомические ориентиры дополнительно уточняются во время операции [7, 8, 38].

В навигационных установках второго типа (оптическая компьютерная навигация) усредненная анатомическая модель нижней конечности и коленного сустава приводится в соответствии с индивидуальными особенностями пациента интраоперационно за счет регистрации ключевых анатомических ориентиров и отслеживания калиброванного инструмента с отражающими датчиками, устанавливаемыми чрескостно в рабочем поле при помощи инфракрасных камер [7, 8, 38]. Необходимость в дополнительном предоперационном планировании с использованием как компьютерной, так и магнитно-резонансной томографии или рентгенографии в таком случае отпадает. Это снижает уровень лучевой нагрузки на пациента по сравнению с навигаторами первого типа. Однако при использовании оптической компьютерной навигации точность соответствия виртуальной анатомической модели реальной ситуации всегда зависит от качества определения хирургом референтных контрольных точек [4, 7, 14, 38].

Таким образом, система компьютерной оптической навигации состоит из датчиков (неподвижных и мобильных), инфракрасной камеры с излучателем (улавливающей перемещение датчиков в пространстве) и компьютера со специальным программным обеспечением. Датчики могут быть активными и излучать инфракрасное излучение, что требует электропитания от аккумулятора или постоянного источника тока. Однако чаще в клинической практике применяются пассивные датчики, отражающие инфракрасный сигнал, генерируемый источником, смонтированным в камеру. Неподвижные датчики фиксируются к диафизу бедренной и большеберцовой костей на 1–2 стержнях через дополнительные пункционные разрезы в пределах обзора камеры, но вне зоны непосредственного хирургического вмешательства. Стационарные датчики не должны случайно смещаться во время операции, иначе процесс регистрации анатомических ориентиров придется выполнять заново. Для регистрации анатомических ориентиров в области коленного и голеностопного суставов используют мобильные датчики. Центр головки бедренной кости определяется за счет ротации в тазобедренном суставе. В связи с тем, что компьютерные оптические навигационные системы имеют одинаковый алгоритм регистрации анатомических ориентиров и сходные принципы построения виртуальной модели коленного сустава, степень погрешности измерений у них также одинаковая:  $0,5^\circ - 0,5 \text{ мм}$  [4, 8, 38].

В проанализированных работах наиболее часто упоминались три навигационных систе-

мы: Orthopilot (B-Braun Aesculap, Tuttlingen, Германия), VectorVision (BrainLab Inc, Heimstetten, Германия) и SurgiGATE (Medivision, Oberdorf, Швейцария). Первые две, на протяжении последнего десятилетия применяемые в РНИИТО им. Р.Р. Вредена, относятся к классическим системам оптической навигации: цифровая модель нижней конечности создается путем интраоперационной верификации определенных анатомических ориентиров. Комплекс SurgiGATE отличается от них тем, что дополнительно использует данные интраоперационной рентгенографии. Все вышеупомянутые системы могут использоваться для выполнения остеотомий различного типа: клиновидных закрытых, клиновидных открытых, а также шарнирных [51].

Навигационная система OrthoPilot (Aesculap) позволяет динамически контролировать изменение оси конечности во фронтальной и сагиттальной плоскостях. В исследовании D. Saragaglia и J. Roberts было выполнено 56 открытых клиновидных остеотомий: 28 – при помощи системы Orthopilot и 28 – традиционным способом. Точность достижения коррекции оси конечности  $184 \pm 2^\circ$  в первой группе составила 96%, во второй – всего лишь 71%, несмотря на скрупулезное предоперационное планирование [45]. При этом осложнений ни в одной из групп отмечено не было. E.K. Song с соавторами, используя аналогичную систему навигации при 40 открытых клиновидных остеотомиях, также продемонстрировали высокую точность как коррекции механической оси конечности во фронтальной плоскости, так и сохранение индивидуального уровня наклона большеберцового плато [48]. Учет изменения длины конечности и планирование коррекции в двух плоскостях позволяет устранить сложные варусные деформации с минимальными погрешностями, что было успешно продемонстрировано в исследовании D. Saragaglia и M. Vlaysat с соавторами, представившим клинические и рентгенологические исходы лечения 42 пациентов, которым проводились двухуровневые остеотомии бедренной и большеберцовой костей с помощью системы Orthopilot с 2001 по 2010 г. [42]. Первым этапом выполнялась закрытая клиновидная остеотомия бедренной кости (толщина клина варьировала в пределах 4–7 мм). После измерения остаточной варусной деформации производилась открытая клиновидная остеотомия большеберцовой кости с применением остеозамещающего материала Biosorb. Период наблюдения за пациентами составил  $46 \pm 27$  мес. Функциональные результаты, оцененные по шкале Tenger-Lysholm,

составили  $83 \pm 7,5$  баллов. Ни одному из пациентов за период наблюдения не потребовалось тотальное эндопротезирование коленного сустава [42].

