

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321627>

Опыт применения индивидуального резекционного блока «5 в 1» при выполнении тотального эндопротезирования коленного сустава

А.В. Филиппова¹, О.Г. Хурцилава¹, Д.А. Пташников^{1,2}¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Российская Федерация;² Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Эндопротезирование коленного сустава — наиболее прогрессивно развивающееся направление в современном ортопедическом мире. С развитием визуализирующих технологий появилось отдельное направление — компьютерная ортопедическая хирургия. Условно в компьютерной ортопедической хирургии можно выделить три группы. Наиболее актуальной на сегодняшний день остаётся 1-я группа — использование индивидуальных резекционных блоков, шаблонов или направителей. Однако применение существующих в настоящее время индивидуальных резекционных блоков, по данным литературы, имеет противоречивые результаты.

Описание клинического случая. В работе представлена разработанная авторская методика нового предоперационного 3D-моделирования эндопротезирования коленного сустава с использованием индивидуальных резекционных блоков. В рамках данного исследования в статье представлен один из клинических примеров, демонстрирующих эффективность использования новой методики.

Заключение. Выбранная нами стратегия «компьютерная+магнитно-резонансная томография», на наш взгляд, является оптимальным решением не только для грамотного предоперационного планирования этапов эндопротезирования коленного сустава, но и для проектирования индивидуальных резекционных блоков. Созданные нами индивидуальные резекционные блоки позволили повысить точность выполнения эндопротезирования коленного сустава.

Ключевые слова: эндопротезирование; коленный сустав; гонартроз; 3D-моделирование; прототипирование; 3D-печать; референтные углы; индивидуальный шаблон; индивидуальный резекционный блок.

Как цитировать:

Филиппова А.В., Хурцилава О.Г., Пташников Д.А. Опыт применения индивидуального резекционного блока «5 в 1» при выполнении тотального эндопротезирования коленного сустава // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2023. Т. 30, № 2. С. 199–208.

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321627>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321627>

Experience of use of the individual cutting block «5 in 1» using total knee arthroplasty

Anastasia V. Filippova¹, Otari G. Khurtsilava¹, Dmitrii A. Ptashnikov^{1,2}

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation;

² Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after R.R. Vreden, St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Total knee arthroplasty is the most progressively developing direction in the modern orthopaedic world. With the new visualization technologies, a whole new field of computer-assisted orthopaedic surgery has emerged. Generally, three groups can be distinguished in computer-assisted orthopedic surgery. The 1st group — the use of individual resection blocks, templates or guides — remains the most relevant today. However, the use of currently existing individual resection blocks, according to the literature, has contradictory results.

CLINICAL CASES DESCRIPTION: This work presents the author's developed technique of a new preoperative 3D modeling for total knee arthroplasty using individual resection blocks. The paper presents a clinical case demonstrating the effectiveness of the new technique.

CONCLUSION: The strategy CT+MRI, in our opinion, is the optimal solution not only for competent preoperative planning of total knee arthroplasty, but also for designing individual resection blocks. Our individual resection blocks allowed us to improve the accuracy of total knee arthroplasty.

Keywords: arthroplasty; knee joint; gonarthrosis; 3D modeling; prototyping; 3D printing; reference angles; cutting template; individual cutting block.

To cite this article:

Filippova AV, Khurtsilava OG, Ptashnikov DA. Experience of use of the individual cutting block «5 in 1» using total knee arthroplasty. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2023;30(2):199–208. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto321627>

Received: 24.03.2023

Accepted: 29.05.2023

Published: 24.07.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Эндопротезирование коленного сустава — наиболее прогрессивно развивающееся направление в современном ортопедическом мире. С развитием визуализирующих технологий появилось отдельное направление — компьютерная ортопедическая хирургия (англ. computer-assisted orthopaedic surgery, CAOS). CAOS — это инженерное решение, направленное на повышение точности предоперационного планирования и выполнения мануальных техник. По сути, CAOS напоминает навигацию, так как имеет схожий функционал, а именно предоставляет информацию пространственного положения хирургических инструментов или компонентов эндопротеза относительно кости. Основной целью CAOS является повышение точности позиционирования хирургических инструментов и выполнение мануальных навыков [1–12]. Условно CAOS можно разделить на три группы:

- 1-я группа — использование индивидуальных резекционных блоков, шаблонов, направителей по данным компьютерной/магнитно-резонансной томографии (КТ/МРТ);
- 2-я группа — «роботизированная рука», при помощи которой в сочетании с высокоскоростной фрезой выполняется точная остеотомия с учётом предварительного предоперационного виртуального планирования по данным КТ. На сегодняшний день данная технология используется в основном для одномыщелкового эндопротезирования коленного сустава и тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, однако в литературе встречаются результаты клинической апробации тотального эндопротезирования коленного сустава [13, 14]. Несмотря на предварительные обнадеживающие результаты, самой главной проблемой остаётся высокая стоимость данного оборудования;
- 3-я группа — автоматическое роботическое выполнение остеотомии без участия оперирующего хирурга. Полностью автономная система основана на предоперационном 3D-моделировании. Однако данная автономная система, по предварительным данным, зарекомендовала себя с неблагоприятной стороны и больше не используется [15].

