



УДК 617-7
DOI: 10.35693/2500-1388-2022-7-4-275-280



Новый способ дистального блокирования интрамедуллярных имплантатов

© Д.И. Варфоломеев

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко»
Минздрава России (Воронеж, Россия)

Аннотация

Цель – оценить возможности разработанного способа и устройства для дистального блокирования интрамедуллярных имплантатов.

Материал и методы. Проведено экспериментальное исследование на моделях большеберцовых костей на базе кафедры травматологии и ортопедии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко. В основной группе (10 моделей) блокирование осуществляли с использованием разработанного способа, в контрольной (10 моделей) – с применением метода «свободной руки». Оценивали следующие параметры: продолжительность блокирования, продолжительность рентгеновского излучения, количество попыток блокирования.

Результаты. В основной группе продолжительность выполнения дистального блокирования была значительно меньше, чем в контрольной (Т-критерий = -36,0; $p < 0,05$). Продолжительность рентгеновского излучения в основной группе также была меньше, чем в контрольной (Т-критерий = -30,2, $p < 0,05$). Количество попыток блокирования в контрольной группе было выше, чем в основной (U-критерий = 20, $p = 0,02$). В основной группе все винты были введены с первого раза. В контрольной группе отмечалось просверливание отверстий мимо отверстий штифта.

Заключение. Разработанный способ и устройство для его реализации являются универсальными. Они могут быть использованы с большин-

ством интрамедуллярных штифтов и ревизионных бедренных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава, как канюлированных, так и неканюлированных.

Ключевые слова: интрамедуллярные имплантаты, дистальное блокирование, остеосинтез.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Варфоломеев Д.И. Новый способ дистального блокирования интрамедуллярных имплантатов. *Наука и инновации в медицине*. 2022;7(4):275-280. doi: 10.35693/2500-1388-2022-7-4-275-280

Сведения об авторе

Варфоломеев Д.И. – канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед, слушатель кафедры травматологии и ортопедии.

ORCID: 0000-0002-2133-6510

E-mail: d.i.burdenko@yandex.ru

Автор для переписки

Варфоломеев Денис Игоревич

Адрес: Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, ул. Студенческая, 10, г. Воронеж, Россия, 394036.

E-mail: d.i.burdenko@yandex.ru

ЭОП – электронно-оптический преобразователь.

Рукопись получена: 12.09.2022

Рецензия получена: 09.10.2022

Решение о публикации принято: 24.10.2022

A new method of distal blocking of intramedullary implants

© Denis I. Varfolomeev

Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko (Voronezh, Russia)

Abstract

Aim – to assess the capabilities of the developed method and device for distal blocking of intramedullary implants.

Material and methods. An experimental study on the tibia models was performed in the settings of the Department of Traumatology and orthopedics of the Voronezh State Medical University. The main group included 10 models on which the blocking was done using the developed method. In the control group (10 models) the "free hand" method was used. The study evaluated the following parameters: the duration of blocking, the time of X-ray exposure, the number of blocking attempts.

Results. In the main group, the duration of distal blocking procedure was significantly shorter than in the control group (T-criterion = -36.0; $p < 0.05$). The time of X-ray exposure in the main group was also less than in the control group (T-test = -30.2, $p < 0.05$). The number of blocking attempts in the control group was higher than in the main group (U-criterion = 20, $p = 0.02$). In the main group, all screws were inserted at the first attempt. In the control group, drilling holes past the pin holes was noted.

Conclusion. The developed method and the device for its implementation are universal. They can be used with most intramedullary pins and revision

femoral components of a hip endoprosthesis, both cannulated and non-cannulated.

Keywords: intramedullary implants, distal block, osteosynthesis.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Varfolomeev DI. A new method of distal blocking of intramedullary implants. *Science and Innovations in Medicine*. 2022;7(4):275-280. doi: 10.35693/2500-1388-2022-7-4-275-280

Information about author

Denis I. Varfolomeev – PhD, orthopedic traumatologist, postgraduate student of the Department of Traumatology and orthopedics.