О схожих результатах сообщают исследователи, использовавшие навигационную систему VectorVision. В частности, F. Gebhard с соавторами успешно выполнили открытые клиновидные остеотомии большеберцовой кости у 51 пациента, затратив на оперативное вмешательство в среднем 105 минут и достигнув желаемого уровня коррекции оси конечности в 85% случаев [28]. D.K. Baе с соавторами оценили изменение длины конечности после 78 закрытых и 30 открытых высоких остеотомий большеберцовой кости с использованием компьютерной навигации VectorVision [19]. Дополнительно изменение длины конечности контролировалось при помощи послеоперационных рентгенограмм. Оказалось, что после закрытых высоких остеотомий большеберцовой кости, по данным компьютерной навигации и рентгенограмм, изменение длины конечности составило  $-1,3 \pm 1,9$  и  $-1,3 \pm 10,7$  мм соответственно. В то же время после открытых высоких остеотомий большеберцовой кости эти показатели были выше, составляя  $6,2 \pm 2,6$  и  $7,8 \pm 2,9$  мм. Средний угол коррекции оси во фронтальной плоскости составил  $11,6 \pm 3,2^\circ$  для закрытых остеотомий большеберцовой кости и  $11,5 \pm 1,9^\circ$  для открытых. Изменение угла коррекции деформации при закрытых остеотомиях не приводило к существенному изменению длины конечности, в то время как при открытых вызывало ее значимое увеличение. После закрытых остеотомий большеберцовой кости изменение длины конечности было незначительным, после открытых – увеличивалось. Исследователи пришли к выводу о том, что этот факт необходимо принимать во внимание при планировании проведения открытых остеотомий большеберцовой кости, особенно когда требуется большой угол коррекции деформации [19].

В исследовании G. Wang с соавторами, применявшими навигационную систему SURGIGATE, корригирующие остеотомии были проведены у 25 пациентов [51]. Отличительной чертой технологического обеспечения системы является рентгенологическое сопровождение, позволяющее интраоперационно выбрать инструмент для устранения деформации, провести измерения и интерактивное планирование с достижением точной коррекции

Обобщенные данные клинических исследований, представленных в таблице, свидетельствуют, что навигация повышает точность коррекции оси конечности во фронтальной

и сагиттальной плоскостях; позволяет контролировать изменение наклона плато большеберцовой кости при проведении открытых клиновидных остеотомий, что весьма затруднительно при использовании традиционной техники; не

вызывает развития каких-либо специфических осложнений и положительно сказывается на отдаленных результатах – функции оперированной конечности и продолжительности достигаемого эффекта.

Таблица

| Авторы                      | Вид остеотомии                            | Количество наблюдений (навигация/контроль) | Время операции в мин (навигация/контроль)      | Точность коррекции оси конечности во фронтальной плоскости (навигация/контроль)                        | Наклон плато большеберцовой кости в сагиттальной плоскости (навигация/контроль)      | Срок наблюдения | Результаты (навигация/контроль)   | Осложнения |
|-----------------------------|---|--|--|--|--|-----------------|---|------------|
| Вае D.K. с соавт. [18]      | Закрытая клиновидная б/б кости            | 100 (50/50)                                | –  | 2,3°/3,7°, p = 0,012<br>Вариабельность достоверно ниже в группе с применением компьютерной навигации   | Сохранение угла наклона плато большеберцовой кости кзади при использовании навигации | 12 лет          | –   | Нет        |
| Вае D.K. с соавт. [20]      | Закрытая клиновидная б/б кости            | 150 (75/75)                                | –  | –  | –  | 10 лет          | KSS knee score: через 1 год – 90,1/86,0; KSS function score: 82,0/76,0<br>10-летняя выживаемость: 97,1%/89,6% | Нет        |
| Chang J. с соавт. [22]      | Медиальная открытая клиновидная б/б кости | 107 (41/66)                                | –  | Точность коррекции в группе с использованием компьютерной навигации – 75,8%, в группе контроля – 66,2% | Различий не отмечено   | –               | –   | Нет        |
| Gebhard F. с соавт. [28]    | Открытая клиновидная б/б кости            | 51 (51/0)                                  | 105  | Желаемый уровень коррекции достигнут у 85% пациентов   | –  | 4,4–18 нед.     | –   | Нет        |
| Na Y.G. с соавт. [38]       | Открытая клиновидная б/б кости            | 40 (20/20)                                 | 41,3/39,2 (время рентгено-скопии: 10,4/24,8 с) | Различия не значимы, однако при навигации меньше разброс отклонений оси конечности                     | +0,3° (p = 0,732)/ +3° (p<0,001)   | –               | –   | Нет        |
| Ribiero C.H. с соавт. [41]  | Открытая клиновидная б/б кости            | 38 (18/20)                                 | –  | 3,07±1°/ 3,35 ±3,27° (p<0,001)   | 10,1°±0,18/ 13,75±3,75° (p<0,001)  | 8 лет           | Шкала Tegner-Lysholm: 91/87,6 баллов  | Нет        |
| Saragaglia D. с соавт. [45] | Открытая клиновидная б/б кости            | 56 (28/28)                                 | –  | 96% / 71% (p<.0015)  | –  | –               | –   | Нет        |