Наиболее актуальной и технически оправданной методикой CAOS остаётся 1-я группа — использование индивидуальных резекционных блоков, шаблонов или направителей [1, 16–18].

Однако применение существующих на сегодняшний день индивидуальных резекционных блоков по сравнению с традиционными методиками для эндопротезирования коленного сустава, согласно недавно опубликованным данным, имеет противоречивые результаты. В частности, не отмечалось снижения операционного времени, частоты переливания крови или продолжительности пребывания в стационаре [19–21].

Существующие в настоящее время индивидуальные резекционные блоки для эндопротезирования коленного сустава условно можно разделить на три класса (табл. 1).

Представленные в литературе варианты индивидуальных резекционных блоков сокращают этапы оперативного лечения, однако всё равно отмечается возвращение к стандартным резекционным блокам.

Целью исследования является усовершенствование способа предоперационного планирования и выполнения эндопротезирования коленного сустава с использованием методики индивидуального 3D-моделирования и прототипирования индивидуальных резекционных блоков, основанного на совмещении данных КТ и МРТ.

МЕТОДОЛОГИЯ

Исследование проводилось на компьютерном томографе Toshiba Aquilion 64 и магнитно-резонансном томографе Magnetom Avanto 1.5T Tim I-Class по специально разработанным протоколам. Используя комплекс адаптированного нами 3D-программного обеспечения, выполнялось индивидуальное 3D-моделирование [22] и прототипирование анатомических моделей коленного сустава на 3D-принтере Picaso 250 Pro, а также прототипирование индивидуальных резекционных блоков на 3D-принтере Objet Eden 260.

В работе представлен новый индивидуальный резекционный блок (Патент № 2789960 «Индивидуальный резекционный блок для выполнения опилов бедренной кости при эндопротезировании коленного сустава/ А.В. Филиппова от 28.08.2019»). Также представлен новый направитель лезвия пилы (Патент РФ № 191192

Таблица 1. Индивидуальные резекционные блоки для эндопротезирования коленного сустава: условное разделение на классы

Table 1. Individual resection blocks for knee arthroplasty: approximate categorizing

I класс	II класс	III класс
Индивидуальные резекционные блоки для установки ориентирующих пинов. <i>Примеры:</i> Signature-Vanguard (Biomet), PSI (Zimmer) и др.	Индивидуальные резекционные блоки для установки ориентирующих пинов и выполнения дистального опилов. <i>Примеры:</i> Trumatch (DePuy), PSI Knee (Zimmer), Visionaire (Smith & Nephew), Prophecy (Wright Medical), OTIS Knee (OtiMed Corporation)	Индивидуальные резекционные блоки для установки ориентирующих пинов и выполнения дистального, переднего и заднего опилов. <i>Пример:</i> My Knee (Medacta)

«Направитель лезвия пилы для выполнения остеотомии трубчатых костей/ А.В. Филиппова, А.А. Карбушев от 29.07.2019»).

КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Больная Т., 72 года. Диагноз: деформирующий гонартроз левого коленного сустава 3-й степени с многоплоскостной деформацией и нарушением биологической оси конечности. Жалобы на выраженные боли в области левого коленного сустава, усиливающиеся во время ходьбы, ограничение движений в суставе, нарушение качества жизни. Клиническая картина: походка изменена. Контур левого коленного сустава сглажен, биологическая деформация оси конечности. Пальпация болезненна в проекции суставных щелей. Движения из-за боли выражено ограничены, сгибание 74°, разгибание 165°.

При анализе КТ и МРТ выявлены следующие особенности:

- смещение большеберцовой кости кпереди;
- суставная щель значительно сужена, преимущественно в медиальном отделе;
- медиальный и латеральный бугорки межмыщелкового возвышения деформированы, с краевыми костными разрастаниями;
- в периферических отделах суставных поверхностей большеберцовой кости определяются грубые краевые разрастания;
- в структуре дистального метадиафиза бедренной кости выявляется участок неравномерного остеосклероза (обызвествление инфаркта костного мозга) (рис. 1);
- надколенник и передняя поверхность дистального эпифиза бедренной кости с грубыми краевыми разрастаниями;
- сужение суставной щели пателлофemorального сустава.

Расчёт основных референтных углов (MTA, mMPTA, mL DFA, ATA, PPTA, PDFA) производится на трёхмерной модели нижней конечности (табл. 2) [22] с последующим выполнением 3D-моделирования эндопротезирования коленного сустава. На основе полученных виртуальных расчётов проектируются и с помощью прототипирования

создаются индивидуальные резекционные блоки для мыщелков бедренной и большеберцовой костей.

В предоперационном периоде на прототипированной анатомической модели коленного сустава данного больного обязательно проводится отработка мануальных навыков с использованием индивидуальных резекционных блоков с последующим сопоставлением и проверкой полученных расчётов.

Затем индивидуальные резекционные блоки обрабатываются и подготавливаются к использованию во время выполнения хирургического лечения.