ORCID: 0000-0002-2133-6510

E-mail: d.i.burdenko@yandex.ru

Corresponding Author

Denis I. Varfolomeev

Address: Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, 10 Studencheskaya st., Voronezh, Russia, 394036.

E-mail: d.i.burdenko@yandex.ru

Received: 12.09.2022

Revision Received: 09.10.2022

Accepted: 24.10.2022

■ ВВЕДЕНИЕ

Интрамедуллярный блокируемый остеосинтез является одним из наиболее эффективных методов лечения диафизарных переломов костей. Его преимуществами являются малоинвазивность и быстрое восстановление функции конечности. Операция включает в себя ряд этапов: осуществление доступа со вскрытием костно-мозгового канала, репозиция отломков, введение штифта и его блокирование в проксимальном и дистальном отделах. При этом если проксимальное блокирование осуществляется, как правило, достаточно легко, то дистальное блокирование является одним из наиболее технически трудных видов вмешательства [1]. Это связано с тем, что при введении имплантата происходит его ротационная деформация, а также изгибание вдоль оси штифта, что не позволяет с высокой точностью применять направлятели, фиксирующиеся к самому штифту. При этом для установки винтов необходима высокая точность их позиционирования. Отклонение более 8 градусов от оси отверстия или смещение более 0,75 мм от его центра не позволяют провести винт [2].

Обычно для дистального блокирования используется техника «свободной руки», при которой просверливание отверстий для винтов осуществляется в режиме флюороскопии при помощи электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и различных направляющих устройств. Данная методика требует наличия у хирурга большого опыта и сопровождается значительной лучевой нагрузкой на пациента и медицинский персонал [3, 4]. Рентгеновское излучение на 29% увеличивает риск развития онкологических заболеваний у ортопедов, постоянно работающих с ЭОП [5]. В настоящее время разработаны электронно-оптические преобразователи, которые позволяют выводить на экран изображение в двух проекциях одновременно. Это, безусловно, повышает точность блокирования и снижает дозу облучения, однако не позволяет исключить его полностью [6].

Повышенная продолжительность операции, обусловленная длительным блокированием имплантата, приводит к увеличенной кровопотере, а также риску развития других осложнений.

Для уменьшения негативного влияния рентгеновского излучения были разработаны различные способы и устройства для выполнения дистального блокирования. Большинство из них требует рентгенологического контроля при просверливании отверстий.

В последние годы предприняты попытки уменьшить негативное влияние флюороскопии путем разработки способов блокирования без использования ЭОП. Известны компьютерные навигационные системы, позволяющие оценивать смещение штифта, лазерные и световые способы блокирования, электромагнитные компьютерные системы, роботы [7, 8]. Однако высокая стоимость, повышенная продолжительность хирургического вмешательства, техническая сложность данных технических решений не привела к их широкому распространению.

Как правило, каждый производитель имплантатов изготавливает свои собственные приспособления для выполнения блокирования, что не позволяет использовать их для работы с другими интрамедуллярными металлоконструкциями.

Отдельную проблему представляет блокирование интрамедуллярных штифтов, ревизионных бедренных компонентов эндопротезов, которые являются неканюлированными. В данном случае большинство из наиболее эффективных способов блокирования, существующих на сегодняшний день, не может быть использовано. В связи с этим, как правило, для установки винтов приходится использовать технику «свободной руки».

■ ЦЕЛЬ

Представить новый способ и устройство для дистального блокирования.

■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для упрощения выполнения этапа операции, связанного с дистальным блокированием, сокращения его продолжительности, уменьшения лучевой нагрузки на персонал и пациента был разработан «Способ дистального блокирования интрамедуллярных имплантатов» [9]. Способ является универсальным и позволяет осуществлять блокирование как канюлированных, так и неканюлированных металлоконструкций. Устройство для его реализации было изготовлено из АВС пластика с использованием технологий трехмерной печати (рисунок 1).