Окончание таблицы

| Авторы                            | Вид остеотомии                               | Количество наблюдений (навигация/контроль) | Время операции в мин (навигация/контроль) | Точность коррекции оси конечности во фронтальной плоскости (навигация/контроль) | Наклон плато большеберцовый кости в сагиттальной плоскости (навигация/контроль) | Срок наблюдения | Результаты (навигация/контроль)   | Осложнения   |
|-----------------------------------|--|--|---|---|---|-----------------|---|--|
| Saragaglia D. с соавт. [44]       | Двухуровневая бедренной и б/б костей         | 42 (42/0)                                  | –   | 92,7%   | –   | 46±27 мес.      | Шкала Tegner-Lysholm: 83±7,5 баллов (отличные и хорошие результаты)                     | Нет  |
| Schröter S. с соавт. [46]         | Открытая клиновидная б/б кости               | 120 (120/0)                                | –   | 2,1°±1,4°/<br>1,7°±1,2°<br>(p<0,001)  | 2,7°±3,9°/<br>2,1°±3,9°<br>(p<0,001)  | 3 года          | –   | Нет  |
| Stanley J.C. с соавт. [49]        | Открытая клиновидная б/б кости               | 117 (52/65)                                | –   | 59% / 56%   | –   | 12 мес.         | –   | Нет  |
| Sternheim A. с соавт. [50]        | Закрытая варизирующая клиновидная б/б кости  | 45 (0/45)                                  | –   | –   | –   | 10–20 лет       | Выживаемость после проведения вмешательства: 10 лет – 90%; 15 лет – 79%; 20 лет – 21,5% | Нет  |
| Yan J. с соавт. [53] (метаанализ) | Корректирующие закрытые и открытые б/б кости | 2216 (1608/608)                            | –   | Компьютерная навигация позволяет осуществить более точную коррекцию оси         | –   | –               | Шкала Tegner-Lysholm: 87,8±5,9/<br>88,8±5,9 баллов (различия недостоверны)              | Нет  |
| Kim S.J. с соавт. [35]            | Открытая клиновидная б/б кости               | 90 (47/43)                                 | 74,8±6,9/<br>73,8±8,5                     | Варусная деформация: 2,2–11,3 / 2,0–10,3 (p<0,01)                               | 9,5±2,3 (от 5,6 до 14,6) / 10,2±2,3 (от 6,3 до 15,1) (p<0,01)                   | 1 год           | Шкала Tegner-Lysholm: 85±6 (от 73 до 92) / 83±5 (от 74 до 92) баллов                    | Перелом латерального мыщелка б/б кости у 2 пациентов в контрольной группе. |

Следует отметить, что высказываемые опасения о повышенном риске осложнений, ассоциированных с использованием компьютерной навигации, например, повреждении сосудисто-нервных образований чрескостными стержнями, инфицировании мягких тканей в зоне прохождения стержней или даже повышении частоты хирургической инфекции из-за увеличения времени хирургического вмешательства, не нашли клинического подтверждения [15].

Преимущества систем компьютерной навигации при выполнении околосуставных остеотомий позволяют:

– создать интраоперационно точную цифровую модель метаэпифизов костей,

составляющих коленный сустав, и визуализировать ось нижней конечности пациента в режиме реального времени (в двух или трех плоскостях в зависимости от программного обеспечения);

– спланировать и проконтролировать все этапы операции с погрешностью 0,5° – 0,5 мм;

– выполнять в сочетании со специальным инструментарием подобные операции из менее протяженного хирургического доступа с меньшей травматизацией тканей.

Вместе с тем, при использовании оптической компьютерной навигации диагностика анатомических ориентиров и оси нижней конечности выполняется интраоперационно (без пред-



варительной КТ, МРТ или ЭОП-контроля во время операции). Поэтому от того, насколько точно хирург определит соответствующие точки, зависит степень соответствия показателей в навигаторе реальной клинической ситуации. Большинство проанализированных нами исследований свидетельствуют о повышении точности коррекции механической оси конечности при использовании компьютерной навигации за счет уменьшения допускаемых хирургами погрешностей. Однако мало внимания уделено изучению преимуществ в функциональных исходах лечения данной категории больных [20]. Говоря об ограничениях этой технологии, следует упомянуть, что погрешности в работе навигационной системы могут быть обусловлены смещением фиксированных к костям датчиков во время операции, кроме этого применение этого метода иногда затруднено у тучных пациентов [14, 15, 38].

В целом, характеризуя интерес исследователей к применению цифровых технологий в хирургии коленного сустава, мы с сожалением отмечаем, что корригирующие околосуставные остеотомии бедренной и большеберцовой костей не привлекают должного внимания, несмотря на очевидную перспективность направления. Так, при поиске по ключевым словам в системе Medline с 2013 по 2016 г. нами обнаружено всего 33 релевантных публикации (для сравнения: количество работ, посвященных эндопротезированию коленного сустава превышало 400).