Во время выполнения хирургического лечения, после поднадкостничного выделения мыщелков бедренной и большеберцовой костей, устанавливается первый индивидуальный резекционный блок. Внутренняя поверхность индивидуального резекционного блока полностью повторяет костно-хрящевые анатомические особенности больного, что исключает смещение и погрешности при его фиксации к мыщелку бедренной кости. После фиксации пирами индивидуального резекционного блока в первую прорезь устанавливается запатентованный инструмент — направитель лезвия пилы — и выполняется первый дистальный опил (рис. 2).

Затем первый индивидуальный резекционный блок с фиксирующими пирами удаляется, и на мыщелки большеберцовой кости устанавливается второй индивидуальный резекционный блок (рис. 3). В данном случае, чтобы сохранить минимальную конфигурацию индивидуального резекционного блока и исключить расширение границ оперативного доступа, предусмотрены только отверстия для четырёх ориентирующих пинов. Однако при более благоприятных условиях в конфигурацию второго индивидуального резекционного блока возможно добавление прорези для выполнения опилов мыщелков большеберцовой кости.

После установки ориентирующих пинов индивидуальный резекционный блок и два верхних пина удаляются. На оставшиеся пины устанавливается стандартный резекционный блок, и выполняется опил мыщелков большеберцовой кости. Верхние отверстия, проведённые ранее, служат ориентиром положения, ротации и размера большеберцового компонента. Затем проверяется ось, оценивается размер образованной щели между дистальными опилами бедренной и большеберцовой костей, баланс

Таблица 2. Определение основных референтных углов на трёхмерных моделях бедренной и большеберцовой костей

Table 2. Identifying the main reference angles on three-dimensional models of the femur and tibia

Референтные углы	Показатели, °
Механический тибеофemorальный угол MTA	8,8
Механический медиальный проксимальный большеберцовый угол mMPTA	93,3
Механический латеральный дистальный бедренный угол mL DFA	88
Анатомический феморотибиальный угол ATA	10,4
Угол наклона большеберцовой кости в сагиттальной плоскости PPTA	57,7
Угол дистального опилов бедренной кости в сагиттальной плоскости PDFA	92,5

связочного аппарата и размер будущего вкладыша (рис. 4).

После подтверждения отсутствия необходимости изменения уровня опилов на дистальный опил большеберцовой кости через заранее размеченные отверстия устанавливается предыдущий первый индивидуальный резекционный блок. Благодаря уникальной конфигурации индивидуально-го резекционного блока проблем с повторной установкой,

смещением не наблюдалось, более того, данный дизайн позволил комфортно обозреть и контролировать процесс установки. Затем инструмент — направитель лезвия пилы — устанавливается во вторую прорезь и лезвием осцилляторной пилы выполняется передний опил (рис. 5).

Аналогичным образом, переместив инструмент — направитель лезвия пилы — в следующую прорезь, выполняется задний опил (рис. 6).

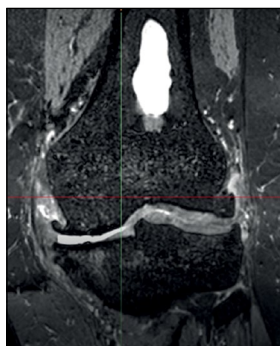


Рис. 1. Данные магнитно-резонансной томографии больной Т.
Fig. 1. Magnetic Resonance Imaging data of patient T.

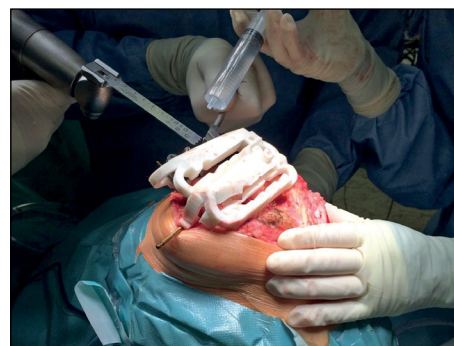


Рис. 2. Выполнение дистального опилов мыщелков бедренной кости.
Fig. 2. Performing a distal cut of the femoral condyles.



Рис. 3. Установка второго индивидуального резекционного блока на мыщелки большеберцовой кости.
Fig. 3. Fixing the second individual resection block on the tibial condyles.

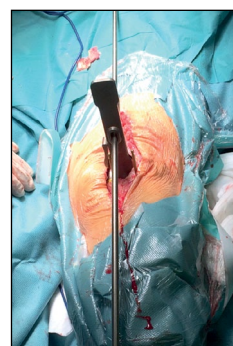


Рис. 4. Проверка оси, оценка баланса связочного аппарата и размера будущего вкладыша.
Fig. 4. Checking the axis, estimating the balance of the ligamentous apparatus and the size of the future liner.