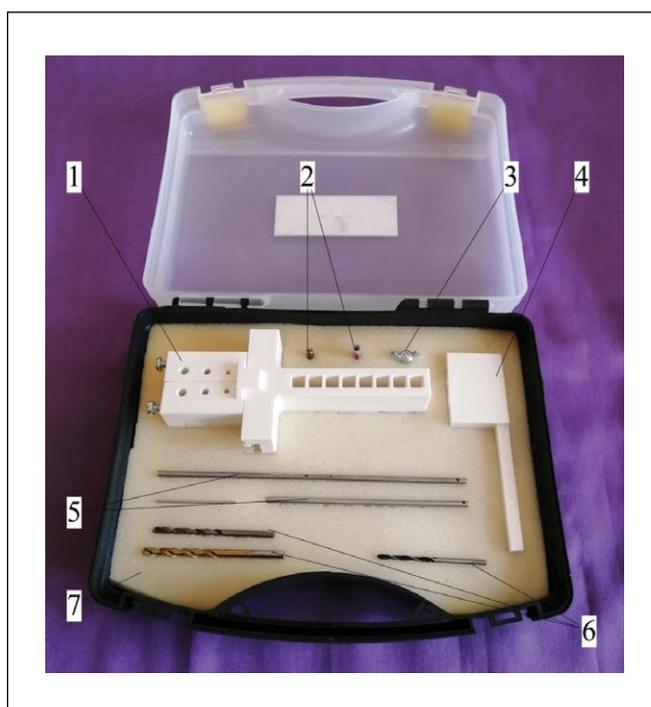


Рисунок 1. Внешний вид устройства в кейсе для переноски: 1 – блок для позиционирования сверл, 2 – фиксаторы, 3 – стопорный винт, 4 – боковой блок, 5 – направлятели, 6 – сверла, 7 – кейс.

Figure 1. A view of the device: 1 – block for positioning drills, 2 – clamps, 3 – locking screw, 4 – side block, 5 – guides, 6 – drills, 7 – case.

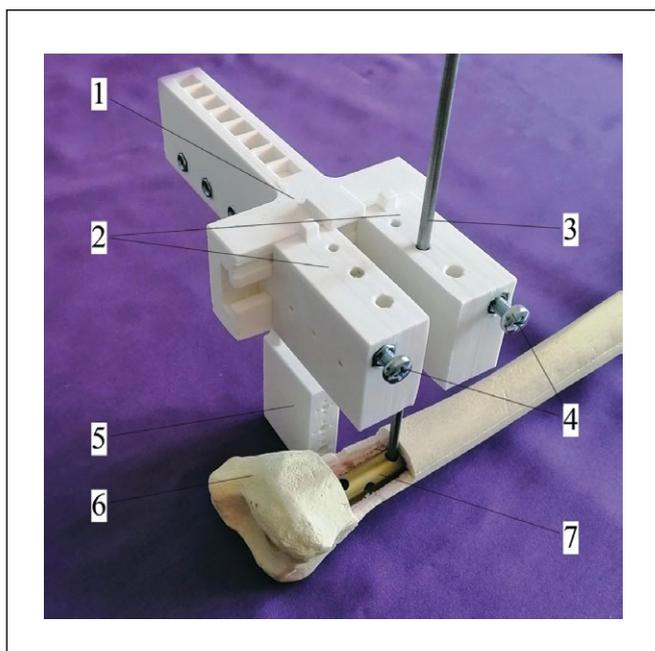


Рисунок 2. Устройство, фиксированное на направлятеле, установленном в штифте в макете большеберцовой кости (в разрезе): 1 – устройство, 2 – подвижные блоки, 3 – направлятель, 4 – стопорные винты, 5 – боковой блок, 6 – макет большеберцовой кости, 7 – штифт.