Таким образом, гипотеза исследования подтвердилась: проведение корригирующих остеотомий с компьютерной навигацией улучшает точность достигаемой коррекции оси конечности во фронтальной и сагиттальной плоскостях, что благоприятно сказывается как на функциональных исходах лечения, так и на продолжительности достигаемого клинического эффекта. По нашему мнению, это направление хирургического лечения больных гонартрозом требует дальнейшего изучения, причем акцент должен быть смещен с уже доказанной более высокой точности хирургических манипуляций, достигаемых при помощи навигации, на анализ среднесрочных и отдаленных функциональных результатов лечения, особенно среди пациентов средней возрастной группы, активно занимающихся спортом или тяжелым физическим трудом.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Источник финансирования:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

## Литература

1. Алексеева Л.И., Цветкова Е.С. Остеоартроз: из прошлого в будущее. *Научно-практическая ревматология*. 2009;(2):31-37.
2. Багирова Г.Г., Мейко О.Ю. Остеоартроз: эпидемиология, клиника, диагностика, лечение. М., 2005. 224 с.
3. Головаха М.Л. Алгоритм дифференцированного лечения остеоартроза коленного сустава. *Запорожский медицинский журнал*. 2011;(4):16-19.
4. Кавалерский Г.М., Мурылев В.Ю., Рукин Я.Л., Середа А.П. Применение компьютерной навигации для тотального эндопротезирования коленного сустава у пациентов с грубыми деформациями механической оси нижней конечности. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2015;(3):8-12.
5. Колесников М.А. Лечение гонартроза: современные принципы и подходы. *Практическая медицина*. 2010;(8):97-99.
6. Корж Н.А., Головаха М.Л., Орляндский В. Повреждения хряща коленного сустава. Запорожье: Просвита, 2013. 128 с.
7. Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Игнатенко В.Л., Петухов А.И. Использование компьютерной навигации при тотальной артропластике коленного сустава. В кн.: Артропластика коленного сустава. СПб., 2012. с. 175-180.
8. Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Тихилов Р.М. и др. Компьютерная навигация при тотальном замещении коленного сустава. Эндопротезирование в России. Вып. 4. Казань; СПб., 2008. С. 175-180.
9. Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Филь А.С., Муравьева Ю.В. Данные регистра эндопротезирования коленного сустава РНИИТО им. Р.Р. Вредена за 2011–2013 годы. *Травматология и ортопедия России*. 2015;(1):137-152.
10. Макушин В.Д., Чегуров В.К., Гордиевских Н.И. Динамика внутрикостного давления при лечении гонартроза. *Гений ортопедии*. 2003;(4):101-113.
11. Малышев Е.Е., Павлов Д.В., Блинов С.В. Динамический контроль угловых деформации в коленном суставе. *Новые технологии в травматологии и ортопедии*. 2013;(3):136-142.
12. Мюллер В. Высокая остеотомия большеберцовой кости: условия, показания, техника, проблемы, результаты. *Margo Anterior*. 2003;(1-2):2-10.
13. Орляндский В., Головаха М.Л., Шабус Р. Корригирующие остеотомии в области коленного сустава. Днепропетровск: Пороги, 2009. 160 с.
14. Петухов А.И., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Тихилов Р.М. Анализ пространственного расположения компонентов эндопротеза коленного сустава и ранние функциональные результаты эндопротезирования с использованием компьютерной навигации. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2009;(3):51-55.
15. Петухов А.И., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Тихилов Р.М. Осложнения при использовании компьютерной навигации во время тотальной артропластики коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2009;(3):161-163.
16. Петухов А.И., Корнилов Н.Н., Куляба Т.А., Тихилов Р.М. Тотальное эндопротезирование коленного сустава у больных с посттравматическим гонартрозом: возможности компьютерной навигации. *Травматология и ортопедия России*. 2010;(1):115-123.
17. Стаценко О.А., Волна О.А., Ардашев И.П., Плотников Г.А. Комплексное лечение деформаций коленного сустава. В кн.: Тезисы докладов VII съезда травматологов-ортопедов России. Новосибирск, 2002. 528 с.

