

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АППАРАТА ИЛИЗАРОВА МОДИФИКАЦИИ БАГИРОВА

*Бионышев-Абрамов Л.Л.^{1,2}, Лукина Ю.С.^{1,3}, Сотин А.В.², Суварлы П.Н.⁴,
Смоленцев Д.В.¹, Клокова А.Н.³, Багиров А.Б.^{1,5,6}*

¹*Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова Минздрава России, Москва;*

²*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь;*

³*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва;*

⁴*ООО «Клиника научной медицины», Москва;*

⁵*Московский Авиационный институт (государственный технический университет), Москва;*

⁶*Международная Медицинская Ассоциация – Университет Здоровья БРИКС, Москва*

Ключевые слова: аппарат внешней фиксации, аппарат Илизарова модификации Багирова, спице-стержневой аппарата, гибридный аппарат наружной фиксации, физико-механические испытания, осевое сжатие.

Аннотация. На универсальной испытательной машине Walter+Bai AG LFM-50 проведено экспериментальное исследование механического поведения аппарата Илизарова модификации Багирова используемого для лечения костных дефектов в проксимальном отделе голени. Трехуровневая компоновка спице-стержневого аппарата обеспечивает должную фиксацию костных фрагментов и не ограничивает подвижность в конечности. Проведенные измерения показали, что при нагрузке $F = 1,1$ кН максимальные перемещения вдоль продольной оси составляют 9,26 мм, при этом жесткость конструкции составляет от 82 до 134 Н/мм, что, может оказать положительное влияние на необходимую динамизацию перелома или зоны остеотомии на ранних этапах остеосинтеза.

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE ILIZAROV APPARATUS MODIFIED BY BAGIROV

*Bionyshev-Abramov L.L.^{1,2}, Lukina Y.S.^{1,3}, Sotin A.V.², Suvarly P.N.⁴, Smolencev
D.V.¹, Klokova A.N.³, Bagirov A.B.^{1,5,6}*

¹*National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics
n.a. N.N. Priorov, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow;*

²*Perm National Research Polytechnic University, Perm;*

³*Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow;*

⁴*Clinic of scientific medicine LLC, Moscow;*

⁵*Moscow Aviation Institute (State Technical University, Moscow;*

⁶*International Medical Association – BRICS Health University, Moscow*

Keywords: external fixation device, Ilizarov device modified by Bagirov; pin-and-rod device, hybrid external fixation device, physical and mechanical tests, axial compression.

Abstract. The Ilizarov apparatus modified by Bagirov is used to treat bone defects in the proximal tibia. An experimental study of the mechanical behavior of the apparatus was conducted on a Walter+Bai AG LFM-50 universal testing machine. The three-level arrangement of the spoke-rod apparatus ensures proper fixation of bone fragments and does not limit mobility in the limb. The

measurements showed that the maximum displacements along the longitudinal axis are 9.26 mm under a load of $F = 1,1$ kN. The rigidity of the structure is from 82 to 134 N/mm. This can provide the necessary dynamization of a fracture or osteotomy zone at the early stages of osteosynthesis.

Введение

Несращение дефектов костей является распространенным явлением в клинической практике, как следствие травмы, остеомиелита или резекции опухоли, и часто представляет собой чрезвычайно сложную проблему для клинических хирургов, в особенности, когда у этих пациентов дополнительно возникают инфекции или поражение мягких тканей.

Экспериментально доказано, что одним из условий для благоприятного костеобразования является своевременное сопоставление концов отломков, и их стабильная фиксация [1]. Метод наружной фиксации Илизарова является одним из широко применяемых в травматологии и ортопедии при фиксации переломов костей конечностей, лечении широкого спектра патологий костно-мышечной системы [2, 3]. К недостаткам классического аппарата наружной фиксации Илизарова относятся возможные неврологические и сосудистые повреждения, а также повышенная сложность и конструкция каркаса [4].

Одной из модификаций аппарата Илизарова является модификация Багирова, сочетающая в себе комбинацию спиц, стержней и полуколец. Механические характеристики спице-стержневых аппаратов определяют результат хирургической процедуры и зависят от характерных конструктивных особенностей [5]. Правильная компоновка спиц и стержней в аппаратах наружной фиксации может снизить уровни деформации при физиологической нагрузке без иного изменения механической среды на уровне остеотомии [6, 7].

Таким образом, знание механических свойств аппарата наружной фиксации Илизарова модификации Багирова необходимо для травматологов-ортопедов, использующих его в клинической практике. Основной целью данного исследования было количественно оценить механическое поведение аппарата наружной фиксации Илизарова модификации Багирова при осевой нагрузке.

Материалы и методы

Аппарат Илизарова модификации Багирова для голени в случае дефекта в проксимальном отделе представляет собой аппарат трехуровневой компоновки (рис. 1).