Figure 2. Device fixed on the guide installed in the pin in the model of the tibia (in section): 1 – device, 2 – movable blocks, 3 – guide, 4 – locking screws, 5 – side block, 6 – model of the tibia, 7 – pin.

В состав устройства входят несколько блоков, имеющих возможность перемещения относительно друг друга и неподвижной фиксации в необходимом положении. Блоки содержат отверстия различного диаметра (3,2; 4,2; 5,2 мм в соответствии с диаметрами отверстий, наиболее распространенными в современных металлоконструкциях). Расположение блоков и соответственно отверстий регулируется в зависимости от расположения отверстий в имплантате. Неподвижная фиксация блоков осуществляется при помощи стопорных винтов. Это позволяет использовать устройство с большинством известных современных интрамедуллярных металлоконструкций (**рисунок 2**).

Способ дистального блокирования заключается в следующем. Методом «свободной руки» в режиме флюороскопии просверливается отверстие в кортикальном слое кости в проекции проксимального отверстия штифта.

Если штифт является канюлированным, то в него вводится направляющий стержень до уровня проксимального отверстия. В просверленное в кости отверстие вводится направлятель, на конце которого имеется паз, соответствующий по форме направляющему стержню.

Если штифт является неканюлированным, то перед установкой в его проксимальное отверстие устанавливается фиксатор с продольным пазом, выполненный в виде дюбеля-винта. Его ввинчивание приводит к расширению фиксатора в поперечном направлении и заклиниванию в отверстии имплантата в необходимом положении. После того как выполнено отверстие

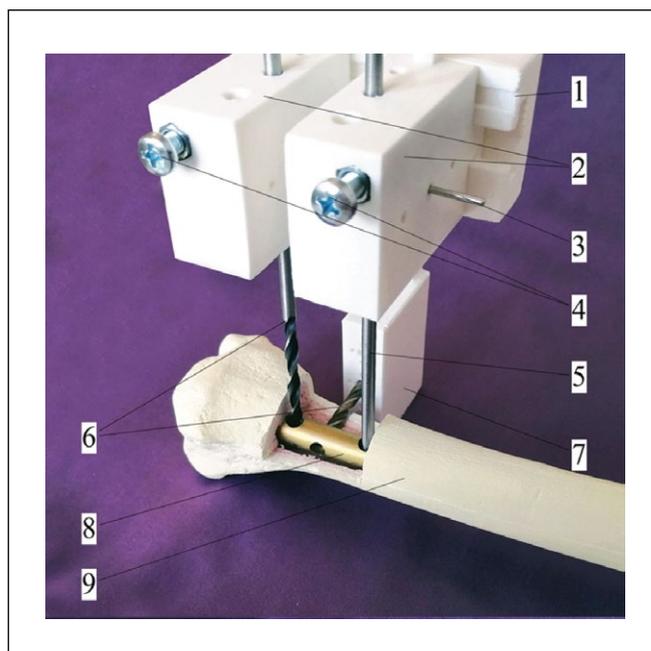


Рисунок 3. Устройство, фиксированное в штифте, установленном в макете большеберцовой кости (в разрезе): 1 – устройство, 2 – подвижные блоки, 3 – спица для блокирования подвижных блоков, 4 – стопорные винты, 5 – направлятель, 6 – сверла, 7 – боковой блок, 8 – штифт, 9 – макет большеберцовой кости.

Figure 3. Device fixed in a pin installed in the model of the tibia (in section): 1 – device, 2 – movable blocks, 3 – spoke for blocking movable blocks, 4 – locking screws, 5 – guide, 6 – drills, 7 – lateral block, 8 – pin, 9 – tibia model.

в кости в проекции проксимального отверстия штифта, в фиксатор устанавливается направлятель, на конце которого имеется наконечник, по форме соответствующий продольному пазу фиксатора. Диаметр направлятеля в обоих случаях одинаковый, что позволяет использовать устройство для блокирования как канюлированных, так и неканюлированных имплантатов.