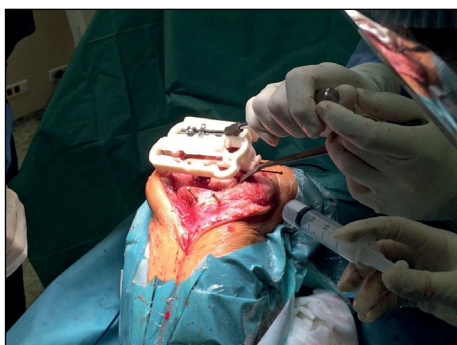


Рис. 5. Установка инструмента — направителя лезвия пилы — в прорезь индивидуального резекционного блока для выполнения переднего опилов мыщелка бедренной кости.
Fig. 5. Inserting the instrument — the guide of the saw blade — into the slot of the individual resection block to perform the anterior cut of the femoral condyle.

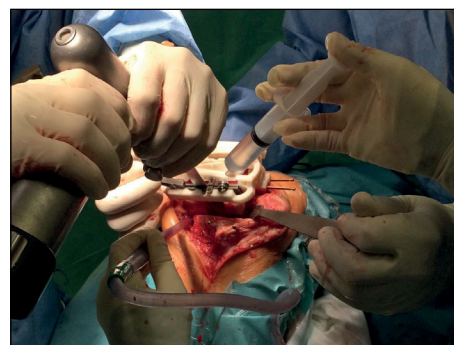


Рис. 6. Выполнение заднего опилов мыщелка бедренной кости.
Fig. 6. Performing a posterior cut of the femoral condyle.

Затем, последовательно перемещая инструмент — направлятель лезвия пилы, выполняют косые опиловы (рис. 7).

После чего индивидуальный резекционный блок с фиксирующими пирами удаляется (рис. 8).

При необходимости проверки выполненных опилов на бедренной кости в отверстия, выполненные ранее через первый индивидуальный резекционный блок, можно установить классический резекционный блок и проверить себя (рис. 9). Дизайн запатентованного индивидуального блока сформирован таким образом, что при наличии сомнений или для проверки выполняемых действий себя можно всегда проверить традиционным способом, через стандартные резекционные блоки или навигационную установку. В любой последовательности, в тот момент, когда индивидуальный резекционный блок установлен или, например, уже удалён. Для этого в индивидуальном резекционном блоке предусмотрены дополнительные ориентирующие отверстия.

Последующие этапы, подготавливающие уже непосредственно к установке компонентов эндопротеза коленного сустава, выполняются штатно, в том числе с последующей оценкой балансировки сгибательного и разгибательного промежутков, проверкой запланированных ранее размеров на примерочных компонентах эндопротеза. Затем выполняется уже финальная установка

компонентов эндопротеза коленного сустава. В данном случае размеры полностью совпали с предоперационным планом (бедренный компонент Zimmer, размер D, плато большеберцовой кости № 3) (рис. 10). Рана послойно ушита, выполнены контрольные рентгеновские снимки в прямой и боковой проекциях (рис. 11, 12).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки полученных результатов в конце оперативного лечения больной выполнено 3D-сканирование опиленных костно-хрящевых фрагментов мыщелков бедренной и большеберцовой кости (рис. 13). Такой способ выбран для получения наиболее быстрого значимого результата оценки качества индивидуальных резекционных блоков и результата оперативного лечения в целом, а также исключения лучевой нагрузки для больного.

Полученная виртуальная модель удалённых костно-хрящевых фрагментов мыщелков коленного сустава сопоставляется с ожидаемым результатом предоперационного планирования методом автоматизированного виртуального сопоставления (рис. 14).

Итоговые данные сравнения ожидаемых и полученных результатов представлены в табл. 3, 4.

Аналогично выполнен сравнительный анализ расчётов ожидаемых результатов опилов мыщелков бедренной,



Рис. 7. Выполнение косых опилов мыщелка бедренной кости.
Fig. 7. Performing oblique cuts of the femoral condyle.

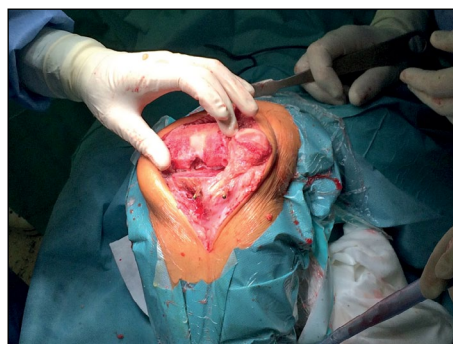


Рис. 8. Коленный сустав после выполнения всех опилов.
Fig. 8. Knee joint after all cuts.

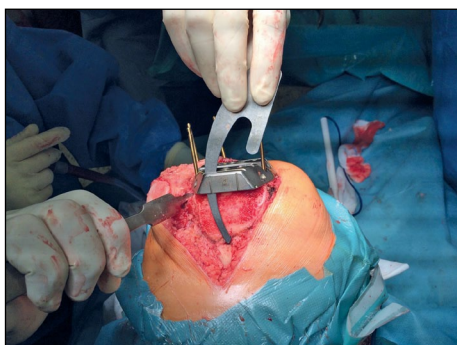


Рис. 9. Проверка качества выполненных опилов мыщелков бедренной кости.
Fig. 9. Checking the quality of the performed femoral condyles.



