

DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2020.3.08

УДК 616.718.5-001.5-089.2:616.71-089.844-08:612.76

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ КОСТЬ–ИМПЛАНТАТ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ФИКСАЦИИ

**Т.Б. Минасов¹, В.Л. Скрябин², А.В. Сотин³, И.Б. Минасов¹, Р.А. Саубанов¹,
А.А. Файзуллин¹, Р.М. Вахитов-Ковалевич¹**

¹ Башкирский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Российская Федерация, 450008, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Ленина, 3, e-mail: m01b@ya.ru

² Медсанчасть № 9 им. М.А. Тверье, Российская Федерация, 614990, Пермь, ул. Братьев Игнатовых, 2

³ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Российская Федерация, 614990, Пермь, Комсомольский проспект, 29, e-mail: sotin@mail.ru

Аннотация. Переломы диафизов костей голени составляют до 45 % случаев от всех переломов длинных костей скелета человека и являются самыми распространенными повреждениями костей сегментов конечностей, лечение которых сопровождается большим числом осложнений, поэтому проблема улучшения результатов лечения пациентов с указанной травмой по-прежнему актуальна для современной травматологии и ортопедии. Использование компрессионно-дистракционных аппаратов, систем интрамедуллярного и накостного остеосинтеза позволяет обеспечить стабильно-функциональный остеосинтез и исключить необходимость в дополнительной гипсовой иммобилизации сегмента или конечности в послеоперационном периоде. Биомеханические взаимоотношения в системе кость–имплантат являются значимым фактором, позволяющим объективизировать режим двигательной реабилитации в раннем послеоперационном периоде. В данной работе изучены результаты стендовых испытаний групп биоманекенов большеберцовой кости в условиях экспериментального повреждения типа 42 A 1.1 (по универсальной классификации переломов AO/ASIF), синтезированных различными видами имплантатов: системой расширяющейся фиксации *Fixion*, аппаратом наружной фиксации, пластинами для накостного остеосинтеза *LC-DCP* и системой блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза (БИОС). Каждая исследуемая система кость–имплантат была подвергнута осевому сжатию на универсальной электромеханической разрывной машине *INSTRON 1185*. В результате проведенного сравнительного анализа резистентности осевому сжатию было выявлено, что любой вид фиксации повышает прочность систем в диапазоне 22–81 % по сравнению с интактными образцами. Наибольшую прочность демонстрировали системы внутрикостной фиксации, что отражает наиболее оптимальные биомеханические взаимоотношения в системе кость–имплантат.

© Минасов Т.Б., Скрябин В.Л., Сотин А.В., Минасов И.Б., Саубанов Р.А., Файзуллин А.А., Вахитов-Ковалевич Р.М., 2020

Минасов Тимур Булатович, д.м.н., профессор кафедры травматологии и ортопедии Института дополнительного профессионального образования, Уфа

Скрябин Владимир Леонидович, к.м.н., врач-травматолог, Пермь

Сотин Александр Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры вычислительной математики, механики и биомеханики, Пермь

Минасов Искандер Булатович, к.м.н., ассистент кафедры медицинской реабилитации и спортивной медицины, Уфа

Саубанов Радмир Амирович, аспирант кафедры травматологии и ортопедии Института дополнительного профессионального образования, Уфа

Файзуллин Аяз Ахтямович, врач травматолог-ортопед, Уфа

Вахитов-Ковалевич Руслан Маратович, аспирант кафедры травматологии и ортопедии Института дополнительного профессионального образования, Уфа

Ключевые слова: переломы большеберцовой кости, остеосинтез, механические свойства, стендовые испытания.

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения крупных сегментов нижних конечностей остаются одной из важных социальных проблем по причине вовлеченности в массовый травматизм пациентов молодого и трудоспособного возраста. Современные принципы хирургического лечения подразумевают выполнение внутренней фиксации при лечении переломов.

Восстановление опороспособности конечности после внутренней фиксации – один из важных параметров стабилизации общего состояния, который позволяет сохранить не только жизнь пациента, но и функцию конечности [1–5]. В соответствии с принципами персонифицированной медицины важное значение придается возможности активных движений в раннем послеоперационном периоде, что обеспечивает оптимальные условия для двигательной реабилитации [6, 7, 14–17].

