

ОНКОЛОГИЧЕСКОЕ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЕ ГОЛЕНОСТОПНОГО СУСТАВА. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

Котельников Г.П., Иванов В.В., Николаенко А.Н.,
Приходько С.А., Дороганов С.О., Стройкова А.Д.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Россия, 443099, г. Самара, ул. Чапаевская, д. 89,
Телефон: +7 (846) 333-30-86, E-mail: info@samsmu.ru*

Резюме.

В настоящем исследовании представлен всесторонний обзор по онкологическому и ревизионному эндопротезированию голеностопного сустава. Авторами подробно изложены биомеханические особенности движений и анатомические аспекты строения голеностопного сустава, что крайне важно для всеобъемлющего понимания работы голеностопного сустава, механики поражений и объективной оценки возможности применения эндопротезирования голеностопного сустава, как метода у данной группы пациентов. Среди основных заболеваний, поражающих голеностопные сустав авторами указаны: артроз – артрит, грубые посттравматические деформации таранной кости, остеомиелит, отдельно уделяется внимание опухолям дистального отдела большеберцовой кости и голеностопного сустава, а также деструкции голеностопного сустава различной этиологии. Основной операцией при необратимых заболеваниях дистального радиуса голени является ампутации, которые до сих пор составляют значительную часть оперативных вмешательств, приводя к инвалидизации. Нестабильность компонентов эндопротеза, перипротезная инфекция, ишемия и краевой некроз кожного лоскута, а также метастазы в мягкие ткани и местный рецидив – осложнения после онкологического эндопротезирования, которые побуждают инженеров-конструкторов и врачей онкологов ортопедов к совместной работе по разработке новой оптимальной конструкции ревизионного эндопротеза голеностопного сустава.

Ключевые слова: голеностопный сустав, эндопротезирование, ревизионное эндопротезирование, онкологический эндопротез.

ONCOLOGICAL ENDOPROSTHETICS OF THE ANKLE JOINT.

LITERATURE REVIEW.

Kotelnikov G., Ivanov V., Nikolaenko A.,

Prikhodko S., Doroganov S., Stroikova A.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Samara State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation
Russia, 443099, Samara, Chapaevskaya st, 89*

Abstract

The given article presents the comprehensive review on oncological and revisional endoprosthetics of the ankle. The biomechanics, kinematics and anatomical features of the ankle which are highly important for complex understanding of the ankle joint motion, injury genesis and objective evaluation of joint replacement possibility were described by authors. Among the main disorders of the ankle these one were detailed: arthritis, severe posttraumatic deformities of the talus, osteomyelitis; the special attention was paid to the tumors of distal tibia and ankle joint destruction of various aetiology. The main procedure on irreversible disorders of the distal tibia and ankle joint is amputation which still makes the significant number of operations causing disability. The implant instability, periprosthetic infection, ischemia and marginal necrosis of skin flap, as well as metastases and local recurrence are complications of oncological endoprosthetics making engineers and orthopedic oncologists collaborate in development of optimal design for revisional ankle endoprosthesis.

Keywords: ankle joint, endoprosthetics, revisional endoprosthetics, oncological endoprosthesis

ВВЕДЕНИЕ

В общей структуре онкологических заболеваний опухоли костей составляют около 3%. Среди которых большей частью преобладают метастатические поражения - 93%, первичные злокачественные новообразования (хондросаркома, остесаркома, злокачественная гигантоклеточная опухоль, саркома Юинга) – около 1-2%, доброкачественные опухоли (хондрома, остеома, остеохондрома, доброкачественная гигантоклеточная опухоль) - до 6%. [1]

Злокачественные опухоли опорно-двигательной системы, прежде всего саркомы костей являются одними из наиболее агрессивных по своему течению. Зачастую, онкологический процесс, протекающий в суставных концах или околосуставной локализации кости осложняется патологическим переломом, выраженной контрактурой с

частичным или полным разрушением сустава, что крайне негативно отражается как на общем состоянии пациента, приводя к потере самообслуживания, так и в обострении онкологического процесса. В настоящее время комбинированный подход в лечении этой патологии, подразумевающий системную полихимиотерапию с локальным воздействием на патологический очаг (лучевая терапия и оперативное лечение) является стандартом адекватного лечения. Наряду с этим, современным подходом в лечении пациентов с доброкачественными, злокачественными гигантоклеточными опухолями является таргетная терапия. [2]

Длительное время, вплоть до 80-х годов двадцатого столетия лечение больных с саркомами костей ограничивалось монохимиотерапией и проведением ампутаций, что приводило к низкой удовлетворенности пациентов от органоуносящих операций, выживаемость при которых составляла порядка 40% [3]

Анализируя совершенно немногочисленные источники по данной тематике зачастую мы сталкивались с высказыванием: «Ампутация или эндопротезирование, что выбрать»? Уже в самом вопросе звучит определенный вызов к тщательному изучению этой проблемы.

Онкологическое эндопротезирование (TAR) ГСС на сегодняшний день, несомненно, служит отличной органосохраняющей альтернативой операции ампутации, которая на протяжении длительного времени являлась «золотым стандартом» в лечении больных с поражением дистального отдела большеберцовой кости различными по этиологии злокачественным опухолевым процессом дистального отдела голени, а так же при опухолях стопы. Помимо этого не стоит забыть и о других заболеваниях с грубыми деформациями и нарушениями анатомической целостности дистального радиуса голени, требующих решительных, радикальных методов по восстановлению первоначальной функциональной анатомии, при которых возможно ревизионное эндопротезирование индивидуальными протезами. К ним относятся постравматические деформации нижней трети голени, последствия перенесенного остеомиелита в стадии ремиссии, грубые артрозы с поражением талуса, вплоть до анкилоза [4].

Ежегодно во всём мире проводятся тысячи классических оперативных вмешательств на голеностопном сочленении, благодаря этому большое количество зарубежных исследований посвящено результатам эндопротезирования ГСС. Также этому способствуют национальные регистры эндопротезирования, существующие в западных и европейских странах [5].

В нашей стране опыт установки ревизионных и/или онкологических эндопротезов ГСС имеют лишь онкоортопеды ведущих центральных онкологических учреждений, в первую очередь это: МНИОИ им. П.А. Герцена и НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина. Несомненным упущением служит отсутствие в России национальных регистров данных, из-за чего в целом складывается несколько другая картина по данной проблеме. Крайне малое количество проводимых операций по замене ГСС в России и отсутствие единой базы эндопротезирования ставят под некоторое сомнение удовлетворённость результатами лечения и нуждаемости в таких операциях в целом [6].