Рис. 10. Установленные компоненты эндопротеза коленного сустава.
Fig. 10. Installed components of the knee endoprosthesis.

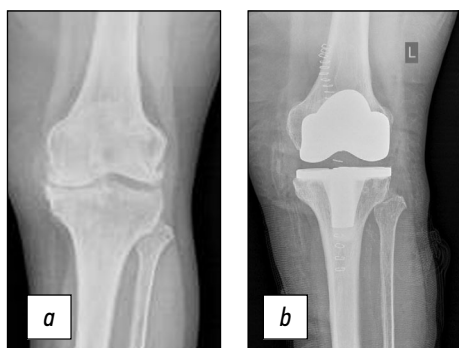


Рис. 11. Рентгенограммы больной Т. в прямой проекции: *a* — до оперативного лечения, *b* — после оперативного лечения.

Fig. 11. Radiographs of patient T. in frontal projection: *a* — before surgical treatment, *b* — after surgical treatment.

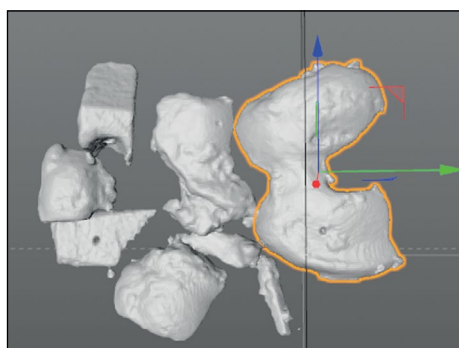


Рис. 13. Виртуальные модели удалённых костно-хрящевых фрагментов мыщелков коленного сустава после оперативного лечения.

Fig. 13. Virtual models of the removed bone and cartilage fragments of the condyles of the knee joint after surgical treatment.

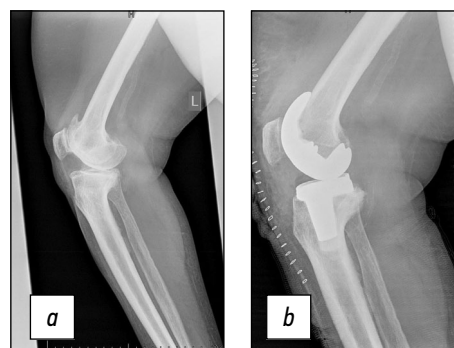


Рис. 12. Рентгенограммы больной Т. в боковой проекции: *a* — до оперативного лечения, *b* — после оперативного лечения.

Fig. 12. Radiographs of patient T. in lateral projection: *a* — before surgical treatment, *b* — after surgical treatment.

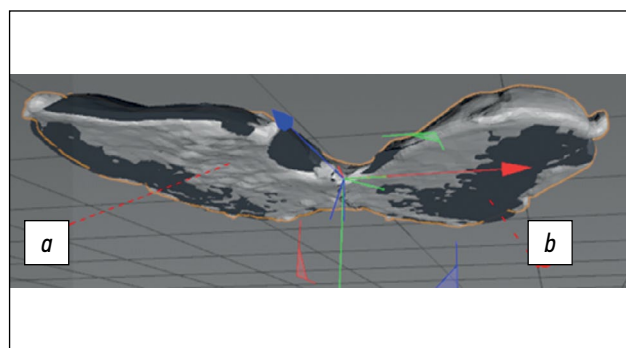


Рис. 14. Сопоставление полученных и ожидаемых результатов на примере дистального опилов бедренной кости: *a* — результат сканирования после оперативного лечения; *b* — ожидаемый результат виртуального предоперационного планирования.

Fig. 14. Comparison of the actual versus expected results using the distal femoral cut: *a* — postoperative CT scan; *b* — the expected result of virtual preoperative planning.

Таблица 3. Сравнение ожидаемых результатов опилов мыщелков бедренной кости и результатов сканирования опилов после оперативного лечения, мм

Table 3. Comparison of the expected results of femoral condyle cuts versus the CT scans of the cuts after surgical treatment, mm

Результат	Дистальный опил	Передний опил	Задний опил		Первый косой опил		Второй косой опил	
			Латеральный мышцелок	Медиальный мышцелок	Латеральный мышцелок	Медиальный мышцелок	Латеральный мышцелок	Медиальный мышцелок
Ожидаемый	9,73	12,3	8	16,48	12,1	12,3	7,7	13,3
После оперативного лечения	10	12,7	7,7	16	11,9	12	7,3	12,97

Таблица 4. Сравнение ожидаемых результатов опилов мыщелков большеберцовой кости и результатов сканирования опилов после оперативного лечения, мм

Table 4. Comparison of the expected results of the tibial condyle cuts versus the CT scans of the cuts after surgical treatment, mm

Результат	Опил мыщелков большеберцовой кости (от латерального мыщелка)
Ожидаемый	10,26
После оперативного лечения	10

большеберцовой костей и результатов сканирования опилов после оперативного лечения (30 коленных суставов). Средняя разница в измерении составила 4 ± 2 мм ($p < 0,05$).