Однако до настоящего времени не существует единого подхода к выбору режима нагрузки на оперированную конечность, что приводит к эклектичности в подходах у различных специалистов и научных школ. Важное значение для выработки режимов нагрузок в раннем послеоперационном периоде имеют механические свойства систем кость–имплантат [3, 16], однако сведения, имеющиеся в литературе, фрагментарны, и результаты неоднозначны [8–13, 18–20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследованы 4 группы биоманекенов большеберцовой кости в условиях экспериментального повреждения типа 42 A 1.1 по *AO/ASIF*, синтезированных различными видами имплантатов. Группа 1 – блокируемые интрамедуллярные штифты (БИОС), группа 2 – пластины для накостного остеосинтеза *LC-DCP*, группа 3 – аппараты наружной фиксации (АНФ), группа 4 – образцы, синтезированные системой расширяющейся фиксации *Fixion*, контрольная группа 5 – интактные образцы (рис. 1).



Рис. 1. Исследуемые системы

Общее количество изученных образцов составило 15, в том числе 5 интактных, по 3 образца с АНФ и с системой расширяющейся фиксации, по 2 образца с пластиной *LC-DCP* и БИОС. Образцы были подвергнуты осевому сжатию со скоростью 10 мм в минуту на аппарате *INSTRON 1185* (рис. 2) до полного разрушения системы. Количественные параметры резистентности изученных систем к осевому сжатию анализировались от момента компрессии до полного разрушения образцов.

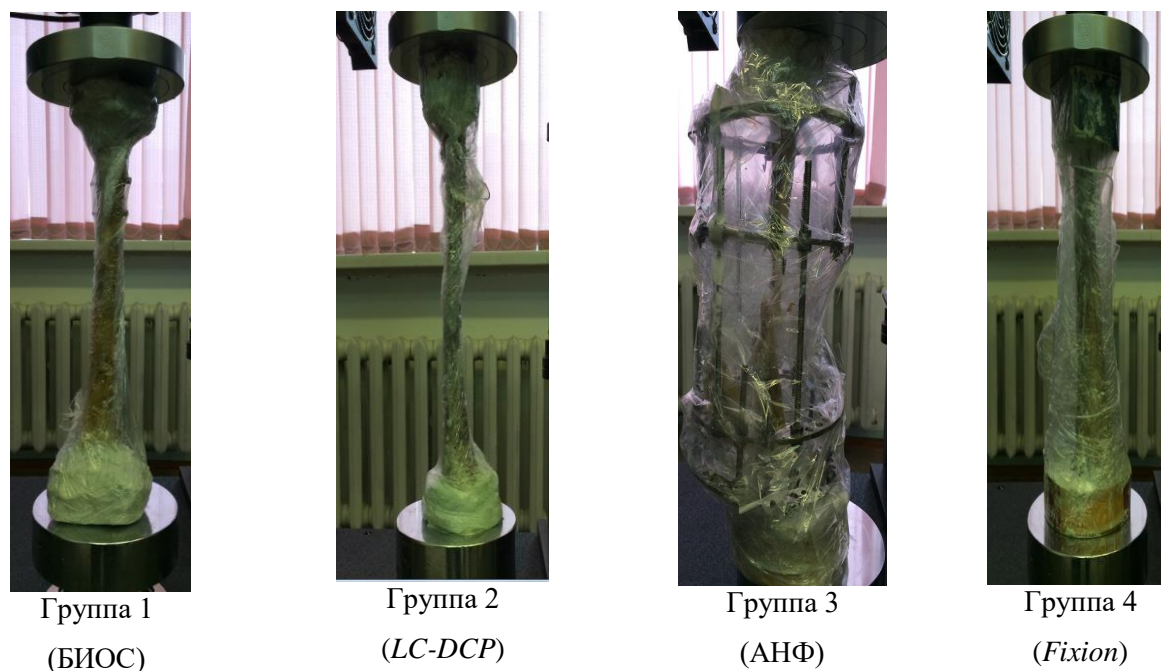


Рис. 2. Расположение систем кость–имплантат на испытательном стенде

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ механических свойств интактных образцов выявил, что сегменты разрушаются при средней нагрузке ($524,73 \pm 48$) кг.

Системы *LC-DCP* разрушались при средних нагрузках до ($584,89 \pm 36$) кг.

Разрушение систем фиксированных интрамедуллярным блокированным штифтом (БИОС) происходило при средней нагрузке ($743,84 \pm 84$) кг.