Устройство устанавливается на направлятель и неподвижно фиксируется на нем при помощи спицы, введенной в подвижный блок и в сквозное отверстие в направлятеле (**рисунок 3**). Таким образом, направлятель располагается относительно штифта в необходимом положении, в котором положение отверстий устройства соответствует отверстиям имплантата. Далее выполняется просверливание отверстий в кости.

После выполнения отверстий сверла оставляются для фиксации устройства на штифте. Затем удаляют направлятель и просверливают проксимальное сквозное отверстие с использованием соответствующего отверстия устройства. После этого устройство снимают и в полученные отверстия вводят винты.

Если проводится блокирование неканюлированного штифта, то перед просверливанием проксимального отверстия в кости удаляют фиксатор из штифта через выполненное ранее отверстие в кости.

Апробирование разработанного способа и устройства проводили на базе кафедры травматологии и ортопедии ВГМУ им. Н.Н. Бурденко. В эксперименте были использованы модели большеберцовых костей, в которые вводили удаленные у пациентов интрамедуллярные штифты различных

производителей: Titanmed (Россия), Smith&Nephew (США), Sanatmetall (Венгрия). Исследование проводили в рамках обучения слушателей кафедры навыкам дистального блокирования.

Было сформировано 2 группы. В основной группе (10 моделей) блокирование осуществляли с использованием разработанного способа, в контрольной (10 моделей) – с применением метода «свободной руки». В исследовании оценивали следующие параметры: продолжительность блокирования, время излучения ЭОП, количество попыток блокирования. Фиксацию штифта осуществляли тремя винтами, два из которых располагались в одной плоскости и один – в перпендикулярной. В исследовании использовали ЭОП Italray (Италия). Продолжительность выполнения манипуляции и время излучения ЭОП оценивали при помощи секундомера типа СОПр-2а-3-000.

Расчет средних значений и стандартного отклонения ($M \pm m$) проводили в программе SPSS Statistics v.26. Сравнение средних величин в группах с нормальным распределением и одинаковой дисперсией осуществляли с использованием Т-критерия Стьюдента для независимых выборок. В группах с различной дисперсией был использован U-критерий Манна – Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты проведенного исследования представлены в **таблице 1**.

В основной группе продолжительность выполнения дистального блокирования была значительно меньше, чем в контрольной (Т-критерий = -36,0; $p < 0,05$). Это было связано с тем, что метод «свободной руки» в основной группе применялся при просверливании только первого отверстия. При этом остальные два отверстия выполнялись при помощи устройства, что не требовало использования ЭОП. Продолжительность выполнения первого отверстия методом «свободной руки» была больше, чем двух других отверстий. Время, затраченное на выполнение блокирования, при применении разработанного способа было на 44,1% меньше, чем при способе «свободной руки». Использование устройства для позиционирования сверл позволило сократить время излучения ЭОП в основной группе (Т-критерий = -30,2, $p < 0,05$).

Количество попыток блокирования, то есть количество неправильно просверленных отверстий и винтов, произведенных мимо отверстий в штифте, в контрольной группе было выше, чем в основной (U-критерий = 20, $p = 0,02$). В основной группе

Показатели	Основная группа	Контрольная группа
Количество попыток блокирования, n	3,0±0	4,1±1,2
Продолжительность блокирования, с	302,1±13,1	540,5±16,3
Время излучения ЭОП, с	17,1±1,8	46,5±2,5

Таблица 1. Результаты исследования в группах сравнения
Table 1. The results in the study groups

промахов не было, поскольку отверстия просверливались через отверстия устройства, которые точно соответствовали отверстиям в штифте.