Данный сравнительный виртуальный анализ и саму методику сканирования опилов можно предложить в качестве альтернативы методике КТ после оперативного лечения, так как помимо временного фактора, а также лучевой нагрузки для больного после оперативного лечения на результаты КТ влияют шумы и артефакты от компонентов эндопротеза коленного сустава, что может оказать существенное воздействие на достоверность результатов при сравнительном анализе до и после оперативного лечения и сопоставления данных.

ВЫВОДЫ

Представленные авторские индивидуальные резекционные блоки существенно отличаются от существующих аналогов, а именно:

- нет необходимости в использовании стандартного инструментария для размещения стандартных резекционных блоков;
- нет необходимости в использовании стандартных резекционных блоков для выполнения всех 5 опилов мыщелков бедренной кости;
- нет необходимости во вскрытии костномозгового канала, что было особенно наглядно в данном клиническом примере;
- помимо сокращения этапов хирургического лечения снижается нагрузка на персонал в процедурах сборки и стерилизации второстепенного инструментария, то есть нет необходимости в использовании полного набора;
- ну и, конечно, сокращается время пребывания больного в операционной.

Ещё одной особенностью представленных индивидуальных резекционных блоков является то, что учитываются не только костные, но и хрящевые структуры. То есть в отличие от аналогов нет необходимости в дополнительном доступе и подготовке стыковочной поверхности. Существующие аналоги зачастую коагулятором очищают поверхность мыщелка, что связано с риском повреждения ориентирующей, стыковочной с индивидуальным резекционным блоком поверхности. В конечном итоге это может привести к смещению или недостоверной посадке индивидуального резекционного блока и, как следствие, к погрешностям выполняемых опилов и недостоверной установке компонентов эндопротеза. Поэтому выбранная стратегия КТ+МРТ, на наш взгляд, является оптимальным решением не только для грамотного предоперационного планирования этапов эндопротезирования коленного сустава, но и для проектирования индивидуальных резекционных блоков.

Ещё одним немаловажным фактором представленных индивидуальных резекционных блоков является возможность на любом этапе проверить себя или при сложных многоплоскостных деформациях изменить, например, уровень дистального опилов. То есть всегда существует план Б. В разработанных индивидуальных резекционных блоках есть страховочные дополнительные отверстия, которые при наличии сомнений позволяют проверить себя с помощью навигационной системы или стандартного, привычного инструментария, что в любом случае исключает вероятность ошибки.

Разработанная конфигурация индивидуальных резекционных блоков позволяет работать в условиях узкого операционного поля, тем самым обеспечивая малоинвазивность, что снижает риск травматичности проведения операции.

Наша комбинация «индивидуальный резекционный блок+инструмент — ограничитель лезвия пилы» позволяет сохранить чистоту раны, исключая попадание инородных тел, а также деформацию материала индивидуального резекционного блока во время колебания осцилляторной пилы.

Всё вышесказанное, несомненно, помогает достичь нашей самой главной цели — повышения точности предоперационного планирования и выполнения эндопротезирования коленного сустава.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Не указан.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациента на публикацию медицинских данных. Дата подписания согласия — 07.09.2017.