Системы кость–имплантат с аппаратом внешней фиксации (АНФ) разрушались при нагрузках более ($914,39 \pm 62$) кг.

Наиболее прочными из изученных были образцы, фиксированные системой расширяющейся фиксации (*Fexion*). Данные образцы сохраняли структурную состоятельность при нагрузке до ($1098,21 \pm 71$) кг (рис. 3).

Анализ времени сопротивления приложенной нагрузке выявил наибольшую длительность у систем расширяющейся фиксации *Fexion*, которые оставались стабильными до 275-й секунды эксперимента.

Сопоставимые характеристики отмечены у систем *LC-DCP* и БИОС, которые теряли устойчивость в промежутке времени 240–245 с.

Аппараты наружной фиксации разрушились в среднем на 170-й секунде исследования. Наименее прочными из изученных как по времени, так и по величинам сопротивляемости нагрузке были интактные образцы, которые разрушались в среднем на 62-й секунде.

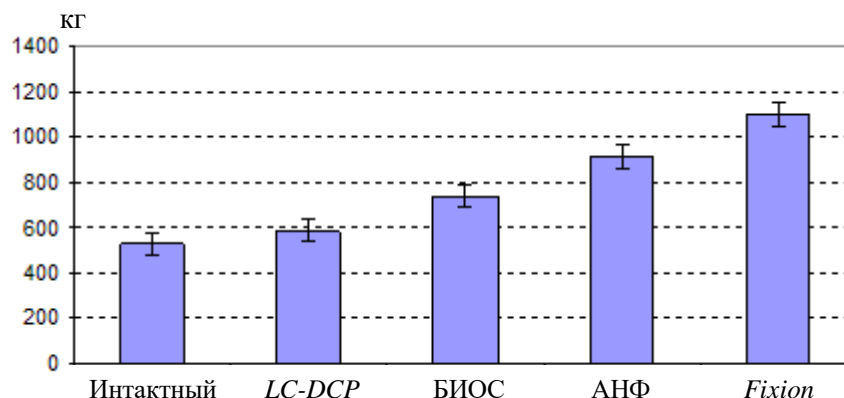


Рис. 3. Прочностные характеристики систем кость–имплантат

Аппараты наружной фиксации демонстрировали линейное повышение резистентности осевому сжатию до 400 кг, после чего коэффициент сопротивления нагрузке увеличивался вплоть до 169-й секунды эксперимента, после чего наблюдался ступенчатый переход в фазу пластической деформации с последующим разрушением системы.

Анализ параметров резистентности осевому сжатию выявил более длительные периоды упругой деформации образцов, фиксированных системами LC-DCP, и интрамедуллярных фиксаторов, которые оставались стабильными в среднем до 250-й секунды эксперимента. Сопротивление осевому сжатию было линейным с двухмоментным переходом в фазу структурной деформации перед разрушением систем (рис. 4).

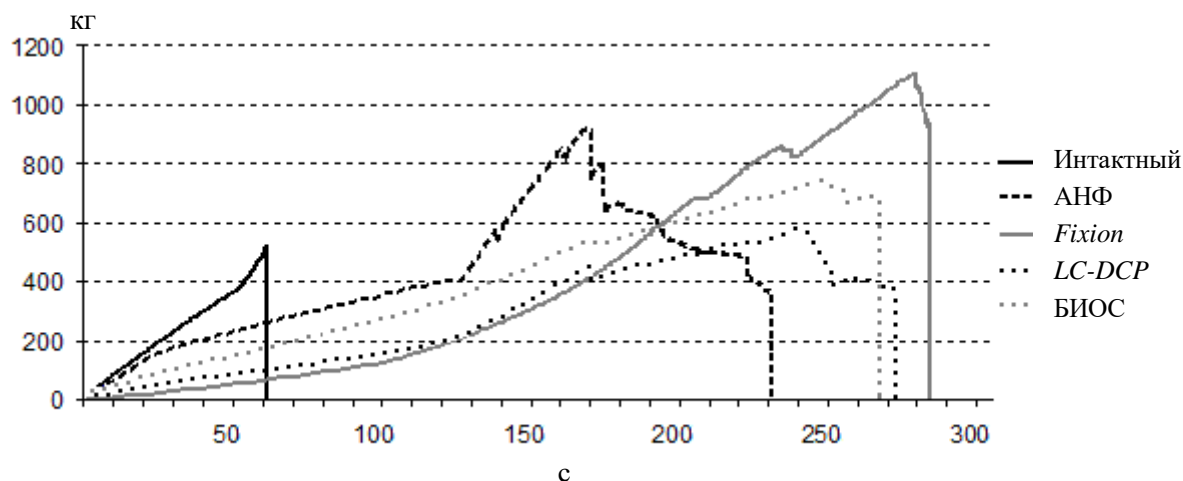


Рис. 4. Параметры резистентности осевому сжатию

Визуальный анализ биоманекенов после эксперимента выявил участки, характерные для разрушения каждой из исследованных систем. В частности, интактные образцы разрушались в области дистального метаэпифизарного хряща либо в зоне «пилона». Системы кость–имплантат с LC-DCP-пластиной разрушались на границе фиксатор–кость, проксимальнее либо дистальнее фиксатора. Образцы, фиксированные АНФ, разрушались на уровне спиц дистального репонирующего кольца. Изученные биоманекены с заблокированными штифтами во всех случаях разрушались в области дистальных блокирующих винтов. Образцы кость–имплантат с системами расширяющейся фиксации разрушались посредством формирования продольного раскола диафиза большеберцовой кости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмечено, что наибольшую прочность обеспечивают системы внутрикостного остеосинтеза. Прочность этих систем в среднем была более чем в два раза выше по сравнению с интактными образцами, а продолжительность периода упругой деформации превышала аналогичный у АНФ и БИОС. Высокая прочность систем при осевом сжатии и продольный раскол диафиза свидетельствовали о равномерном распределении нагрузки на кость.

Таким образом, результаты проведенного сравнительного анализа свидетельствуют о возможности нагрузки весом тела в раннем послеоперационном периоде, поскольку любой вид внутренней фиксации повышает прочность сегмента.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Пермского края.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атманский И.А. Damage Control в системе организации помощи пациентам с политравмой // Травматология: проблемы, инновационные технологии в диагностике и лечении. Медицинская и социальная реабилитация: материалы I Урал. мед. форума, 5–7 окт. 2011 г. – Челябинск, 2011. – С. 29.
2. Бойков В.П. Закрытый интрамедуллярный остеосинтез диафизарных переломов голени. – Чебоксары, 2004. – 180 с.
3. Минасов Т.Б., Ханин М.Ю., Минасов И.Б. Диафизарные переломы большеберцовой кости: заблокированный или расширяющийся гвоздь? // Гений ортопедии: науч. теор. и практ. журн. – 2009. – № 4. – С. 110–113.
4. Сергеев С.В. Происхождение остеосинтеза. Накостный остеосинтез // Остеосинтез. – 2008. – № 1(2). – С. 7–10.
5. Травматология: национальное руководство / под. ред. Г.П. Котельникова, С.П. Миронова. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 808 с.
6. Cheung G., Zalzal P., Bhandari M., Spelt J.K., Papini M. Finite element analysis of a femoral retrograde intramedullary nail subject to gait loading // Med. Engineering & Physics. – 2004. – Vol. 26. – P. 93–108.
7. Davidson J. A cadaveric experimental methodology for performance evaluation of intramedullary nails for femur and tibia // Trends Biomater. Artif. Organs. – 2009. – Vol. 22, no. 1. – P. 1–8.
8. Duda G.N., Heller M., Albinger J., Schulz O., Schneider E., Claes L. Influence of muscle forces on femoral strain distribution // Journal of Biomechanics. – 1998. – Vol. 31. – P. 841–846.
9. Duda G.N., Mandruzzato F., Heller M., Goldhahn J., Moser R., Hehli M., Claes L., Haas N.P. Mechanical boundary conditions of fracture healing: borderline indications in the treatment of unreamed tibial nailing // J. Biomech. – 2001. – Vol. 34, no. 5. – P. 639–650.
10. Harper M.C. Fractures of the femur treated by open and closed intramedullary nailing using fluted rod // Journal of Bone and Joint Surgery. – 1985. – Vol. 67-A. – P. 669–708.
11. Jebaseelan D.D., Mathiarasu N., Sudhakar C.J., Raju N., Samuel D.G.H., Senapathi S.K., Pal S. Finite element analysis: an effective tool for rosthesis design // Trends in Biomaterials Artificial Organs. – 2004. – Vol. 17, no. 2. – P. 141–148.
12. Kessler S.B., Hallfeldt K.K., Perren S.M., Schweiberer L. The effects of reaming and intramedullary nailing on fracture healing // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1986. – Vol. 212. – P. 18–25.
13. Klemm K.W., Borner M. Interlocking nailing of complex fractures of the femur and tibia // Clin. Orthop. Relat. Res. – 1986. – Vol. 212. – P. 89–100.
14. Lepore S., Capuano N., Lepore L., Romano G. Preliminary clinical and radiographic results with the fixation intramedullary nail: an inflatable self-locking system for long bone fractures // J. Orthopaed. Traumatol. – 2000. – Vol. 1, no. 3. – P. 135–140.
15. Minsarov T.B., Gasser J.A., Matveev A.L., Trubin A.R., Gafarov I.R., Minsarov I.B. Possibilities of hip arthroplasty on the background of impaired bone metabolism // IOSR Journal of Dental and Medical Sciences. – 2015. – Vol. 14, no. 6–3. – С. 53–57.
16. Minsarov T.B., Karimov K.K., Aslamov N.N., Gafarov I.R., Minsarov I.B. Morphological features of the proximal hip in women of different age groups according to the x-ray population research // IOSR Journal of Dental and Medical Sciences. – 2014. – Vol. 13, no. 1–9. – P. 59–63.

17. Neiman R., Hazelwood S.J. [et al.]. Strain analysis of the proximal femur after retrograde femoral nailing: a dimensional finite element study // 25th ASB Conference, 22–25 June. – Boston, 2009.
18. Obara T. A biomechanical study on the fracture treatment – intravital measurement of the strain on an intramedullary nail in the healing process of the femoral fracture in goats (author's transl.) // Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi. – 1979. – Vol. 53, no. 2. – P. 199–212.
19. Schneider E., Michel M.C., Genge M., Zuber K., Ganz R., Perren S.M. Loads acting in an intramedullary nail during fracture healing in the human femur // Journal of Biomechanics. – 2001. – Vol. 34, no. 7. – P. 849–857.
20. Sitthiseriratip K., Oosterwyck H. Van, Vander Sloten J., Mahaisavariya B., Bohez E.L., Suwanprateeb J., Audekercke R. Van, Oris P. Finite element study of trochanteric gamma nail for trochanteric fracture // Med. Eng. Phys. – 2003. – Vol. 25, no. 2. – P. 99–106.

THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE SYSTEM BONE–IMPLANT SYSTEMS

T.B. Minasov (Ufa, Russian Federation), V.L. Scriabin, A.V. Sotin (Perm, Russian Federation), I.B. Minasov, R.A. Saubanov, A.A. Fayzullin, R.M. Vakhitov-Kovalevich (Ufa, Russian Federation)

Fractures of the diaphysis of leg bones make up 45 % of all long bone fractures, they are one the most common injuries to the bones of the limb segments, the treatment of which is accompanied by a large number of complications, therefore the problem of improving the treatment of patients with this injury is still relevant for present traumatology and orthopedics. The use of compression distraction systems, intramedullary and extramedullary osteosynthesis systems allows a stable functional osteosynthesis and eliminates the need for additional gypsum immobilization of a segment or limb in the postoperative period. Biomechanical relations in the bone-implant system in conditions of a stable functional osteosynthesis constitute an important factor allowing to objectify the mode of motion rehabilitation in the early postoperative period. This work studies the results of the comparative bench tests of groups of cadaver tibia in experimental injuries of type 42 A 1.1. (according to the Association for Study of Internal Fixation (*AO/ASIF*)) synthesized with different types of implants, such as *Fixion* expanding system of fixation, external fixation devices, limited contact dynamic compression plate (LC-DCP) and blocked intramedullary osteosynthesis system (BIOS)). Each system was axially compressed using *INSTRON* 1185. Resistance to axial compression has been analyzed. It is noted that all these types of fixations increase the strength of the systems in the range of 22–81 % compared to the intact specimens. Intraosseous fixation systems demonstrated the highest strength, which has the most optimal biomechanical relations in the bone-implant system, allowing to objectify the regime of motion rehabilitation.

Key words: tibial fractures, osteosynthesis, mechanical properties, bench tests.

Получено 7 июня 2018