18. Bae D.K., Song S.J., Yoon K.H. Closed-wedge high tibial osteotomy using computer-assisted surgery compared to the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(9):1164-1171. DOI: 10.1302/0301-620X.91B9.22058.
19. Bae D.K., Song S.J., Kim H.J., Seo J.W. Change in limb length after high tibial osteotomy using computer-assisted surgery: a comparative study of closed-andopen-wedge osteotomies. *Knee Surgical Sports Traumatology Arthroscopy.* 2013;21(1):120-126. DOI: 10.1007/s00167-012-1898-5.
20. Bae D.K., Song S.J., Kim K.I., Hur D., Jeong H.Y. Mid-term survival analysis of closedwedge high tibial osteotomy: A comparative study of computer-assisted andconventional techniques. *Knee.* 2016;23(2):283-288. DOI: 10.1016/j.knee.2015.10.005.
21. Cameron H.U., Botsford D.J., Park Y.S. Prognostic factors in the outcome of supracondylar femoral osteotomy for lateral compartment osteoarthritis of the knee. *Can J Surg.* 1997;40(2):114-118.
22. Chang J., Scallon G., Beckert M., Zavala J., Bollier M., Wolf B., Albright J. Comparing the accuracy of high tibial osteotomies between computer navigation and conventional methods. *Comput Assist Surg (Abingdon).* 2017;22(1):1-8. DOI: 10.1080/24699322.2016.1271909.
23. Coventry M.B., Ilstrup D.M., Wallrichs S.L. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(2):196-201.
24. Coventry M.B. Osteotomy of upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am.* 1965;47:984-990.
25. Coventry M.B. Upper tibial osteotomy for osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(7):1136-1140.
26. Dahl M.T. Preoperative planning in deformity correction and limb lengthening surgery. *Instr Course Lect.* 2000;49:503-509.
27. Decking R., Markmann Y., Fuchs J., Puhl W., Scharf H.P. Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-navigated and manual implantation. *J Arthroplasty.* 2005;20(3):282-290.
28. Gebhard F., Krettek C., Hüfner T., Grütznier P.A., Stöckle U., Imhoff A.B., Lorenz S., Ljungqvist J., Keppler P., AO CSEG. Reliability of computer-assisted surgery as an intraoperative ruler in navigated high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2011;131(3):297-302. DOI: 10.1007/s00402-010-1145-9.
29. Goleski P., Warkentine B., Lo D., Gyuricza C., Kendoff D., Pearle A.D. Reliability of navigated lower limb alignment in high tibial osteotomies. *Am J Sports Med.* 2008;36(11):2179-2186. DOI: 10.1177/0363546508319314.
30. Hankemeier S., Hufner T., Wang G., Kendoff D., Zeichen J., Zheng G., Krettek C. Navigated open-wedge high tibial osteotomy: advantages and disadvantages compared to the conventional technique in a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(10):917-921. DOI: 10.1007/s00167-006-0035-8.
31. Hankemeier S., Hufner T., Wang G., Kendoff D., Zheng G., Richter M., Gosling T., Nolte L., Krettek C. Navigated intraoperative analysis of lower limb alignment. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2005;125(8):531-535. DOI: 10.1007/s00402-005-0038-9.
32. Hofmann S., Lobenhoffer P., Staubli A., Van Heerwarden R. Osteotomies of the knee joint in patients with monocompartmental arthritis. *Orthopade.* 2009;38(8):755-769; quiz 770 (in German). DOI: 10.1007/s00132-009-1458-y.
33. Insall J., Shoji H. High tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee: a changing concept. *Int Surg.* 1976;61(1):11-14.
34. Kawakami H., Sugano N., Yonenobu K., Yoshikawa H., Ochi T., Hattori A., Suzuki N. Effects of rotation on measurement of lower limb alignment for knee osteotomy. *J Orthop Res.* 2004;22(6):1248-1253. DOI: 10.1016/j.orthres.2004.03.016.
35. Kim S.J., Koh Y.G., Chun Y.M., Kim Y.C., Park Y.S., Sung C.H. Medial opening wedge high-tibial osteotomy using a kinematic navigation system versus a conventional method: a 1-year retrospective, comparative study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2009;17(2):128-134. DOI: 10.1007/s00167-008-0630-y.
36. Lobenhoffer P. Importance of osteotomy around to the knee for medial gonarthrosis. Indications, technique and results. *Orthopade.* 2014;43(5):425-431. DOI: 10.1007/s00132-013-2189-7.
37. Lütznier J., Gross A.F., Günther K.P., Kirschner S. Precision of navigated and conventional open-wedge high tibial osteotomy in a cadaver study. *Eur J Med Res.* 2010;30;15(3):117-120.
38. Na Y.G., Eom S.H., Kim S.J., Chang M.J., Kim T.K. The use of navigation in medial opening wedge high tibial osteotomy can improve tibial slope maintenance and reduce radiation exposure. *Int Orthop.* 2016;40(3):499-507. DOI: 10.1007/s00264-015-2880-x.
39. Oakley S.P., Lassere M.N. A critical appraisal of quantitative arthroscopy as an outcome measure in osteoarthritis of the knee. *Semin Arthritis Rheum.* 2003;33(2):83-105.
40. Pearle A.D., Goleski P., Musahl V., Kendoff D. Reliability of image-free navigation to monitor lower-limb alignment. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(Suppl 1):90-94. DOI: 10.2106/JBJS.H.01439.
41. Ribeiro C.H., Severino N.R., Moraes de Barros Fucs P.M. Opening wedge high tibial osteotomy: navigation system compared to the conventional technique in a controlled clinical study. *Int Orthop.* 2014;38(8):1627-1631. DOI: 10.1007/s00264-014-2341-y.
42. Saragaglia D., Blaysat M., Mercier N., Grimaldi M. Results of forty two computer-assisted double level osteotomies for severe genu varum deformity. *Int Orthop.* 2012;36(5):999-1003. DOI: 10.1007/s00264-011-1363-y.
43. Saragaglia D., Massfelder J., Refaie R., Rubens-Duval B., Mader R., Rouchy R.C., Pailhé R. Computer-assisted total knee replacement after medial opening wedge high tibial osteotomy: medium-term results in a series of ninety cases. *Int Orthop.* 2016;40(1):35-40. DOI: 10.1007/s00264-015-2791-x.
44. Saragaglia D., Mercier N., Colle P.E. Computer-assisted osteotomies for genu varum deformity: which osteotomy for which varus. *Int Orthop.* 2010;34(2):185-190. DOI: 10.1007/s00264-009-0757-6.
45. Saragaglia D., Roberts J. Navigated osteotomies around the knee in 170 patients with osteoarthritis secondary to genu varum. *Orthopedics.* 2005;28(10 Suppl):s1269-1274.
46. Schröter S., Ihle C., Elson D., Döbele S., Stöckle U., Ateschrang A. Surgical accuracy in high tibial osteotomy: coronal equivalence of computer navigation and gap measurement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(11):3410-3417. DOI: 10.1007/s00167-016-3983-7.
47. Sikorski J.M., Chauhan S. Computer-assisted orthopaedic surgery: do we need CAOS? *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(3):319-323.
48. Song E.K., Seon J.K., Park S.J., Seo H.Y. Navigated open wedge high tibial osteotomy. *Sports Med Arthrosc.* 2008;16(2):84-90. DOI: 10.1097/JSA.0b013e318172b547.