В представленной в работе компоновке на проксимальной опоре (полукольцо диаметром 120 мм) фиксируются проведенная диаметральная спица диаметром 3 мм и две консольно введенные спицы диаметром 3 мм (рис. 2, а). На средней опоре (полукольцо диаметром 120 мм) фиксируется консольно расположенный стержень диаметром 5 мм (рис. 2, б). На уровне дистального метафиза введенный консольно стержень диаметром 6 мм проходит через нижнее отверстие балки (продольная металлическая пластина шириной 15 и толщиной 6 мм с резьбовым хвостовиком М6), соединяющей дистальную опору и стержень на уровне дистального метафиза (рис. 2, в).

Для проведения экспериментального исследования прочностных характеристик аппарата при осевом сжатии, в качестве моделей костей использовались стержни диаметром 30 мм из мягких пород древесины. Между

двумя верхними опорами аппарата внешней фиксации была выполнена остеотомия с разведением концов на 20 мм.



Рис. 1. Аппарат наружной фиксации Илизарова модификации Багирова для проксимального отдела голени: 1 – проксимальная опора (полукольцо), 2 – средняя опора (полукольцо), 3 – дистальная опора (стержень)

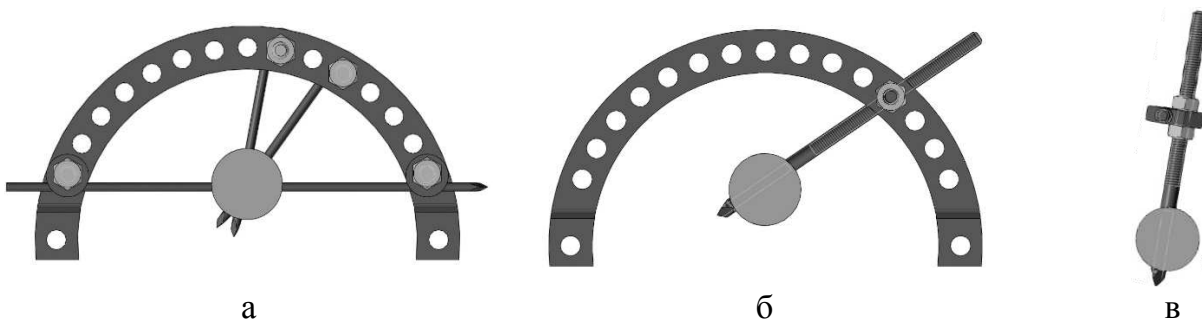


Рис. 2. Фиксация спиц и стержней на уровне: а) проксимального метафиза; б) 1/3 большебцовой кости; в) дистального метафиза

Описанная выше конфигурация подвергалась осевым (вдоль продольной оси «кости») нагрузкам до 1,1 кН, приложенным квазистатическим образом. Во время испытаний непрерывно регистрировались смещение вдоль оси z и сила нагружения. Испытание осуществлялось на универсальной испытательной машине Walter+Bai AG LFM-50. Регистрация и обработка результатов осуществлялась с помощью программы Dion 7.

Проксимальный и дистальный концы исследуемой компоновки аппарата наружной фиксации были жестко зафиксированы в специальной оснастке и закреплены в цанговых зажимах испытательной машины (рис. 3). В качестве оснастки использовались стаканы с радиальным болтовым креплением.

При испытании на сжатие скорость перемещения нагружающего штока составляла $V = 0,08$ мм/сек.



Рис. 3. Расположение конструкции на испытательной установке

Результаты и обсуждение

Анализ механического поведения аппарата наружной фиксации выявил, что при нагрузке $F = 1,1$ кН максимальные перемещения вдоль оси z составляют 9,26 мм (рис. 4). Деформирование аппарата наружной фиксации имеет прямолинейный характер, описывается линейным уравнением со степенью аппроксимации $R^2 = 0,998$. Конструкцию аппарата наружной фиксации Илизарова модификации Багирова представленной компоновки можно отнести к фиксаторам низкой жесткости т.к. жесткость конструкции составляет от 82 до 134 Н/мм, что может положительно сказаться на заживлении зоны перелома, т.к. обеспечивает требуемый уровень динамизации перелома или зоны остеотомии.