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Funding source. Not specified.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient on 07.09.2017 for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Docquier P.L., Paul L., TranDuy K. Surgical navigation in paediatric orthopaedics // *EFORT Open Rev.* 2017. Vol. 1, № 5. P. 152–159. doi: 10.1302/2058-5241.1.000009
2. Sugano N. Computer-assisted orthopedic surgery // *J Orthop Sci.* 2003. Vol. 8, № 3. P. 442–8. doi: 10.1007/s10776-002-0623-6
3. Kubicek J., Tomanec F., Cerny M., Vilimek D., Kalova M., Oczka D. Recent Trends, Technical Concepts and Components of Computer-Assisted Orthopedic Surgery Systems: A Comprehensive Review // *Sensors (Basel)*. 2019. Vol. 19, № 23. P. 5199. doi: 10.3390/s19235199
4. Wang Z., Jiang M., Gu H. Understanding and analysis of CAOS development in context: the case of China // *Int J Med Robot.* 2008. Vol. 4, № 3. P. 252–7. doi: 10.1002/rcs.204
5. DiGioia A.M. 3rd, Nolte L.P. The challenges for CAOS: what is the role of CAOS in orthopaedics? // *Comput Aided Surg.* 2002. Vol. 7, № 3. P. 127–8. doi: 10.1002/igs.10043
6. Nolte L.P., Beutler T. Basic principles of CAOS // *Injury.* 2004. Vol. 35, № 1. P. 16. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.005
7. Langlotz F. Potential pitfalls of computer aided orthopedic surgery // *Injury.* 2004. Vol. 35, № 1. P. 23. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.006
8. Schmucki D., Gebhard F., Grützner P.A., Hüfner T., Langlotz F., Zheng G. Computer aided reduction and imaging // *Injury.* 2004. Vol. 35, № 1. P. 104. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.017
9. Gebhard F., Krettek C., Hüfner T. Computer aided orthopedic surgery (CAOS) — a rapidly evolving technology // *Injury.* 2004. Vol. 35, № 1. P. S–A1. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.003
10. Zheng G., Nolte L.P. Computer-Aided Orthopaedic Surgery: State-of-the-Art and Future Perspectives // *Adv Exp Med Biol.* 2018. № 1093. P. 1–20. doi: 10.1007/978-981-13-1396-7_1
11. Jenny J.Y. The history and development of computer assisted orthopaedic surgery // *Orthopade.* 2006. Vol. 35, № 10. P. 1038–42. doi: 10.1007/s00132-006-0994-y
12. Hampp E.L., Sodhi N., Scholl L., et al. Less iatrogenic soft-tissue damage utilizing robotic-assisted total knee arthroplasty when compared with a manual approach: A blinded assessment // *Bone Joint Res.* 2019. Vol. 8, № 10. P. 495–501. doi: 10.1302/2046-3758.810.BJR-2019-0129.R1
13. Hepinstall M.S., Sodhi N., Ehiorobo J.O., Hushmendi S., Mont M.A. Robotic-arm assisted total hip arthroplasty // *Ann Transl Med.* 2018. Vol. 6, № 22. P. 433. doi: 10.21037/atm.2018.10.37
14. Sultan A.A., Piuze N., Khlopas A., Chughtai M., Sodhi N., Mont M.A. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection // *Expert Rev Med Devices.* 2017. Vol. 14, № 12. P. 925–927. doi: 10.1080/17434440.2017.1392237
15. Куляба Т.А. Первичное тотальное эндопротезирование коленного сустава. Киев: Основа, 2019. 166–170 с.
16. Mattei L., Pellegrino P., Calò M., Bistolfi A., Castoldi F. Patient specific instrumentation in total knee arthroplasty: a state of the art // *Ann Transl Med.* 2016. Vol. 4, № 7. P. 126. doi: 10.21037/atm.2016.03.33
17. Birnbaum K., Schkommodau E., Decker N., Prescher A., Klapper U., Radermacher K. Computer-assisted orthopedic surgery with individual templates and comparison to conventional operation method // *Spine.* 2001. Vol. 26, № 4. P. 365–70. doi: 10.1097/00007632-200102150-00012
18. Radermacher K., Portheine F., Anton M., Zimolong A., Kaspers G., Rau G., Staudte H.W. Computer assisted orthopaedic surgery with image based individual templates // *Clin Orthop Relat Res.* 1998. № 354. P. 28–38. doi: 10.1097/00003086-199809000-00005
19. Wautier D., Thienpont E. Changes in anteroposterior stability and proprioception after different types of knee arthroplasty // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017. Vol. 25, № 6. P. 1792–1800. doi: 10.1007/s00167-016-4038-9
20. Harold R.E., Macleod J., Butler B.A., et al. Single-Use Custom Instrumentation in Total Knee Arthroplasty: Effect on In-Hospital Complications, Length of Stay, and Discharge Disposition // *Orthopedics.* 2019. Vol. 42, № 5. P. 299–303. doi: 10.3928/01477447-20190403-03
21. Voleti P.B., Hamula M.J., Baldwin K.D., Lee G.C. Current data do not support routine use of patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty // *J Arthroplasty.* 2014. Vol. 29, № 9. P. 1709–12. doi: 10.1016/j.arth.2014.01.039
22. Филиппова А.В., Хурцилава О.Г., Пташников Д.А. Виртуальный протокол в предоперационном планировании тотального эндопротезирования коленного сустава // *Современные проблемы науки и образования.* 2023. № 3. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32658>. doi: 10.17513/spno.32658

REFERENCES

1. Docquier PL, Paul L, TranDuy K. Surgical navigation in paediatric orthopaedics. *EFORT Open Rev.* 2017;1(5):152–159. doi: 10.1302/2058-5241.1.000009
2. Sugano N. Computer-assisted orthopedic surgery. *J Orthop Sci.* 2003;8(3):442–8. doi: 10.1007/s10776-002-0623-6
3. Kubicek J, Tomanec F, Cerny M, Vilimek D, Kalova M, Oczka D. Recent Trends, Technical Concepts and Components of Computer-Assisted Orthopedic Surgery Systems: A Comprehensive Review. *Sensors (Basel)*. 2019;19(23):5199. doi: 10.3390/s19235199
4. Wang Z, Jiang M, Gu H. Understanding and analysis of CAOS development in context: the case of China. *Int J Med Robot.* 2008;4(3):252–7. doi: 10.1002/rcs.204
5. DiGioia AM 3rd, Nolte LP. The challenges for CAOS: what is the role of CAOS in orthopaedics? *Comput Aided Surg.* 2002;7(3):127–8. doi: 10.1002/igs.10043
6. Nolte LP, Beutler T. Basic principles of CAOS. *Injury.* 2004;35(1):16. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.005
7. Langlotz F. Potential pitfalls of computer aided orthopedic surgery. *Injury.* 2004;35(1):23. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.006
8. Schmucki D, Gebhard F, Grützner PA, Hüfner T, Langlotz F, Zheng G. Computer aided reduction and imaging. *Injury.* 2004;35(1):104. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.017
9. Gebhard F, Krettek C, Hüfner T. Computer aided orthopedic surgery (CAOS) — a rapidly evolving technology. *Injury.* 2004;35(1):S–A1. doi: 10.1016/j.injury.2004.05.003
10. Zheng G, Nolte LP. Computer-Aided Orthopaedic Surgery: State-of-the-Art and Future Perspectives. *Adv Exp Med Biol.* 2018;(1093):1–20. doi: 10.1007/978-981-13-1396-7_1
11. Jenny JY. The history and development of computer assisted orthopaedic surgery. *Orthopade.* 2006;35(10):1038–42. doi: 10.1007/s00132-006-0994-y