Применение разработанного медицинского инструмента позволяет после его фиксации на штифте контролировать при помощи ЭОП соответствие отверстий в штифте и в инструменте. Это повышает точность установки как винтов, которые устанавливаются с помощью устройства, так и первого винта, отверстие под который выполняется методом «свободной руки». Если после установки устройства положение его отверстий (на мониторе ЭОП) не соответствует отверстиям имплантата, значит, первое отверстие выполнено неправильно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Дистальное блокирование является одним из наиболее технически сложных этапов операции. Оно может сопровождаться неправильно просверленными отверстиями и соответственно винтами, установленными вне отверстий имплантата, переломами сверл, винтов. Повторное выполнение отверстий приводит к дополнительным повреждениям кости и мягких тканей, увеличению лучевой нагрузки [4]. На сегодняшний день разработано большое количество различных способов дистального блокирования и устройств для их осуществления.

Известны способы, в которых на интрамедуллярный штифт фиксируется направляющий для просверливания дистальных отверстий. Как правило, данные устройства позволяют только определить уровень введения винтов. Точное направление для выполнения отверстий необходимо корректировать в соответствии со смещением дистального фрагмента штифта под контролем ЭОП [3].

Одним из вариантов выполнения отверстий в кости является их прожигание с использованием лазера. Для этого в канал в штифте вводится световод, по которому лазерное излучение подается к отверстиям в штифте [10]. Прожигание кости приводит к термическому повреждению кортикального слоя. Осуществление данного способа возможно только в случае канюлированных штифтов.

Davut S. и соавт. предлагают вводить в канал интрамедуллярного штифта световод и использовать лазерное излучение для «подсветки» отверстий для блокирования. Контроль попадания винтов оценивается при этом визуально за счет установки в канал гибкого эндоскопа. Данная методика, так же, как и предыдущая, может быть применена только при наличии в имплантате канала [11].

H. Gao и соавт. предлагают использовать лазерные излучатели, которые фиксируются на самом электронно-оптическом преобразователе. После выполнения калибровки лазерами различных цветов освещается конечность и по их положению осуществляется просверливание отверстий [12]. Применение данного способа упрощает выполнение дистального блокирования, но не исключает необходимость использования рентгеновского излучения.

В настоящее время известны способы дистального блокирования, основанные на введении в канал в штифте электромагнитных излучателей. Они позволяют осуществлять блокирование без применения ЭОП [13, 14]. Использование данной техники возможно только при отсутствии вокруг металлических предметов, что достаточно сложно обеспечить в операционной. Недостатком данных способов также является необходимость наличия в имплантате канала, что бывает не у всех металлоконструкций. Нельзя не отметить высокую стоимость оборудования для реализации данных способов. По данным Lawrence Samarda и соавт., использование электромагнитных устройств для блокирования не уменьшает продолжительность операции по сравнению с техникой «свободной руки» [15]. При применении данного способа погрешность, то есть количество неправильно просверленных отверстий, по данным A. Allard, составляет 21,6% [16].

В литературе описаны способы дистального блокирования с применением роботов [17]. Высокая стоимость оборудования, необходимость размещения его в операционной, сложности в его обслуживании не позволяют большинству лечебных учреждений применять данные технические решения, несмотря на их достаточно высокую точность.

Ruxin Tu и соавт. предлагают использовать для дистального блокирования очки дополненной реальности, которые показывают виртуальное положение имплантата, спроецированное на конечность, а также виртуальное расположение отверстий и направление для просверливания кости. По данным авторов, точность позиционирования винтов составляет порядка 1,5 градуса [18]. Применение данного способа возможно без использования ЭОП, однако оно требует дорогостоящего оборудования, программного обеспечения, а также увеличивает продолжительность вмешательства за счет необходимости выполнения дополнительных манипуляций при выполнении дистального блокирования.

В проведенном экспериментальном исследовании было продемонстрировано уменьшение времени воздействия рентгеновского излучения по сравнению с применением способа «свободной руки». В разработанном способе устройство для его реализации позиционируется относительно дистального конца имплантата, что нивелирует смещение интрамедуллярной конструкции при ее установке.