И если при классическом варианте стандартного эндопротезирования голеностопного сустава при артритах различной этиологии, даже несмотря на ряд спорных моментов, ученые и клиницисты в целом пришли к единому мнению и нашли нужный вектор направления в эндопротезах четвертого поколения, то в применении онкопротезов голеностопного сустава существует большое количество нерешенных вопросов и спорных, требующих глубоко изучения, идей [7,8].

Несомненно, отличие онкологического эндопротезирования от классической артропластики ГСС связано с выполнением сегментарной резекцией нижней трети большеберцовой кости, в большинстве случаев полным рассечением связок дистального радиуса голени, удалением блока мягких тканей при их повреждении. Сложности в воссоздании функциональной анатомии и стабильности протеза обусловлены рядом особенностей таких как: полная потеря капсульно-связочного аппарата, отсутствие большеберцовой, а зачастую и малоберцовой кости на значительном протяжении, отсутствии точек прикрепления сухожилий мышц и связок, необходимость наличия специального инструментария и оборудования. Стоит отдельно отметить высокую стоимость ревизионных онкологических протезов импортного производства и необходимость квотирования клинических случаев по данному направлению [2,9]

ЦЕЛЬ – проанализировать данные мировой литературы о развитии и современном состоянии онкологического эндопротезирования голеностопного сустава. Дать оценку применения известных эндопротезов при опухолевом поражении дистального отдела большеберцовой кости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В представленном литературном обзоре проведён анализ зарубежных и отечественных научных публикаций, посвящённых вопросам лечения грубых анатомических деформаций нижнего отдела голени, опухолевого поражения

голеностопного сустава. Поиск научных публикаций за последние десять лет был выполнен в электронных базах данных GoogleScholar, PubMed, eLIBRARY, PubMedCentral на русском и английском языках по ключевым словам «онкологическое эндопротезирование голеностопного сустава», «артропластика голеностопного сустава», «опухоли нижней трети большеберцовой кости», «эндопротезирование дистального отдела голени». Также в материал обзора вошли актуальные научные публикации по хирургической анатомии и биомеханике голеностопного сустава. Проанализированы материалы с 1973 по 2022 год включительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Углубленное знание функциональной анатомии и понимание биомеханики движений в голеностопном суставе просто необходимы для грамотного протезирования голеностопного сустава

Стоит еще раз отдельно отметить, что при онкологическом эндопротезировании голеностопного сустава с целью онкологической радикальности удаляется блок тканей дистальной голени, преимущественно с медиальной стороны, среди которых важные анатомические структуры: дистальный сегмент большеберцовой кости, практически весь капсульно-связочный аппарат голеностопного сустава, дистальный межберцовый синдесмоз, медиальная дельтовидная связка и другие. Соответственно для успешного эндопротезирования голеностопного сустава необходимо их восстановление или воссоздание структур обеспечивающих уверенную стабильность в сочленении [2,9,10]

В образовании голеностопного сустава участвуют суставные поверхности таранной кости, медиальной и латеральной лодыжек. Лодыжки, образуя вилку голеностопа, принимают в себя таранную кость, блок которой более широкий спереди и более узкий сзади. Этим обоснована биомеханика голеностопного сустава: при тыльном сгибании широкий передний клин таранной кости входит в вилку голеностопа, обеспечивая наибольшую стабильность сегмента. Напротив, при подошвенном сгибании более узкая часть таранного блока обеспечивает наибольшую подвижность в голеностопном суставе, тем самым обосновывая большую часть повреждений сустава именно в этом положении [11]

Капсула голеностопного сустава имеет три уровня: глубокий – непосредственно суставная капсула и связочный аппарат; средний – сухожилия, окружающие сустав по всему периметру; и поверхностный – фиброзные удерживатели, образующие плотные костно-фиброзные футляры для сухожилий.

Капсула голеностопного сустава условно подразделена на четыре отдела. Она менее прочна в переднем и заднем отделах и укреплена здесь только передней и задней таранно-большеберцовыми связками. Максимальная стабильность имеется в боковых отделах капсулы, представленных основными связками: медиально – дельтовидной связкой, состоящей из большеберцово-ладьевидной, передней таранно-большеберцовой, задней таранно-большеберцовой, пяточно-большеберцовой порций; латерально – пяточно-малоберцовой, передней и задней таранно-малоберцовыми связками. [12, 13]

Проксимальнее связок голеностопного сустава малоберцовая и большеберцовая кости связаны между собой прочным фиброзным тяжем, называемым межберцовым синдесмозом, - структурой, имеющей важнейшее значение в стабилизации вилки голеностопного сустава. В дистальных отделах он укреплен передней и задней нижними межберцовыми связками.

Важной экстрапсулярной структурой является пружинная связка. Эта связка натянута между поддерживающим отростком таранной кости и ладьевидной костью. Её функция – поддержка головки таранной кости при нагрузке веса тела. Она состоит из плотной хрящеподобной фиброзной ткани. [14]

Над капсулой голеностопного сустава транзитом проходят сухожилия мышц голени, разделённых на три группы: сгибатели, разгибатели и малоберцовые мышцы. Они окружены мощными синовиальными футлярами и стабилизируются фиброзными удерживателями разгибателей – верхним и нижним, сгибателей и малоберцовых мышц, также разделённым на верхний и нижний. [15]

Понимание биомеханических особенностей голеностопного сустава необходимо для успешного эндопротезирования голеностопного сустава.

Ключевыми движениями в голеностопном суставе являются подошвенное и тыльное сгибание, происходящие в сагиттальной плоскости; отведение и приведение, происходящие в поперечной плоскости, и инверсия-эверсия, происходящие во фронтальной плоскости. Комбинации этих движений в подтаранном и большеберцово-таранном суставах создают трехмерные движения, называемые супинацией и пронацией. Оба термина определяют положение подошвенной поверхности стопы. Во время супинации сочетание подошвенного сгибания, инверсии и приведения приводит к тому, что подошва оказывается медиально. При пронации, тыльном сгибании, выворачивании и отведении подошва располагается латерально. [16]

В то время как многие авторы считают голеностопный сустав простым шарнирным суставом, высказывались предположения, что он является многоосевым из-за внутренней ротации, возникающей при тыльном сгибании, и наружной ротации, возникающей при подошвенном сгибании. Однако есть данные, свидетельствующие о том, что большеберцово-таранный сустав действительно является одноосным, но наблюдаемое одновременное движение происходит в результате его кривой оси. Ось вращения голеностопного сустава в сагиттальной плоскости происходит вокруг линии, проходящей через медиальную и латеральную лодыжки. Ось вращения в коронарной плоскости происходит вокруг точки пересечения между лодыжками и длинной осью большеберцовой кости во фронтальной плоскости. В поперечной плоскости ось вращения проходит вокруг длинной оси большеберцовой кости, пересекающей срединную линию стопы. [17]

Диапазон движений голеностопного сустава значительно различается у разных людей из-за географических и культурных различий, основанных на их повседневной деятельности. Движения в голеностопном суставе происходят преимущественно в сагиттальной плоскости. Несколько исследований показали, что общий объем движений в сагиттальной плоскости составляет от 65 до 75°: от 10–20° тыльного сгибания до 40–55° подошвенного сгибания. Общий диапазон движений во фронтальной плоскости составляет примерно 35°. (инверсия 23° - эверсия 12°). Однако в повседневной деятельности требуемый объем движений в сагиттальной плоскости значительно уменьшается: максимум 30° при ходьбе и 37° и 56° при подъеме и спуске по лестнице соответственно. Исторически сложилось мнение, согласно которому тыльное и подошвенное сгибание приписывалось исключительно движению большеберцово-таранного сустава, а инверсия-эверсия считалась происходящей только в подтаранном суставе. Совсем недавно от полного разделения движений в каждом суставе отказались; Считается, что большая часть подошвенного/тыльного сгибания по-прежнему происходит в большеберцово-таранном суставе, но несколько градусов приходится на подтаранный сустав. [18]

Амплитуда движений, как подошвенного, так и тыльного сгибания, зависит от ряда факторов: костного контакта суставных поверхностей, мышечного фактора, определяемого тонусом мышц, сухожилия которых проходят вокруг капсулы и стабилизированы удерживателями, и состояния капсульно-связочного аппарата. Именно понимание нативной анатомии и биомеханики голеностопного сустава определяет успех в выполнении проектировочных работ, связанных с эндопротезированием голеностопного сустава. Стремление к анатомической адаптированности и сохранение естественных

стабилизаторов голеностопного сустава способствует оптимальным функциональным результатам в послеоперационном периоде.

Учитывая сложноустроенную биомеханику, геометрию суставных поверхностей и, что наиболее важно, работу в условиях повышенных нагрузок в виде массы тела и многотысячных циклов движений, эндопротезирование голеностопного сустава бросает вызов для врача исследователя как в вопросах конструкции имплантов, так и в поиске материалов для их изготовления. До сих пор нет единого решения в этих вопросах, и на сегодняшний день ассортимент эндопротезов и трибологических пар представляет широкий выбор, однако отдалённые результаты остаются противоречивыми, что делает исследования в данном направлении по-прежнему актуальными.

Основные требования, предъявляемые к материалам для изготовления эндопротеза голеностопного сустава:

- биосовместимость;
- высокие прочностные свойства, устойчивость к длительному функционированию при экстремальных нагрузках;
- экономическая выгода изготовления;
- возможность ревизионного вмешательства;

Одним из первых материалов, применённым в данном направлении, был кобальт-хромовый сплав (CoCr), хорошо зарекомендовавший себя в трибологической связке с полиэтиленом. Однако его ограничение стало закономерным ввиду появившихся случаев гиперчувствительности и иммуновоспалительных реакций, связанных с высвобождением ионов металлов. [19]

Сплав титана, алюминия и ванадия Ti-6Al-4V с покрытием из нитрида титана характеризуется высоким сходством физических свойств с костной тканью, однако в случае повреждения защитного покрытия наступает ускоренный износ конструкции наряду с истиранием полиэтиленового вкладыша. [20]

Керамические импланты высоко зарекомендовали себя в хирургии тазобедренного сустава как лучшая трибологическая пара. Действительно, керамика абсолютно биосовместима и при адекватной полировке артикулирующих поверхностей и отсутствии микроповреждений имеет наивысшие показатели выживаемости. Однако использование данного материала сильно ограничено, если мы говорим о таком сложноустроенном комплексе, как голеностопный сустав [21]

Широко распространённым материалом в хирургии голеностопного сустава был и остаётся сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой прочности (СВМПЭ). Современные полиэтиленовые импланты показывают оптимальные функциональные результаты, чему способствуют достижения в кросс-линкинге и армировании полиэтилена молекулами других веществ (например, витамином Е). Однако, несмотря на значительный прогресс в данном направлении, по-прежнему поступают всё новые сообщения о перипротезном остеолитическом процессе, связанном с продуктами износа полиэтилена, обнаруживаемыми как экстра-, так и интрацеллюлярно. [22]

Огромное значение для выживаемости эндопротеза и, следовательно, успеха такого сложного мероприятия, как онкологическое эндопротезирование, имеет вопрос стабильности импланта. Первичная стабильность, осуществляемая за счёт использования костного цемента в ортопедическом эндопротезировании крупных суставов, менее применима в онкохирургии конечностей ввиду ограниченных возможностей ревизионных вмешательств, вероятность которых значительно выше в данной области, чем в классической ортопедии. В случае онкологического эндопротезирования стабильность должна обеспечиваться за счёт конструктивных особенностей импланта, использования фиксирующих винтов и специфических покрытий на границе «имплант-кость». Технологии аддитивного производства и 3D-принтинга успешно развиваются и в данном векторе: широко внедряется пористый титан для обеспечения остеоинтеграции, имеются положительные результаты. Покрытие из гидроксиапатита также обладает остеоинтегративными свойствами и обеспечивает плотную адгезию костной ткани. Однако в современной литературе появляются данные о риске переломов пористых конструкций имплантов ввиду усталости металла, а использование гидроксиапатитных покрытий по-прежнему требует комплексной доклинической оценки. [23]

Приведённые выше сведения подводят к мысли о необходимости совершенствования конструкции онкологических эндопротезов голеностопного сустава, тщательном выборе материалов для их изготовления, а также проведения комплексной доклинической их оценки. Эксплуатация импланта в агрессивных физических и механических условиях, контакт с большой площадью нескольких видов биологических тканей представляет перспективным создание эндопротезов с несколькими видами покрытий, оптимальных по функциональным характеристикам в конкретной зоне. [24]

Ампутации на уровне голени.

Говоря о хирургическом лечении дистальной голени, на протяжении длительного времени альтернативой онкологическому эндопротезированию ГСС служили органуносящие операции в виде ампутации или экзартикуляций [25].

В промышленно развитых странах ампутации нижних конечностей по поводу опухолей выполняются лишь в 5% среди всех ампутаций. В молодом возрасте доля ампутаций составляет около 10%, причем нижние конечности поражаются в 10 раз чаще.

При злокачественных опухолях конечностей всего несколько десятилетий назад ампутацию рассматривали как единственно возможный способ спасти жизнь больному и то с сомнительным прогнозом для жизни. Так, пациентам в возрасте 10-20 лет с хондросаркомой кости, пятилетняя выживаемость достигала 20% (Murdoch 1984). На сегодняшний день ситуация коренным образом изменилась. Благодаря возможности замещать суставы и даже большие дефекты костей так называемыми тумор-протезами в сочетании с проведением предоперационной химиотерапией во большинстве случаев удается избежать пациента от органуносящей операции (Jaffe 1974, Rosen et al., 1976, 1978).

При выборе метода лечения и дискуссии о дальнейшем качестве жизни пациента ампутацию конечности рассматривают в крайних случаях. Однако, по данным ВОЗ, только в США и ЕС на 2014 год насчитывается около 4 миллионов людей, пользующихся протезами. И это только малая часть пациентов, которым была выполнена ампутация. Растущее число инвалидов требует углубленного рассмотрения подходов к хирургическому лечению. [26]

Протезирование пациентов, имеющих длинные культы после транстибиальных ампутаций является особо сложной задачей. Дистальный метаэпифиз большеберцовый кости отличается от других участков голени замедленными трофическими процессами. Также данная область характеризуется отсутствием достаточного количества мягких тканей для формирования полноценной опорной культы. Вследствие этого такие ближайшие осложнения ампутации как расхождение краев раны и концевой некроз лоскутов возникают весьма часто. Закономерно, что частота возникновения подобных осложнений у герантологических пациентов с коморбидным фоном значительно выше. В результате вторичного заживления послеоперационной раны культя приобретает втянутые рубцы в нагружаемой области, что осложняет изготовление индивидуального протезного модуля (гильзы). [27]

Идея и разработка костно-пластической ампутации голени принадлежит нашему соотечественнику, известному хирургу, ученому основоположнику русской военно-полевой хирургии Н.И. Пирогову. Предложено более семидесяти модификаций костнопластической ампутации по Пирогову.



Рис.1 Рентгенограмма голени (выполнена костнопластическая ампутации по Н.И. Пирогову по поводу плоскоклеточного рака кожи правой стопы с поражением мягких тканей, сухожилий, надкостницы и плюсневых костей).

В настоящее время ампутация голени на разных уровнях насчитывает более ста различных вариантов, все они имеют свои определенные особенности и хорошо отработаны на практике. Разумеется, калечащие операции имеют помимо физиологических отклонений от нормальной анатомии конечности и психических травм, могут сопровождаться рядом осложнений и последствий.

Среди отдаленных последствий ампутаций на данном уровне чаще всего наблюдаются лигатурные свищи и концевой остеомиелит. Длительное неэффективное консервативное лечение побуждают принимать решение о реампутации. Данный шаг вновь продлевает время формирования функциональной культи. [28]

Нерешенные вопросы лечения затягивают начало реабилитационных мероприятий и повышают риск формирования сгибательных контрактур в смежных суставах. Данные осложнения крайне негативно сказываются на функциональном и косметическом результате протезирования и качестве жизни пациентов.



Рис. 2 Осложнения после ампутации (лигатурный свищ, расхождение краев раны).

Несмотря на все успехи и достижения современной медицины, ампутация ни в коем случае не устарела. В известной своими достижениями в области онкологической ортопедии клинике Венского университета до сих пор на две органосохранных операции приходится одна ампутация

Другие авторы (Rougraff с соавторами) в своих наблюдениях при лечении 227 больных с остеосаркомой дистальных отделов костей считают, что значимость ампутаций уменьшилась, однако не всегда к выгоде пациентов; калечащие и органосохраняющие операции по их мнению имеют примерно одинаковые преимущества и недостатки, указывая на отсутствие различий между двумя видами лечения в продолжительности жизни. [29]

Даже одно только упоминание о проведении пациенту ампутации может сильно повлиять на моральное состояние человека, приводя к мысли о статусе инвалида и глубокой депрессии, требует привлечения помощи медицинского психолога. Культия, которая никогда в жизни не принесла инвалиду никаких проблем является крайне редким исключением. [30]



Рис. 3 Рентгенограмма голеностопного сустава (А - злокачественная гигантоклеточная опухоль нижней трети левой большеберцовой кости; Б – ампутация на уровне верхней трети левой голени).

Отек культи, аллергический контактный дерматит, образование многочисленных кожных кист с выделением жидкости и инфицированием, повышенное потоотделение, фолликулит, грибковые поражения, опухоли кожи, состояние скелета культи в виде остеопороза, разрастания остеофитов, оссификации мягких тканей, перелома кости – все эти ситуации, связанные с длительным пребыванием культи в замкнутой гильзе, постоянной механической травматизацией и повышенной нагрузкой на культю наполняют чашу весов, призывающих отказаться от ампутации в пользу проведения органосохранной операции. Отдельное место здесь занимают фантомные ощущения, фантомные боли и онкологические осложнения в виде местного рецидива опухоли и метастазов. [31]

Онкологическое эндопротезирование голеностопного сустава

В настоящее время классическое эндопротезирование голеностопного сустава является обыденным методом реконструкции голеностопного сустава, который был утрачен из-за травм или дегенеративных нарушений. Благодаря проведению данного оперативного вмешательства были достигнуты удовлетворительные результаты, проведён анализ осложнений в ближайшей и отдалённой перспективах, обоснована стратегия ревизионных операций [32].

В 1999 году S.H. Lee с соавт. впервые опубликовали информацию об успешной эксплуатации эндопротезов голеностопного сустава [33].

В 1999 же году Королевский ортопедический госпиталь Бирмингема опубликовал свои исследования по данной теме. Осуществлялось клиническое наблюдение в отношении пяти пациентов около 32 лет, у которых были такие диагнозы, как саркома Юинга, леймиосаркома, гигантоклеточная опухоль, а двое больных имели остеосаркому. Пациенты не согласились на ампутацию, в следствие чего для них на заказ были сделаны шарнирные полусвязанные протезы с цементным способом фиксации с учётом ожидаемого уровня резекции большеберцовой кости. Корпус и тело большеберцового компонента были титановыми, а талусный компонент состоял из сплава хрома-кобальта с вкладышем из сверхвысокомолекулярного полиэтилена. В послеоперационном периоде пациенты находились на постельном режиме в течение 5 дней, в течение 6 недель у них была гипсовая иммобилизация без опоры на оперированную конечность, после снятия гипса была показана дозированная нагрузка (Рисунок 3). Все пациенты достигли полной нагрузки на конечность к 3 месяцам. Местный рецидив случился у одного пациента, асептическое расшатывание талусного компонента, поражение дистального отдела малоберцовой кости и выраженный хронический болевой синдром обнаружили у одного пациента, некроз раны и глубокая инфекция были отмечены у одного пациента, а прогрессирование болезни привело к летальному исходу у двух пациентов. Функциональная оценка составила 50% - 90% (в среднем 65%) [34].



Рис. 4 Рентгенограмма голеностопного сустава пациента с хондромиксоидной фибромой. Состояние после эндопротезирования онкологическим протезом (через 2 месяца после операции).

Королевская национальная ортопедическая больница (Стэнмор, Мидлсекс, Англия) в 2009 году опубликовала результаты лечения 6 пациентов за время с 1981 по 2007 годы. В ходе лечения были применены эндопротезы, которые врачи заказали в Stanmore Implants Worldwide (Центр биомедицинской инженерии Лондон, Великобритания), где пользуются технологиями компьютерного проектирования и производства (CAD-CAM). Протез состоит из тибиального и талусного компонентов. Имеется также вкладыш из сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой прочности на большеберцовом компоненте. Компонент большеберцовой кости состоит из титанового сплава (TA1) с рифленным интрамедуллярным стержнем, необходимым для прорастания костной ткани благодаря цементной фиксации воротника из гидроксиапатита (ГА) в проксимальной части большеберцовой кости. Для предупреждения поверхностного износа с подкожным накоплением частиц износа дистальный большеберцовый компонент имеет азотированную поверхность. Таранный компонент сделан из кобальт-хром-молибденового сплава (ASTM F75) и закреплён в кости одним или двумя фланцами (Рисунок 4). Обычно капсулу лодыжки и её связки удаляют вместе с опухолью, поэтому для обеспечения стабильности протез обеспечивается связанной конструкцией.



Рис. 5 Рентгенограмма голеностопного сустава. Состояние после эндопротезирования онкологическим протезом (через 19 месяцев после операции).

В результате эндопротезирования не возникло ни одного онкологического осложнения, четверо пациентов имели средний балл MSTS 70%, двум пациентам была проведена транстибиальная ампутация из-за хронической инфекции [35].

Медицинский центр рака и сердечно-сосудистых заболеваний в 2011 году опубликовал результаты работы сотрудников отделения ортопедической хирургии. Осуществлялось лечение двух пациентов с опухолями дистального отдела большеберцовой кости, причём один из пациентов имел центральную остеосаркому низкой злокачественности, а у другого было выявлено метастатическое поражение рака толстой кишки.

Около 6 недель по индивидуальному заказу на основе предполагаемого уровня резекции большеберцовой кости создавался эндопротез (Japan Medical Materials Ltd., Киото, Япония). Компонент состоит из титанового сплава (Ti-6Al-4V) интрамедуллярного стержня и глиноземистого керамического корпуса. Артикулярная поверхность эпифиза покрыта сверхвысокомолекулярным полиэтиленом (UMWP) для достижения плавного контакта с суставной поверхностью талуса (Рисунок 5).



Хр



Рис. 6. Рентгенограмма голеностопного сустава пациента с низкодифференцированной центральной остеосаркомой. Интраоперационный перелом малоберцовой кости. Состояние после эндопротезирования онкологическим протезом (через 3 месяца после операции).

Пациенты находились на постельном режиме 2 дня, а срок иммобилизации короткой гипсовой лонгетой составил 4 недели. После снятия лонгеты разрешили небольшую нагрузку на ногу и движения, а через 6 недель после операции сняли ограничения по физической активности. У одного из больных во время проведения хирургического вмешательства произошёл перелом малоберцовой кости, который интрамедуллярно зафиксировали спицей. Диапазон дорсального сгибания голеностопного сустава после операции составил -5° , а подошвенного сгибания -30° . Во время последнего посещения специалиста у пациента не было выявлено признаков рецидива заболевания и не показал ни рентгенологического ослабления, ни оседания таранного компонента за 8 лет. Функциональная оценка по шкале MSTS составила 80%. У другого пациента случился местный рецидив в дистальной части малоберцовой кости, в результате через 8 месяцев после первой операции провели резекцию, после чего признаки прогрессии отсутствовали. Диапазон дорсального сгибания голеностопного сустава составил -10° , а подошвенного сгибания -30° . Функциональная оценка по шкале MSTS показала 83,3% [36].

Первое упоминание об онкологическом эндопротезировании голеностопного сустава в Российской Федерации было в 2008 году в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина у пациента с поражением дистального метаэпифиза большеберцовой кости. В дальнейшем это событие было описано М. Д. Алиевым с соавторами [9, 25].

В России только в ведущих федеральных учреждениях здравоохранения проводится эндопротезирование онкологическими протезами голеностопного сустава [37]. Последним своим опытом в этой области поделились врачи ФГБУ НМИЦО им.Н.Н. Блохина и МНИОИ им П.А. Герцена под началом академика РАН Алиева М.Д.

По результатам лечения 20 пациентов с доброкачественными опухолями кости и первично локализованными саркомами кости в период 2008 по 2019г. Врачи провели 33 операции (первичные и ревизионные эндопротезирования) при поражении дистального эпифиза большеберцовой кости. Использовались 2 типа связанных тотальных онкологических эндопротезов голеностопного сустава. В одном случае это были блоковидные импланты Prospan (Чехия), в которых металлическая часть состоит из титанового сплава TiAl6V4, покрытого карбоном. Пластиковые части узла эндопротеза в виде двух втулок из полиэфираэфиркетона (PEEK). Вал узла установлен отдельно и фиксирован через его блок. Форма тибиальной и талусной ножек эндопротеза –

цилиндрическая, материал сплава TiA16V4. Во другом же случае хирурги использовали германские блоковидные онкопротезы Implantcast, металлическая часть узла которых сделана из сплава CoCrMo. Пластиковые детали узла эндопротеза в виде двух втулок из высокомолекулярного полиэтилена UHMW-PE. Втулки устанавливаются на вал узла, фиксированный к талусному компоненту протеза, после чего имплантируется в большеберцовый отдел голеностопного узла эндопротеза. Тиббиальная ножка в виде шестигранника для стабильности при ротации а, таранная ножка цилиндрическая; обе ножки из сплава CoCrMo. Главным осложнением оказалась ранняя асептическая нестабильность в 46,2% случаев. Онкологические осложнения диагностировали у 45% пациентов (из них местный рецидив у 15%). Средний функциональный результат по шкале MSTS после эндопротезирования голеностопного сустава составил 76% [2].

Коллектив врачей Affiliated Wuxi People's Hospital of Nanjing Medical University опубликовывали в 2017 году отчёт об использовании 3D-печати для создания эндопротеза голеностопного сустава с последующей установкой эндопротеза пациенту в возрасте 40 лет с амелобластомой большеберцовой кости. Данная методика подразумевала создание компьютерного 3D-изображения большеберцовой кости в соответствии с данными КТ и планирования предполагаемой зоны резекции. На основании чего специалисты изготавливали из каучука прототип протеза с контралатеральной большеберцовой кости при помощи принтера Lite 450 (Shanghai Union 3D Technology Co., Ltd., Shanghai, China) в размере 1:1 для примерки.

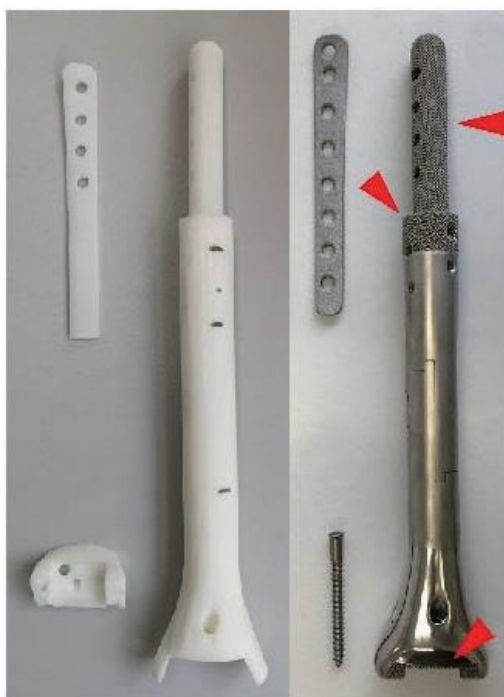


Рис. 7. Общий вид прототипа выполненного 3D-печатью из каучука и изготовленный протез голеностопного сустава с пластиной и фиксирующим винтом.

После технической доработки протез был напечатан из титанового сплава Ti-6Al-4V; AP&C Advanced Powder and Coatings Inc., Boisbriand, Quebec, Canada) с пористым Arcam Q10 (Arcam AB, Mölndal, Sweden) от компании Beijing Chunlizhengda Medical Instruments Company. Конструкция эндопротеза подразумевала связанное сочленение по типу артродеза, который дооснащали блокирующими винтами со стальной пластиной.

После операции пациенту назначали постельный режим с иммобилизацией конечности тутором на две недели. По прошествии двух недель пациенту разрешили ходить с одним костылём, через 8 недель после операции – только с функциональным брейсом, а на 12 неделе ортез снимали. Функциональный результат, в этом случае по шкале MSTS спустя 1 год составил 86,7%. На КТ и рентгенографии не были выявлены признаки ослабления протеза; рецидива опухоли и метастазов не обнаружено. [38]



Рис. 8. Рентгенограмма голеностопного сустава пациента с амелобластомой большеберцовой кости (большеберцовая кость резецирована на протяжении, установлен эндопротез, фиксированный винтами, удалена латеральная лодыжка).

В 2017 году индийские врачи опубликовали отчёт об эндопротезировании 13-летней пациентки с остеосаркомой дистального отдела большеберцовой кости после удаления опухоли. Мегапротез был изготовлен из нержавеющей стали. Сегментарную резекцию большеберцовой кости выполняли на протяжении 22см от суставной щели голеностопного сустава. Длина рабочей части протеза 22см, шириной 2,6см с

интрамедуллярной ножкой 10см диаметром 1см с сужением до 8мм. Таранный компонент был фиксирован с тибиальным замком, при этом концепция протеза подразумевала связанную конструкцию.

После оперативного вмешательства больная находилась на постельном режиме, на 10-ый день врачи разрешали ей ходьбу без опоры на прооперированную ногу, а с 3-ей недели позволяли передвижение с частичной опорой на ногу в тьюторе. Дальнейшие циклы химиотерапии были завершены. Послеоперационное гистологическое исследование показало остеобластную остеосаркому с 60% некрозом и отрицательным краем на злокачественность. Через 5 месяцев функциональный результат по шкале MSTS составил 86.7%. [39]



Рис. 9. Общий интраоперационный вид и рентгенограмма голеностопного сустава пациентки с остеосаркомой большеберцовой кости (большеберцовая кость резецирована на протяжении, установлен связанный эндопротез, удалена латеральная лодыжка).

Таким образом, из рассмотренных клинических случаев можно сделать прийти к выводу, что эндопротезирование имеет значительный потенциал при лечении доброкачественных и злокачественных поражений дистального отдела большеберцовой кости. Количество рецидивов и частота осложнений напрямую зависят от выбора модели эндопротеза, то есть от конструкции узлов эндопротеза, способов его фиксации, от дизайна, от материалов и от соблюдения принципа онкологической радикальности.

ДИСКУССИЯ

При анализе современной литературы по теме реконструкции дефектов голени эндопротезом голеностопного сустава после удаления опухоли и сегментарной резекции большеберцовой кости мы столкнулись со значительным дефицитом публикаций. Несомненно, обращает на себя внимание редкость опухолевого поражения дистальной голени и относительно небольшое количество больных с различными патологиями, нуждающихся в ревизионном эндопротезировании голеностопного сустава.

Помимо этого ревизионное эндопротезирование голеностопного сустава сопровождается трудновосполнимыми анатомическими потерями: полное рассечение связок, удаление блока мягких тканей, утрата капсульно-связочного аппарата, отсутствие большеберцовой, а зачастую и малоберцовой кости на значительном протяжении, отсутствии точек прикрепления сухожилий мышц и связок создают большие реконструктивные проблемы для хирургов, заставляя задуматься о более легком пути в сторону ампутации.

Основными осложнениями при онкологическом эндопротезировании голеностопного сустава описаны случаи: нестабильности компонентов эндопротеза (причем в 100% случаев нестабильность обусловлена таранным компонентом с учетом его фиксации в губчатом веществе); перипротезной инфекции, в основном вызванной метициллин-резистентным золотистым стафилококком (MRSA). Редко были отмечены ишемия и краевой некроз кожного лоскута, крайне редко – металлоз мягких тканей. Метастазы в мягкие ткани и местный рецидив встречаются в структуре онкологических осложнений и требуют дополнительных оперативных вмешательств. При этом осложнения при реэндопротезировании встречаются в 1,2 раза чаще, чем после первичного артропластики.

В совокупности, трудность в развитии онкологического эндопротезирования области голеностопного сустава обусловлена проблемой создания оптимальной конструкции: во-первых - позволяющую выдерживать значительные, зачастую чрезмерные разнонаправленные нагрузки, во-вторых имеющую надежный тип фиксации к костной ткани, в третьих конструкция протеза должна иметь компактные размеры для спокойного полноценного укрытия местными мягкими тканями после радикального удаления опухоли.

ВЫВОДЫ

1. На сегодняшний день в России отмечается заметное отставание от Европы и США направления онкологического эндопротезирования, что затрудняет создание отечественной доказательной базы по данному виду лечения, требует развития этого направления и создания актуальных реестров.
2. Онкологическое эндопротезирование ГСС, является прямой альтернативой оргаоуносящим операциям при опухолевых поражениях дистального отдела большеберцовой кости и других необратимых поражений голеностопного сустава.
3. Для улучшения результатов лечения необходимо отечественное комплексное исследование по разработке оптимальной конструкции протеза, способа фиксации имплантов, подбора подходящей пары трения и воссоздания капсульно-связочного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mascard E, Gaspar N, Brugières L, Glorion C, Pannier S, Gomez-Brouchet A. Malignant tumours of the foot and ankle. *EFORT Open Rev.* 2017;2(5):261-271. Published 2017 May 11. doi:10.1302/2058-5241.2.160078
2. Соколовский А.В., Соколовский В.А., Алиев М.Д. Отдаленные результаты индивидуализированного первичного и повторного онкологического эндопротезирования области голеностопного сустава при поражении доброкачественными и злокачественными опухолями кости. Саркомы костей, мягких тканей и опухолей кожи 2020; 12: 2-3 С.5-15
3. Peltier LF. Historical note on bone and soft tissue sarcoma. *J Surg Oncol.* 1985 Dec;30(4):201-5. doi: 10.1002/jso.2930300403. PMID: 3908827.
4. Wang S, Luo Y, Zhang Y, Wang Y, Zheng C, Tu C and Zhou Y (2022) Case Report: Reconstruction of Medialis Malleolus (1/4 of the Ankle Joint) After Resection of Distal Tibia Tumor With an Uncemented Three-Dimensional-Printed Prosthesis. *Front. Surg.* 9:844334. doi: 10.3389/fsurg.2022.844334
5. D'Ambrosi R, Banfi G, Uselli FG. Total ankle arthroplasty and national registers: What is the impact on scientific production? *Foot Ankle Surg.* 2019 Aug;25(4):418-424. doi: 10.1016/j.fas.2018.02.016. Epub 2018 Mar 6. PMID: 30321963
6. Mani K. Gundavda, Manish G. Agarwal, Rajeev Reddy, Ashik Bary, "Reconstructive Challenges of Distal Tibia Bone Tumors: Extracorporeally Irradiated Autograft Combined with a Nonvascularized Autograft Fibula for Superior Reconstruction and Functional Outcomes When

- Compared to Ipsilateral Pedicled Fibula Transfer Alone", *Sarcoma*, vol. 2021, Article ID 6624550, 6 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6624550>
7. Li, Y., He, J. and Hu, Y. , Comparison of the Efficiency and Safety of Total Ankle Replacement and Ankle Arthrodesis in the Treatment of Osteoarthritis: An Updated Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop Surg*, 12: 372-377. <https://doi.org/10.1111/os.12635>
8. Мирошников Д.Л., Сабодашевский О.В., Афаунов А.А., Замятин И.И., Матар Х.Х., Напах Ю.В. Опыт эндопротезирования голеностопного сустава. *Инновационная медицина Кубани*. 2017;6(2):15-20.
9. Алиев М.Д., Соколовский А.В., Соколовский В.А., Сергеев П.С. Результаты реконструкций голеностопного сустава мегапротезом при поражении опухолью дистального отдела большеберцовой кости. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*, 2010;4:13–8.
10. Mizoshiri, N., Shirai, T., Terauchi, R. *et al.* Limb saving surgery for Ewing's sarcoma of the distal tibia: a case report. *BMC Cancer* 18, 503 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12885-018-4372-z>
11. Jennifer M. Medina McKeon, Matthew C. Hoch; The Ankle-Joint Complex: A Kinesiologic Approach to Lateral Ankle Sprains. *J Athl Train* 1 June 2019; 54 (6): 589–602. doi: <https://doi.org/10.4085/1062-6050-472-17>
12. Golanó, P., Vega, J., de Leeuw, P.A.J. *et al.* Anatomy of the ankle ligaments: a pictorial essay. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18, 557–569 (2010). <https://doi.org/10.1007/s00167-010-1100-x>
13. Tantigate, D., Noback, P.C., Bäcker, H.C., Seetharaman, M., Greisberg, J.K. and Vosseller, J.T. (2018), Anatomy of the ankle capsule: A cadaveric study. *Clin. Anat.*, 31: 1018-1023. <https://doi.org/10.1002/ca.23219>
14. Amaha, K., Nimura, A., Yamaguchi, R. *et al.* Anatomic study of the medial side of the ankle base on the joint capsule: an alternative description of the deltoid and spring ligament. *J EXP ORTOP* 6, 2 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40634-019-0171-y>
15. Bianchi, S., Martinoli, C., Gaignot, C., De Gautard, R., & Meyer, J.-M. (2005). *Ultrasound of the Ankle: Anatomy of the Tendons, Bursae, and Ligaments. Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 09(03), 243–259. doi:10.1055/s-2005-921943
16. Brockett CL, Chapman GJ. Biomechanics of the ankle. *Orthop Trauma*. 2016;30(3):232-238. doi:10.1016/j.mporth.2016.04.015
17. Leardini, A., O'Connor, J.J. & Giannini, S. Biomechanics of the natural, arthritic, and replaced human ankle joint. *J Foot Ankle Res* 7, 8 (2014). <https://doi.org/10.1186/1757-1146-7-8>

18. Liu, C.L., Zhou, J.P., Sun, P.T. *et al.* Influence of different knee and ankle ranges of motion on the elasticity of triceps surae muscles, Achilles tendon, and plantar fascia. *Sci Rep* 10, 6643 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63730-0>
19. Narushima, T., Ueda, K., & Alfirano. (2015). *Co-Cr Alloys as Effective Metallic Biomaterials. Advances in Metallic Biomaterials*, 157–178. doi:10.1007/978-3-662-46836-4_7
20. Sarraf, M., Rezvani Ghomi, E., Alipour, S. *et al.* A state-of-the-art review of the fabrication and characteristics of titanium and its alloys for biomedical applications. *Bio-des. Manuf.* 5, 371–395 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42242-021-00170-3>
21. Punj, S., Singh, J., & Singh, K. (2021). *Ceramic biomaterials: Properties, state of the art and future prospectives. Ceramics International*, 47(20), 28059–28074. doi:10.1016/j.ceramint.2021.06.238
22. Hussain M, Naqvi RA, Abbas N, et al. Ultra-High-Molecular-Weight-Polyethylene (UHMWPE) as a Promising Polymer Material for Biomedical Applications: A Concise Review. *Polymers (Basel)*. 2020;12(2):323. Published 2020 Feb 4. doi:10.3390/polym12020323
23. Pałka, K., & Pokrowiecki, R. (2018). *Porous Titanium Implants: A Review. Advanced Engineering Materials*, 20(5), 1700648. doi:10.1002/adem.201700648
24. Liu, S., Wang, Q., Liu, W., Tang, Y., Liu, J., Zhang, H., ... Wang, L. (2021). *Multi-scale hybrid modified coatings on titanium implants for non-cytotoxicity and antibacterial properties. Nanoscale*, 13(23), 10587–10599. doi:10.1039/d1nr02459k
25. Zhiqing Zhao, Taiqiang Yan, Wei Guo, Rongli Yang, Xiaodong Tang, Wei Wang, Surgical options and reconstruction strategies for primary bone tumors of distal tibia: A systematic review of complications and functional outcome, *Journal of Bone Oncology*, Volume 14, 2019, 100209, ISSN 2212-1374, <https://doi.org/10.1016/j.jbo.2018.100209>.
26. Evans, D.R., Lazarides, A.L., Visgauss, J.D. *et al.* Limb salvage versus amputation in patients with osteosarcoma of the extremities: an update in the modern era using the National Cancer Database. *BMC Cancer* 20, 995 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12885-020-07502-z>
27. Selvam, P. S. , Sandhiya, M., Chandrasekaran, K., Rubella, D. H. , & Karthikeyan, S. (2021). Prosthetics for Lower Limb Amputation. In (Ed.), *Prosthetics and Orthotics*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95593>
28. Ajibade A, Akinniyi OT, Okoye CS. Indications and complications of major limb amputations in Kano, Nigeria. *Ghana Med J*. 2013;47(4):185-188.
29. Qureshi MK, Ghaffar A, Tak S, Khaled A. Limb Salvage Versus Amputation: A Review of the Current Evidence [published correction appears in *Cureus*. 2020 Oct 7;12(10):c38]. *Cureus*. 2020;12(8):e10092. Published 2020 Aug 28. doi:10.7759/cureus.10092

30. Roşca AC, Baciuc CC, Burtăverde V, Mateizer A. Psychological Consequences in Patients With Amputation of a Limb. An Interpretative-Phenomenological Analysis. *Front Psychol*. 2021;12:537493. Published 2021 May 26. doi:10.3389/fpsyg.2021.537493
31. Jauregui, J.J., Nadarajah, V., Munn, J. *et al*. Limb Salvage Versus Amputation in Conventional Appendicular Osteosarcoma: a Systematic Review. *Indian J Surg Oncol* 9, 232–240 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13193-018-0725-y>
32. Kerkhoff Y.R., Kosse N.M., Metsaars W.P., Louwerens J.W. Long-term Functional and Radiographic Outcome of a Mobile Bearing Ankle Prosthesis. *Foot Ankle Int* 2016; 37(12): 1292-302
33. Lee S.H., Kim H.S., Park Y.B. *et al*. Prosthetic reconstruction for tumors of the distal tibia and fibula. *J Bone Joint Surg Br* 1999;81-B:803–7.
34. A. Abudu, R.J Grimer, R.M. Tillman, S.R. Carter. Endoprosthetic replacement of the distal tibia and ankle joint for aggressive bone tumours / 1999; 23(5):291-4.
35. A. S. Shekkeris, S. A. Hanna, M. D. Sewell, B. G. I. Spiegelberg, W. J. S. Aston, G. W. Blunn, S. R. Cannon, T. W. R. Briggs The journal of bone and joint surgery Vol. 91-b, no. 10, October 2009
36. Hamada K, Naka N, Murata Y, Yasui Y, Joyama S, Araki N. Prosthetic reconstruction for tumors of the distal tibia. Report of two cases. *Foot (Edinb)*. 2011 Sep;21(3):157-61. doi: 10.1016/j.foot.2011.01.014. Epub 2011 Feb 18. PMID: 21334192.
37. Карпенко В.Ю., Бухаров А.В., Курильчик А.А. и др. Эндопротезирование при опухолевом поражении дистальных отделов конечностей. *Онкология. Журнал им. П.А.Герцена*, 2017; 6(5): 31-6.
38. Feng D, He J, Zhang C, Wang L, Gu X, Guo Y. 3D-Printed Prosthesis Replacement for Limb Salvage after Radical Resection of an Ameloblastoma in the Tibia with 1 Year of Follow Up: A Case Report. *Yonsei Med J*. 2019 Sep;60(9):882-886. <https://doi.org/10.3349/ymj.2019.60.9.882>
39. S Subbiah, G Gopu, Dr. Syed Afroze Hussain, Dr. Bharanidharan. Distal tibial osteosarcoma: A technique of custom mega prostheses reconstruction. *Int J Orthop Sci* 2017;3(1):233-236. DOI: 10.22271/ortho.2017.v3.i1d.38