12. Hampp EL, Sodhi N, Scholl L, et al. Less iatrogenic soft-tissue damage utilizing robotic-assisted total knee arthroplasty when compared with a manual approach: A blinded assessment. *Bone Joint Res.* 2019;8(10):495–501. doi: 10.1302/2046-3758.810.BJR-2019-0129.R1
13. Hepinstall MS, Sodhi N, Ehiorobo JO, Hushmendi S, Mont MA. Robotic-arm assisted total hip arthroplasty. *Ann Transl Med.* 2018;6(22):433. doi: 10.21037/atm.2018.10.37
14. Sultan AA, Piuze N, Khlopas A, Chughtai M, Sodhi N, Mont MA. Utilization of robotic-arm assisted total knee arthroplasty for soft tissue protection. *Expert Rev Med Devices.* 2017;14(12):925–927. doi: 10.1080/17434440.2017.1392237
15. Kulyaba TA. Pervichnoye total'noye endoprotezirovaniye kolenogo sustava [Primary total knee arthroplasty]. Kiev: Osnova; 2019. 166–170 p. (in Russ).
16. Mattei L, Pellegrino P, Calò M, Bistolfi A, Castoldi F. Patient specific instrumentation in total knee arthroplasty: a state of the art. *Ann Transl Med.* 2016;4(7):126. doi: 10.21037/atm.2016.03.33
17. Birnbaum K, Schkommodau E, Decker N, Prescher A, Klapper U, Radermacher K. Computer-assisted orthopedic surgery with individual templates and comparison to conventional operation method. *Spine.* 2001;26(4):365–70. doi: 10.1097/00007632-200102150-00012
18. Radermacher K, Portheine F, Anton M, Zimolong A, Kaspers G, Rau G, Staudte HW. Computer assisted orthopaedic surgery with image based individual templates. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(354):28–38. doi: 10.1097/00003086-199809000-00005
19. Wautier D, Thienpont E. Changes in anteroposterior stability and proprioception after different types of knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(6):1792–1800. doi: 10.1007/s00167-016-4038-9
20. Harold RE, Macleod J, Butler BA, et al. Single-Use Custom Instrumentation in Total Knee Arthroplasty: Effect on In-Hospital Complications, Length of Stay, and Discharge Disposition. *Orthopedics.* 2019;42(5):299–303. doi: 10.3928/01477447-20190403-03
21. Voleti PB, Hamula MJ, Baldwin KD, Lee GC. Current data do not support routine use of patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2014;29(9):1709–12. doi: 10.1016/j.arth.2014.01.039
22. Filippova AV, Khurtsilava OG, Ptashnikov DA. Virtual protocol in preoperative planning of total knee arthroplasty. *Modern problems of science and education. Surgery.* 2023;(3). Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=32658>. (in Russ). doi: 10.17513/spno.32658

ОБ АВТОРАХ

* **Филиппова Анастасия Викторовна**, помощник президента университета, врач травматолог-ортопед; специалист по 3D технологиям; адрес: Россия, 191015, Санкт-Петербург, ул. Кирочная, д. 41; ORCID: 0000-0001-9417-9563; eLibrary SPIN: 7419-3814; e-mail: dr.anastasia3d@gmail.com

Хурцилава Отари Гивиевич, д.м.н., профессор, президент университета; ORCID: 0000-0002-7199-671X; e-mail: rectorat@szgmu.ru

Пташников Дмитрий Александрович, д.м.н., профессор; заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и ВПХ; ORCID: 0000-0001-5765-3158; eLibrary SPIN: 7678-6542; e-mail: drptashnikov@yandex.ru

AUTHORS' INFO

* **Anastasia V. Filippova**, assistant to the president of the university; traumatologist-orthopedist; specialist in 3D technologies; address: 41 Kirochnaya str., 191015, St. Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-9417-9563; eLibrary SPIN: 7419-3814; e-mail: dr.anastasia3d@gmail.com

Otari G. Khurtsilava, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, the president of the university; ORCID: 0000-0002-7199-671X; e-mail: rectorat@szgmu.ru

Dmitrii A. Ptashnikov, MD, Dr. Sci. (Med.), professor; head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Surgery; ORCID: 0000-0001-5765-3158; eLibrary SPIN: 7678-6542; e-mail: drptashnikov@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author