49. Stanley J.C., Robinson K.G., Devitt B.M., Richmond A.K., Webster K.E., Whitehead T.S., Feller J.A. Computer assisted alignment of opening wedge high tibial osteotomy provides limited improvement of radiographic outcomes compared to fluoroscopic alignment. *Knee*. 2016;23(2):289-294. DOI: 10.1016/j.knee.2015.12.006.
50. Sternheim A., Garbedjan S., Backstein D. Distal femoral varus osteotomy: unloading the lateral compartment: long-term follow-up of 45 medial closing wedge osteotomies. *Orthopedics*. 2011;34(9):e488-490. DOI: 10.3928/01477447-20110714-37.
51. Wang G., Zheng G., Gruetzner P.A., Mueller-Alsbach U., von Recum J., Staubli A., Nolte L.P. A fluoroscopy-based surgical navigation system for high tibial osteotomy. *Technol Health Care*. 2005;13(6):469-483.
52. Yamamoto Y., Ishibashi Y., Tsuda E., Tsukada H., Kimura Y., Toh S. Validation of computer-assisted open-wedge high tibial osteotomy using three-dimensional navigation. *Orthopedics*. 2008;31(10 Suppl 1).
53. Yan J., Musahl V., Kay J., Khan M., Simunovic N., Ayeni O. Outcome reporting following navigated high tibial osteotomy of the knee: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(11):3529-3555. DOI: 10.1007/s00167-016-4327-3.
- ### References
- Alekseeva L.I., Tsvetkova E.S. [Osteoarthritis from past to future]. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya* [Research and Practice Rheumatology]. 2009;(2):31-37 (in Russian).
  - Bagirova G.G., Meiko O.Yu. Osteoartroz: ehpidemiologiya, klinika, diagnostika, lechenie [Osteoarthritis: epidemiology, clinical features, diagnosis, treatment]. Moscow, 2005. 224 p. (in Russian).
  - Golovakha M.L. [Algorithm differentiated treatment of osteoarthritis of the knee]. *Zaporozhskij medicinskij zhurnal* [Zaporozhye Medical Journal]. 2011;(4):16-19. (in Russian).
  - Kavalerskiy G.M., Murylev V.Yu., Rukin Ya.L., Sereda A.P. [The use of computer navigation for total knee arthroplasty in patients with severe deformities of the lower limb mechanical axis]. *Kafedra travmatologii i ortopedii* [The Chair of Traumatology and Orthopedics]. 2015;(3):8-12. (in Russian).
  - Kolesnikov M.A. [Treatment of gonarthrosis: the modern principles and approaches]. *Prakticheskaya medicina* [Practical medicine]. 2010;(8):97-99. (in Russian).
  - Korz N.A., Golovaha M.L., Orlyandskiy V. [Damage to the knee cartilage]. Zaporozh'e: Prosvita; 2013. 128 p. (in Russian).
  - Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Ignatenko V.L., Petukhov A.I. [The use of computer navigation during total knee arthroplasty]. In: [Arthroplasty of the knee joint]. SPb., 2012. P. 175-180. (in Russian).
  - Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Tikhilov R.M. [Computer navigation at total replacement of the knee joint]. In: [Endoprosthesis in Russia]. Vol. 4. Kazan ; SPb.; 2008. P. 175-180. (in Russian).
  - Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Fil A.S., Murav'eva Yu.V. [Data register of knee arthroplasty RNIITO them. R.R. Vreden for 2011–2013]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2015;(1): 137-152. (in Russian).
  - Makushin V.D., Chegurov V.K., Gordievskikh N.I. [Dynamics of intraosseous pressure in the treatment of gonarthrosis]. *Genij ortopedii* [The Genius of Orthopedics]. 2003;(4):112-114. (in Russian).
  - Malyshev E.E., Pavlov D.V., Blinov S.V. [Dynamic control of angular deformation in the knee joint]. *Novye tekhnologii v travmatologii i ortopedii* [New Technologies in Traumatology and Orthopedics]. 2013;(3):136-142. (in Russian).
  - Myller B. [High tibial osteotomy: the conditions, indications, techniques, problems and results]. *Margo Anterior*. 2003;(1-2):2-10. (in Russian).
  - Orlyanskiy V., Golovakha M.L., Shabus R. [Corrective osteotomy in the knee joint]. Dnepropetrovsk : Porogi. 2009. 160 p. (in Russian).
  - Petukhov A.I., Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Tikhilov R.M. [Analysis of the spatial arrangement of the components of the knee prosthesis and early functional results of arthroplasty using computer navigation]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [Bulletin of Traumatology and Orthopedics named after N.N. Priorov] 2009;(3):51-55. (in Russian).
  - Petuhov A.I., Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Tikhilov R.M. [Complications with the use of computer navigation in total knee arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2009;(3):161-163. (in Russian).
  - Petukhov A.I., Kornilov N.N., Kulyaba T.A., Tikhilov R.M. [Total knee arthroplasty in patients with post-traumatic gonarthrosis: the possibility of computer navigation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2010;(1):115-123. (in Russian).
  - Statsenko O.A., Volna O.A., Ardashev I.P., Plotnikov G.A. [Comprehensive treatment of knee joint deformities]. In: [Abstracts VII Congress of Trauma and Orthopaedic Russia]. Novosibirsk, 2002. 528 p. (in Russian).
  - Bae D.K., Song S.J., Yoon K.H. Closed-wedge high tibial osteotomy using computer-assisted surgery compared to the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(9):1164-1171. DOI: 10.1302/0301-620X.91B9.22058.
  - Bae D.K., Song S.J., Kim H.J., Seo J.W. Change in limb length after high tibial osteotomy using computer-assisted surgery: a comparative study of closed- and open-wedge osteotomies. *Knee Surgical Sports Traumatology Arthroscopy*. 2013;21(1):120-126. DOI: 10.1007/s00167-012-1898-5.
  - Bae D.K., Song S.J., Kim K.I., Hur D., Jeong H.Y. Mid-term survival analysis of closed wedge high tibial osteotomy: A comparative study of computer-assisted and conventional techniques. *Knee*. 2016;23(2):283-288. DOI: 10.1016/j.knee.2015.10.005.
  - Cameron H.U., Botsford D.J., Park Y.S. Prognostic factors in the outcome of supracondylar femoral osteotomy for lateral compartment osteoarthritis of the knee. *Can J Surg*. 1997;40(2):114-118.
  - Chang J., Scallon G., Beckert M., Zavala J., Bollier M., Wolf B., Albright J. Comparing the accuracy of high tibial osteotomies between computer navigation and conventional methods. *Comput Assist Surg (Abingdon)*. 2017;22(1):1-8. DOI: 10.1080/24699322.2016.1271909.
  - Coventry M.B., Ilstrup D.M., Wallrichs S.L. Proximal tibial osteotomy. A critical long-term study of eighty-seven cases. *J Bone Joint Surg Am*. 1993;75(2):196-201.
  - Coventry M.B. Osteotomy of upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am*. 1965;47:984-990.
  - Coventry M.B. Upper tibial osteotomy for osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67(7):1136-1140.
  - Dahl M.T. Preoperative planning in deformity correction and limb lengthening surgery. *Instr Course Lect*. 2000;49:503-509.
  - Decking R., Markmann Y., Fuchs J., Puhl W., Scharf H.P. Leg axis after computer-navigated total knee arthroplasty: a prospective randomized trial comparing computer-