Сокращение продолжительности дистального блокирования с использованием разработанного способа обеспечивает уменьшение длительности хирургического вмешательства, что приводит к уменьшению кровопотери, снижению риска развития инфекционных и других видов осложнений.

Разработанный способ и устройство для его реализации являются универсальными и могут быть использованы с большинством интрамедуллярных штифтов и ревизионных бедренных компонентов эндопротеза тазобедренного сустава, как канюлированных, так и неканюлированных. Наличие в устройстве отверстий различного диаметра и возможность изменения расстояния между ними позволяют адаптировать устройство для блокирования любого имплантата. При этом введение винтов осуществляется в отверстия в штифтах, расположенные в различных плоскостях.

В отличие от вышеперечисленных устройств, при помощи которых осуществляются различные способы дистального блокирования, разработанное устройство является технически простым и удобным в работе. Оно не занимает много места в операционной и может быть простерилизовано с использованием любых современных методов стерилизации. Устройство, изготовленное в заводских условиях, в отличие от действующего образца, может быть выполнено из металла, что увеличит ресурс его использования.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное экспериментальное исследование продемонстрировало, что разработанный способ упрощает процедуру дистального блокирования, позволяет сократить продолжительность выполнения данного этапа операции, сделать ее безопасной для пациента и медицинского персонала. Устройство для реализации разработанного способа имеет небольшие размеры и помещается в маленький кейс для переноски, что дает возможность легко транспортировать его и использовать в любой операционной, даже не травматолого-ортопедического профиля. Разработанный способ и универсальное устройство для его осуществления могут стать дополнительными инструментами в руках травматологов-ортопедов для выполнения хирургических вмешательств. ■

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Yinsheng W, Bing H, Zhigang S, et al. Comparison of free-hand fluoroscopic guidance and electromagnetic navigation in distal locking of tibia intramedullary nails. *Medicine*. 2018;97:27 e11305. doi: 10.1097/MD.00000000000011305
2. Dyatel SV, Dyatel VV. Distal blocking in closed intramedullary osteosynthesis of tibial fractures. Difficulties and solutions. *ARS Medica*. 2011;17(53):138-142. (In Russ.). [Дятел С.В., Дятел В.В. Дистальное блокирование при закрытом интрамедуллярном остеосинтезе переломов большеберцовой кости. Трудности и решения. *ARS Medica*. 2011;17(53):138-142. Available at: <https://rep.polossu.by/handle/123456789/25888>
3. Seyhan M, Ulku TK, Yuksel HY, et al. A new distal locking technique in intramedullary nailing. *Cerrahpasa Med J*. 2020;44(3):137-144. doi: 10.5152/cjm.2020.20012
4. Belen'kij IG, Hominec VV. Historical parallels in the development of intramedullary osteosynthesis. Status and prospects. *Modern Problems of Science and Education*. 2020;5:138. (In Russ.). [Беленький И.Г., Хоминец В.В. Исторические параллели развития интрамедуллярного остеосинтеза. Состояние и перспективы. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;5:138]. doi: 10.17513/spno.30055