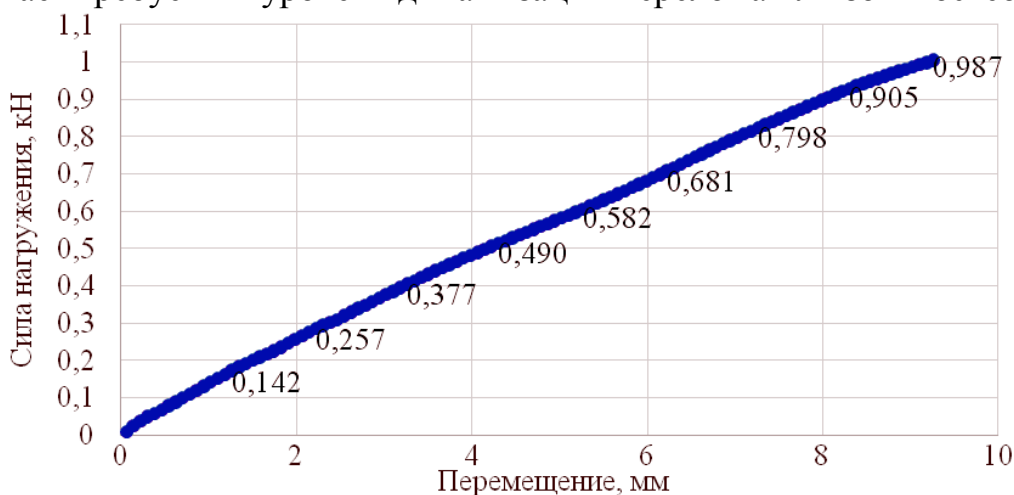


Рис. 4. Диаграмма испытания конструкции аппарата наружной фиксации при жесткой фиксации двух концов

Заключение

С инженерной точки зрения ключевыми параметрами, влияющими на механическую устойчивость внешней фиксации, являются жесткость и прочность [8]. Аппараты внешней фиксации с высокой жесткостью не могут обеспечить

необходимый уровень динамизации процесса сращения [9, 10], а избыточная податливость аппарата может привести к травмирующим микроперемещениям в месте перелома, и, соответственно, риску образования ложного сустава. Проведенное физико-механическое исследование аппарата Илизарова модификации Багирова заданной компоновки определяет конструкцию, как фиксатор низкой жесткости, что может оказать положительное влияние на необходимую динамизацию процесса сращения костных фрагментов на ранних этапах остеосинтеза. Влияние изменений в компоновке аппарата, для решения задачи обратной динамизации требуют проведения дальнейших исследований.

Список литературы

1. Цяо Гуанда, Лепехова С.А., Тишков Н.В. Бубнов А.С. Математическое моделирование и опыт применения нового устройства при переломах костей голени // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). – 2015. – №4. – С. 20-24.
2. Claes L., Heitemeyer U., Krischak G. et al. Fixation technique influences osteogenesis of comminuted fractures // Clin Orthop. 1999, vol. 365, pp. 221-229.
3. Солдатов Ю.П., Стогонов М.В., Овчинников Е.Н., Губин А.В., Гроднова Н.В. Аппарат внешней фиксации конструкции Г.А. Илизарова. Оценка клинической эффективности и безопасности (обзор литературы) // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, №4. – С. 588-599. – DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-588-599.
4. Calhoun J.H. et al. Rigidity of half-pins for the Ilizarov external fixator // Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, NY)). 1992, vol. 52, no. 1, pp. 21-26.
5. Mitousoudis A.S., Magnissalis E.A., Kourkoulis S.K. A biomechanical analysis of the Ilizarov external fixator // EPJ Web of Conferences. 2010, vol. 6, p. 21002. DOI: 10.1051/epjconf/201006210.
6. Calhoun J.H. et al. Rigidity of half-pins for the Ilizarov external fixator // Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, NY)). 1992, vol. 52, no. 1, pp. 21-26.
7. Henderson D.J. et al. What are the biomechanical effects of half-pin and fine-wire configurations on fracture site movement in circular frames? // Clinical Orthopaedics and Related Research. 2016, vol. 474, pp. 1041-1049.
8. Fernando P.L.N., Abeygunawardane A., Wijesinghe P.C.I., Dharmaratne P., Silva P. An engineering review of external fixators // Medical Engineering & Physics. 2021, vol. 98, pp. 91-103.
9. Gasser B., Boman B., Wyder D., Schneider E. Stiffness Characteristics of the Circular Ilizarov Device as Opposed to Conventional External Fixators // Journal of Biomechanical Engineering. 1990, vol.112(1), p. 15, doi:10.1115/1.2891120.
10. Emami A., Mjöberg B., Karlström G., Larsson S. Treatment of closed tibial shaft fractures with unilateral external fixation // Injury. 1995, vol. 26, pp. 299-303.

Сведения об авторах:

Бионьшев-Абрамов Леонид Львович – научный сотрудник, студент;

Лукина Юлия Сергеевна – к.т.н., доцент, заведующий лабораторией разработки и испытания медицинских изделий, доцент кафедры инженерного проектирования технологического оборудования;

Сотин Александр Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика»;

Суварлы Первиз Низим оглы – врач травматолог-ортопед;

Смоленцев Дмитрий Владимирович – научный сотрудник;

Клокова Анастасия Николаевна – старший преподаватель кафедры инженерного проектирования технологического оборудования;

Багиров Акишин Бейюк Ага оглы – д.м.н., ведущий научный сотрудник отдела повреждений опорно-двигательного аппарата и их последствий, руководитель научной группы реинженеринга метода наружной чрескостной фиксации, профессор кафедры «Перспективные материалы и технологии авиакосмического назначения», заведующий «кафедрой Инновационной травматологии и ортопедии».