- navigated and manual implantation. *J Arthroplasty*. 2005;20(3):282-290.
28. Gebhard F, Krettek C., Hüfner T., Grützner P.A., Stöckle U., Imhoff A.B., Lorenz S., Ljungqvist J., Keppler P., AO CSEG. Reliability of computer-assisted surgery as an intraoperative ruler in navigated high tibial osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2011;131(3):297-302. DOI: 10.1007/s00402-010-1145-9.
  29. Goleski P, Warkentine B., Lo D., Gyuricza C., Kendoff D., Pearle A.D. Reliability of navigated lower limb alignment in high tibial osteotomies. *Am J Sports Med*. 2008;36(11):2179-2186. DOI: 10.1177/0363546508319314.
  30. Hankemeier S., Hüfner T., Wang G., Kendoff D., Zeichen J., Zheng G., Krettek C. Navigated open-wedge high tibial osteotomy: advantages and disadvantages compared to the conventional technique in a cadaver study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006;14(10):917-921. DOI: 10.1007/s00167-006-0035-8.
  31. Hankemeier S., Hüfner T., Wang G., Kendoff D., Zheng G., Richter M., Gosling T., Nolte L., Krettek C. Navigated intraoperative analysis of lower limb alignment. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2005;125(8):531-535. DOI: 10.1007/s00402-005-0038-9.
  32. Hofmann S., Lobenhoffer P., Staubli A., Van Heerwarden R. Osteotomies of the knee joint in patients with monocompartmental arthritis. *Orthopade*. 2009;38(8):755-769; quiz 770. (in German). DOI: 10.1007/s00132-009-1458-y.
  33. Insall J., Shoji H. High tibial osteotomy for osteoarthritis of the knee: a changing concept. *Int Surg*. 1976;61(1):11-14.
  34. Kawakami H., Sugano N., Yonenobu K., Yoshikawa H., Ochi T., Hattori A., Suzuki N. Effects of rotation on measurement of lower limb alignment for knee osteotomy. *J Orthop Res*. 2004;22(6):1248-1253. DOI: 10.1016/j.orthres.2004.03.016.
  35. Kim S.J., Koh Y.G., Chun Y.M., Kim Y.C., Park Y.S., Sung C.H. Medial opening wedge high-tibial osteotomy using a kinematic navigation system versus a conventional method: a 1-year retrospective, comparative study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(2):128-134. DOI: 10.1007/s00167-008-0630-y.
  36. Lobenhoffer P. Importance of osteotomy around to the knee for medial gonarthrosis. Indications, technique and results. *Orthopade*. 2014;43(5):425-431. DOI: 10.1007/s00132-013-2189-7.
  37. Lützner J., Gross A.F., Günther K.P., Kirschner S. Precision of navigated and conventional open-wedge high tibial osteotomy in a cadaver study. *Eur J Med Res*. 2010;30;15(3):117-120.
  38. Na Y.G., Eom S.H., Kim S.J., Chang M.J., Kim T.K. The use of navigation in medial opening wedge high tibial osteotomy can improve tibial slope maintenance and reduce radiation exposure. *Int Orthop*. 2016;40(3):499-507. DOI: 10.1007/s00264-015-2880-x.
  39. Oakley S.P., Lassere M.N. A critical appraisal of quantitative arthroscopy as an outcome measure in osteoarthritis of the knee. *Semin Arthritis Rheum*. 2003;33(2):83-105.
  40. Pearle A.D., Goleski P., Musahl V., Kendoff D. Reliability of image-free navigation to monitor lower-limb alignment. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(Suppl 1):90-94. DOI: 10.2106/JBJS.H.01439.
  41. Ribeiro C.H., Severino N.R., Moraes de Barros Fucs P.M. Opening wedge high tibial osteotomy: navigation system compared to the conventional technique in a controlled clinical study. *Int Orthop*. 2014;38(8):1627-1631. DOI: 10.1007/s00264-014-2341-y.
  42. Saragaglia D., Blaysat M., Mercier N., Grimaldi M. Results of forty two computer-assisted double level osteotomies for severe genu varum deformity. *Int Orthop*. 2012;36(5):999-1003. DOI: 10.1007/s00264-011-1363-y.