5. Patra SK, Shetty AP, Jayaramaraju D, et al. Radiation exposure to the surgeon, surgical assistant, and scrub nurse during closed intramedullary nailing of long bones - Does it vary depending on the experience of the surgeon? *J Orthop Trauma*. 2019;33(2):52-57. doi: [10.1097/BOT.0000000000001345](https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001345)
6. Strom P, Hailer P, Wolf O. Time to entry point and distal locking of intramedullary nails: a methodological phantom study comparing biplanar and uniplanar surgical imaging. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2022;23:178. doi: [10.1186/s12891-022-05130-1](https://doi.org/10.1186/s12891-022-05130-1)
7. Hsu W-E, Yu C-H, Chang C-J, et al. Implementation and performance evaluation of a drilling assistive device for distal locking of intramedullary nails. *Int J Med Robot*. 2020;16:e2110. doi: [10.1002/rcs.2110](https://doi.org/10.1002/rcs.2110)
8. Xiaoxu Z, Yonggang F, Juwu C. A comparison of free-hand method and electromagnetic navigation technique for the distal locking during intramedullary nailing procedures: a meta-analysis. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2021;141:45-53. doi: [10.1007/s00402-020-03456-w](https://doi.org/10.1007/s00402-020-03456-w)
9. Varfolomeev DI. Method for distal blocking of intramedullary implants. *Application for invention № 2022122487 from 19.08.2022*. (In Russ.). [Варфоломеев Д.И. Способ дистального блокирования интрамедуллярных имплантатов. Заявка на изобретение № 2022122487 от 19.08.2022]. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
10. Voronin VM, Voronin MV, Nikitin VM, et al. Method for distal blocking of intramedullary nails during osteosynthesis of long tubular bones and device for its implementation. *RF patent for an invention № 2387401 from 27.04.2010*. (In Russ.). [Воронин В.М., Воронин М.В., Никитин В.М., и др. Способ дистального блокирования интрамедуллярных стержней при остеосинтезе длинных трубчатых костей и устройство для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2387401 от 27.04.2010]. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
11. Davut S, Dogramaci Y. Endoscopy-assisted distal locking of an intramedullary nail: A new experimental technique to reduce radiation exposure during distal locking of the intramedullary nails. *Jt Dis Relat Surg*. 2021;32(3):642-648. doi: [10.52312/jdrs.2021.297](https://doi.org/10.52312/jdrs.2021.297)
12. Gao H, Liu Z, Wang G. A New accurate, simple and less radiation exposure device for distal locking of femoral intramedullary nails. *International Journal of General Medicine*. 2021;14:4145-4153. doi: [10.2147/IJGM.S321005](https://doi.org/10.2147/IJGM.S321005)
13. Ma L, Zhao Z, Zhang B, et al. Three dimensional augmented reality surgical navigation with hybrid optical and electromagnetic tracking for distal intramedullary nail interlocking. *Int J Med Robotics Comput Assist Surg*. 2018;e1909. doi: [10.1002/rcs.1909](https://doi.org/10.1002/rcs.1909)
14. Aslan A, Konya M N, Gulcu A, et al. Is electromagnetic guidance system superior to a free-hand technique for distal locking in intramedullary nailing of tibial fractures? A prospective comparative study. *Ulus travma acil cerrahi derg*. 2020;26:280-286. doi: [10.14744/tjtes.2020.94490](https://doi.org/10.14744/tjtes.2020.94490)
15. Camarda L, Zini S, Butera M, et al. Electromagnetic distal targeting system does not reduce the overall operative time of the intramedullary nailing for humeral shaft fractures. *Journal of Orthopaedics*. 2018;15:899-902. doi: [10.1016/j.jor.2018.08.028](https://doi.org/10.1016/j.jor.2018.08.028)
16. Allard A, Letissier H, Le Nen D, et al. Evaluation of the accuracy of the Sureshot electromagnetic targeting system in distal locking of long-nailed humeral diaphyseal fractures. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*. 2021;107:1-5. doi: [10.1016/j.otsr.2020.102785](https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102785)
17. Wei-En H, Ching-Hsiao Y, Chih-Ju C, et al. C-Arm image-based surgical path planning method for distal locking of intramedullary nails. *Applied Bionics and Biomechanics*. 2018;1-10. doi: [10.1155/2018/4530386](https://doi.org/10.1155/2018/4530386)
18. Tu P, Gao Y, Lungu A, et al. Augmented reality based navigation for distal interlocking of intramedullary nails utilizing Microsoft HoloLens 2. *Computers in Biology and Medicine*. 2021;133:1-11. doi: [10.1016/j.combiomed.2021.104402](https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.104402)