



Потемкин В.Д. <sup>1</sup> (9970-1130)

## МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ ОБШИРНЫХ ДЕФЕКТОВ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ 3D-ПЕЧАТИ

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, 194044, ул. Ак. Лебедева, д.6

**Резюме:** Факт научного обоснования и популяризации во всем мире метода Г.А. Илизарова есть величайшее достижение отечественной медицины, а разработанная методика его использования при восполнении дефицита костной ткани верхних и нижних конечностей стала «золотым» стандартом лечения таких пострадавших [7]. Известно, что частыми причинами формирования массивного дефекта кости являются травмы снарядами с высокой кинетической энергией, местный инфекционный процесс, онкологические заболевания и излишняя хирургическая агрессия [4]. Долгое время сохранение функции конечности у таких пациентов было возможно только в случае применения внеочагового чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза с несвободной костной пластикой по Г.А. Илизарову [7]. Но продолжительность и результат лечения зачастую оказывались неудовлетворительными как для пациента, так и для лечащего врача [1]. Применение в практике возможностей регенеративной медицины при восстановлении структурных свойств поврежденных тканей с помощью биоактивных имплантатов позволяет рассчитывать на решение непростых клинических задач в современной травматологии и хирургии [12]. Вопрос замещения обширных дефектов длинных трубчатых костей всегда был актуален как для хирургии повреждений, так и для онкологии. Помимо применения внеочагового чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза с несвободной костной пластикой по Г.А. Илизарову костные дефекты зачастую требуют использования костных трансплантатов или протезирования.

Титановый сплав сегодня активно применяется в стоматологии и ортопедической хирургии благодаря своей относительной биоинертности и отличным механическим и биологическим свойствам [5]. Титан и его комбинированные сплавы превосходят все имеющиеся в хирургии материалы, используемые для замещения объемных костных дефектов [6]. С появлением и развитием методов 3D-печати с помощью металлов появились новые возможности применения титана и его сплавов, появилась возможность создавать высокоточные пористые структуры для замещения костных дефектов в соответствии с клиническими потребностями. В ходе работы были рассмотрены зарубежные методики замещения обширных костных дефектов с помощью 3-D печати, выявлены недостатки такие как: дороговизна разработки и производства, излишняя индивидуализация. Используя опыт зарубежных коллег, мы задались целью исключить прежние недостатки и унифицировать протез под все анатомические области. В итоге нами разработан и создан прототип модели протеза с помощью 3D-печати, который является перспективным для дальнейшего развития и внедрения в клиническую практику.

**Ключевые слова:** 3D-печать, биоимплант, остеоинтеграция, протезирование, прототип, дефект, травма, ремонтини, ячейки, кости.

Potemkin V.D. <sup>1</sup> (19970-1130)

## METHOD FOR REPLACING EXTENSIVE DEFECTS IN LONG TUBULAR BONES USING 3D PRINTING

<sup>1</sup> S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense, St. Petersburg, 194044, Academica Lebedeva str., 6, Russia

**Abstract:** The fact that the scientific substantiation and promotion worldwide of the method of Ilizarov is the greatest achievement of domestic medicine, and the method of its use in filling bone deficit of upper and lower extremities have become the gold standard treatment of such patients [7]. It is known that frequent causes of the formation of a massive bone defect are injuries from projectiles with high kinetic energy, local infection, cancer, and excessive surgical aggression [4]. For a long time, the preservation of limb function in such patients was possible only in the case of non-focal transosseous compression-distraction osteosynthesis with non-free bone grafting according to G. A. Ilizarov [7]. However, the duration and result of treatment often did not fully satisfy both the patient and the attending physician [1]. The use of regenerative medicine in the practice of restoring the structural properties of damaged tissues with the help of bioactive implants allows us to count on solving difficult clinical cases in modern traumatology and surgery [12]. The question of replacing extensive defects in long tubular bones has always been relevant for both damage surgery and Oncology. Bone defects often require, in addition to the use of extra-focal transosseous compression-distraction osteosynthesis with non-free bone grafting according to G.A. Ilizarov, using bone grafts or prosthetics.

Titanium alloy is now widely used in dentistry and orthopedic surgery due to its relative bio-inertness and excellent mechanical and biological properties [5]. Titanium and its combined alloys are superior to all materials available in surgery that are used to replace bulk bone defects [6]. With the advent and development of 3D printing methods using metals, new opportunities for the use of titanium and its alloys have emerged, and it is now possible to create high-precision porous structures to replace bone defects in accordance with clinical needs.

During the work, a prototype of the prosthesis model was developed and created using 3D printing, which is promising for further development and implementation in clinical practice

**Keywords:** 3D-printing, bioimplant, osseointegration, prosthetics, prototype, defect, scaffolds, trauma, cells, bones.

**Цель исследования:** Целью работы являлась разработка и создание унифицированной модели 3D-импланта для замещения обширных травматических дефектов длинных трубчатых костей любых размеров. Оценка возможностей применения и определение оптимальной методики изготовления протеза с учетом факторов, ускоряющих процесс взаимной интеграции импланта с живой костной тканью.

**Материалы и методы.** Для создания виртуального проекта пластикового каркаса было использовано программное обеспечение "FUSION 360" [Autodesk Inc.], 3D-принтер Wanhao Duplicator D9/500 Mark II [Wanhao Duplicator]. Сам прототип протеза создавался из филаментного пластика полиэтилен-терефталата. На основе данных, полученных в ходе автоматизированного проектирования пористых структур, стало известно, что додекаэдровая структура недостижима из-за особенностей технологии производства пластиковых изделий, и данная структура может быть достигнута лишь в окончательном титановом варианте изделия, который будет печататься, исходя из результатов КТ исследований, выполняемых непосредственно перед печатью импланта и его применением.

**Результаты.** Одним из преимуществ предложенного нами типа протеза для восполнения обширных дефектов костной ткани стало обеспечение необходимых условий для реализации процесса образования новой капиллярной сети в зоне имплантации, следовательно, и увеличение уровня оксигенации образующейся костной ткани, необходимой для нормального процесса осуществления и завершения остеогенеза [8, 9]. Планируется, что данные меры помогут ускорить процесс взаимной интеграции импланта и живой костной ткани, что позволит надежно зафиксировать протез к проксимальным и дистальным краям костного дефекта, окружить металлическую конструкцию новообразованной костной структурой. В результате разработки, проектирования и создания модели-прототипа мы получили пластиковый вариант изделия с цельной монолитной структурой, включающий в себя два подвижных элемента для фиксации в проксимальном или дистальном конце зоны костной деструкции. Прототип модели отображает все технические и механические свойства конечного варианта протеза из титанового



сплава. Модель прототипа титанового протеза состоит из трех неподвижных частей: корпус, сверло, внутренняя шахта и двух типов подвижных: выдвигаемой стрелы и продвигающих вставок. Конструкция протеза подразумевает надежный принцип как наружной фиксации к фрагментам оставшейся кости путем всверливания протеза в дистальный или проксимальный конец зоны повреждения, так и внутренней фиксации подвижной части путем расклинивания подвижной и неподвижной части вставками. В процессе разработки додекаэдровой ячеистой структуры сообщающихся полостей для титанового варианта протеза мы предполагали заполнение получившихся сообщающихся полостей смесью желатина и наногидроксипатита с целью ускорения остеобластогенеза и взаимоинтеграции. Обоснование применения желатина заключается в том, что желатин – денатурированная форма коллагена, содержащая функциональные аминокислоты, необходимые для остеогенеза [10, 11]. Так же в состав конструкции был включен наногидроксипатит (нНА). Обоснование применения нНА в том, что он усиливает образование костной ткани путем повышения адгезии остеобласта, пролиферации и остеоинтеграции [12]. Результаты последних исследований показали, что ремонтин (комплекс геля-желатина и наногидроксипатита) значительно усиливают адгезию, пролиферацию и дифференцировку костной ткани [2, 3]. Данная модификация предложенного нами 3D-биомпланта путем добавления комплекса ремонтин является перспективным направлением для дальнейшего развития проекта [5].

**Выводы.** В случае с вариантом печати модели протеза из пластика ячеистая структура оказалась недостижима из-за технологии плавки филаментного пластика полиэтилентерефталата. Полученное изделие с системой замыкания импланта в проксимальном и дистальном отломках длинных трубчатых костей является полноценным прототипом для печати титановых имплантов по результатам КТ-исследований нижних и верхних конечностей и использовании их для замещения обширных костных дефектов у раненых и пострадавших, а также, у пациентов с онкологическими заболеваниями. Развитие данной технологии изготовления индивидуальных имплантов является достаточно перспективным для применения в клинической практике.

#### Литература:

1. Быков, И.Ю. Военно-полевая хирургия: Национальное руководство / И.Ю. Быков, Н.А. Ефименко, Е.К. Гуманенко. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 115 с.
2. Талашова, И.А. Сравнительная количественная оценка репаративного процесса при имплантации биокомпозиционных материалов в костные дефекты / И.А. Талашова [и др.] // Гений ортопедии. – 2012. – №2. – С.68-71.
3. Крюков, Е.В. Опыт клинического применения тканеинженерных конструкций в лечении протяженных дефектов костной ткани / Е.В. Крюков [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – №25. – С.68-71.
4. Брижань, Л.К. Современное комплексное лечение раненых и пострадавших с боевыми повреждениями конечностей / Л.К. Брижань [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. – 2016. – Т.11, №1. – С.74-80.
5. Мигулева, И.Ю. Две новые модели экспериментального дефекта кости на голени крысы для исследования регенерации костной ткани после пластики различными материалами / И.Ю. Мигулева [и др.] // Экспериментальная хирургия. – 2015. – №2. – С.34-45.
6. Крюков, Е.В. Опыт клинического применения тканеинженерных конструкций в лечении протяженных дефектов костной ткани / Е.В. Крюков [и др.] // Гений ортопедии. – 2019. – №25. – С.68-71.
7. Соломин, Л.Н. Основы чрескостного остеосинтеза: [в 3 т.] – Т.1. / Л.Н. Соломина. – М.: Бином, 2014. – С.9.
8. Оноприенко, Г.А. Микроциркуляция и регенерация костной ткани: теоретические и клинические аспекты / Г.А. Оноприенко, В.П. Волошин. – М.: Бином, 2017. – 184 с.
9. Сакович, Е.Ф. Гипербарическая оксигенация в комплексе интенсивной терапии огнестрельных и взрывных ранений / Е.Ф. Сакович [и др.] // Медицина неотложных состояний. – 2015. – №2(65). – С.147-149.
10. Xiao, W. Cellular and Molecular Aspects of Bone Remodeling / W. Xiao [et al.] // Front. Oral Biol. – 2016. – Vol.18. – P.9-16.
11. Kang, S.-H. Regeneration potential of allogeneic or autogeneic mesenchymal stem cells loaded onto cancellous bone granules in a rabbit radial defect model / S.-H. Kang [et al.] // J. Hand Surgery. – 2014. – Vol.39E, Suppl.1. – P.349.
12. McKee, M.D. Management of Segmental Bone Defects: Management of Segmental Bony Defects: The Role of Osteoconductive Orthobiologics / M.D. McKee // J. Am. Acad. Orthop. Surg. – 2006. – Vol.14. – P.163-167.
13. Liou, J.J. Effect of Platelet-Rich Plasma on Chondrogenic Differentiation of Adipose- and Bone Marrow-Derived Mesenchymal Stem Cells / J.J. Liou [et al.] // Tissue Eng. (Part A). – 2018. – Vol.24, №19-20. – P.1432-1443.