  43. Saragaglia D., Massfelder J., Refaie R., Rubens-Duval B., Mader R., Rouchy R.C., Pailhé R. Computer-assisted total knee replacement after medial opening wedge high tibial osteotomy: medium-term results in a series of ninety cases. *Int Orthop*. 2016;40(1):35-40. DOI: 10.1007/s00264-015-2791-x.
  44. Saragaglia D., Mercier N., Colle P.E. Computer-assisted osteotomies for genu varum deformity: which osteotomy for which varus. *Int Orthop*. 2010;34(2):185-190. DOI: 10.1007/s00264-009-0757-6.
  45. Saragaglia D., Roberts J. Navigated osteotomies around the knee in 170 patients with osteoarthritis secondary to genu varum. *Orthopedics*. 2005;28(10 Suppl):s1269-1274.
  46. Schröter S., Ihle C., Elson D., Döbele S., Stöckle U., Ateschrang A. Surgical accuracy in high tibial osteotomy: coronal equivalence of computer navigation and gap measurement. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(11):3410-3417. DOI: 10.1007/s00167-016-3983-7.
  47. Sikorski J.M., Chauhan S. Computer-assisted orthopaedic surgery: do we need CAOS? *J Bone Joint Surg Br*. 2003;85(3):319-323.
  48. Song E.K., Seon J.K., Park S.J., Seo H.Y. Navigated open wedge high tibial osteotomy. *Sports Med Arthrosc*. 2008;16(2):84-90. DOI: 10.1097/JSA.0b013e318172b547.
  49. Stanley J.C., Robinson K.G., Devitt B.M., Richmond A.K., Webster K.E., Whitehead T.S., Feller J.A. Computer assisted alignment of opening wedge high tibial osteotomy provides limited improvement of radiographic outcomes compared to fluoroscopic alignment. *Knee*. 2016;23(2):289-294. DOI: 10.1016/j.knee.2015.12.006.
  50. Sternheim A., Garbedjan S., Backstein D. Distal femoral varus osteotomy: unloading the lateral compartment: long-term follow-up of 45 medial closing wedge osteotomies. *Orthopedics*. 2011;34(9):e488-490. DOI: 10.3928/01477447-20110714-37.
  51. Wang G., Zheng G., Gruetzner P.A., Mueller-Alsbach U., von Recum J., Staubli A., Nolte L.P. A fluoroscopy-based surgical navigation system for high tibial osteotomy. *Technol Health Care*. 2005;13(6):469-483.
  52. Yamamoto Y., Ishibashi Y., Tsuda E., Tsukada H., Kimura Y., Toh S. Validation of computer-assisted open-wedge high tibial osteotomy using three-dimensional navigation. *Orthopedics*. 2008;31(10 Suppl 1).
  53. Yan J., Musahl V., Kay J., Khan M., Simunovic N., Ayeni O. Outcome reporting following navigated high tibial osteotomy of the knee: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(11):3529-3555. DOI: 10.1007/s00167-016-4327-3.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Кочергин Павел Геннадьевич* – лаборант-исследователь научного отдела патологии коленного сустава ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

*Корнилов Николай Николаевич* – д-р мед. наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, ведущий научный сотрудник отдела патологии коленного сустава ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России

*Куляба Тарас Андреевич* – д-р мед. наук, руководитель научного отдела патологии коленного сустава ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

*Pavel G. Kochergin* – Assistant Researcher of the Knee Pathology Department, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopaedics

*Nikolai N. Kornilov* – Dr. Sci. (Med.), Professor of Chair of Traumatology and Orthopaedy, Leading Scientific Worker of the Knee Pathology Department, Vreden Russian Research Institute of Traumatology And Orthopaedics; Associate Professor of Department of Traumatology and Orthopaedics of Mechnikov North-Western State Medical University

*Taras A. Kulyaba* – Dr. Sci. (Med.), the Head of The Knee Pathology Department, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopaedics