

На правах рукописи

**АГАФОНОВ**  
**Николай Евгеньевич**

**ВЛИЯНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ МОНОЛАТЕРАЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ НА ИСХОДЫ  
ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ОТКРЫТЫМИ  
ДИАФИЗАРНЫМИ ПЕРЕЛОМАМИ КОСТЕЙ ГОЛЕНИ**

**14.01.15 – травматология и ортопедия**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Иркутск – 2012

Работа выполнена на кафедре травматологии, ортопедии и ВПХ с курсом нейрохирургии Иркутского государственного медицинского университета, ФГУЗ ФМБА РФ ЦМСЧ-28 г. Ангарска.

**Научный руководитель:**

доктор медицинских наук,  
профессор

*Виноградов Валентин Георгиевич*

**Официальные оппоненты:**

доктор медицинских наук,  
профессор

*Кувина Валентина Николаевна*

кандидат медицинских наук,  
доцент

*Пусева Марина Эдуардовна*

**Ведущая организация:**

*ГБОУ ВПО Амурская государственная медицинская академия  
Министерства здравоохранения и социального развития РФ  
(г. Благовещенск).*

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета ДМ.208.032.01 при ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Красного Восстания, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет».

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Заслуженный врач РФ,  
доктор медицинских наук



*Желтовский Ю.В.*

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность проблемы

Быстрый рост и высокая степень механизации промышленности, увеличение интенсивности движения всех видов транспорта в последнее время привели не только к росту количества множественных и сочетанных травм, но и к изменению структуры травматизма: увеличилось количество и тяжесть открытых переломов длинных костей конечностей (Каплан А.В., 1976; Челяков В.Н., 1996; Шевцов В.И., 2005). При политравме повреждение конечностей занимает ведущее место, встречаясь более чем у 70 % пострадавших (Бодулин В.В., 1985; Илизаров Г.А., 1987; Анкин Л.Н., 2004; Селезнев С.А., 2004), при этом переломы костей голени возникают у 10–61,6 % пострадавших (Джурко А.Д., 1990; Барабаш А.П., 1995, 1997; Валиев Э.Ю., 1998; Бардеев А.Ю., 1999; Панков И.О., 2000; Реутов А.И., 2000; Сапаев З.Э., 2000; Кадыров Д.К., 2001; Лузянин В.Б., 2002), из которых открытые переломы костей голени составляют более 64,3–77,8 % (Каплан А.В., 1974; Ткаченко С.С., 1980; Никитин Г.Д., 1983; Денисов А.С., 1990; Рынденко В.Г., 1990; Краснов С.А., 1991; Мартель И.И., 1994; Львов Б.М., 1999; Хайдаров Н.И., 2000; Сысенко Ю.М., 2002; Бондаренко А.В., 2003; Семенистый А.Ю., 2003; Швед С.И., 2006).

Открытые диафизарные переломы костей голени осложняются развитием гнойной инфекции в 7,2–63,7 % (Каплан А.В., 1976, 1985; Виноградов В.Г., 2000), при этом частота травматического остеомиелита (Кузин М.И., 1981; Никитин Г.Д., 2000; Эдиев М.С., 2006) колеблется от 5 до 78 %, что определяется тяжестью травмы и качеством оказания помощи.

Неудовлетворительные анатомо-функциональные результаты при оперативном лечении составляют от 2,2 до 43,9 % (Веселов Н.Я., 1989; Барабаш А.П., 1995, 1997; Паратодийл Р., 1999; Камолов Б.Х., 2000; Азизов М.Ж., 2002; Загородный Н.В., 2002; Котенко В.В., 2002; Лузянин В.Б., 2002), деформации сегмента после различных видов остеосинтеза – 15,4–42,5 %, несросшиеся переломы и ложные суставы – 25–58 %, выход на инвалидность происходит в 2–34,9 % случаев (Джурко А.Д., 1990; Коваленко В.А., 1990; Коваленко Н.А., 1990; Костюк А.Н., 1990; Городниченко А.И., 1999; Зверев Е.В., 2000; Илюшина С.И., 2001; Бондаренко А.В., 2002), причинами которых является не только тяжесть повреждений и анатомических особенностей сегмента голени, но и нерациональная компоновка аппаратов внешней фиксации (АВФ) (Соломин Л.Н., 1993; Гиршин С.Г., 2004; Виноградов В.Г., 2008).

Для лечения открытых диафизарных переломов костей голени наиболее перспективным и малотравматичным методом лечения, основывающимся на точной репозиции и стабильной фиксации костных отломков вне зоны перелома, минимальной травматизации внутрикостных сосудов и сосудов мягких тканей, является внеочаговый чрескостный остеосинтез с использованием стержневых

АВФ (Корж А.А., 1987; Анкин Л.Н., 1991; Соломин Л.Н., 1993; Бондаренко А.В., 1998; Валиев Э.Ю., 1998; Лахтиков С.М., 1998; Бейдик О.В., 1999, 2002; Городниченко А.И., 2000; Грязнухин Э.Г., 2000; Корнилов Н.В., 2001; Пичхадзе И.М., 2001; Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е., 2008; Vranic J., 1989; Dendrinis G.R., 1995; Marsh J.L., 1995; Huang S.C., 1997; Bhandari M., 2001).

Предложен широкий спектр методик и АВФ, преимущественно различающихся формой и конструкцией внешней рамы аппарата, но недостаточно детально исследовано влияние жесткости внешней рамы АВФ на стабильность фиксации костных отломков (Соломин Л.Н., 1993; Бейдик О.В., 1999; Городниченко А.И., 1999; Гиршин С.Г., 2004; Виноградов В.Г., 2008).

Существует большое разнообразие методик исследования механических свойств внешней рамы аппаратов, что затрудняет сравнение результатов разных исследователей (Либерман С.Б., 1976; Соломин Л.Н., 1993; Оноприенко Г.А., 1995; Голубев Г.Ш., 1997; Грицанов А.И., 1999; Дубас В.И., 1999; Пусева М.Э., 1999; Барабаш А.П., 2000; Ирьянов Ю.М., 2000; Корнилов Н.В., 2001; Попков Д.А., 2002; Минасов Т.Б., 2008; Bramer J.A., 1998).

Настоящее исследование направлено на систематизацию вклада отдельных элементов и в целом АВФ на стабильность костных отломков при лечении открытых диафизарных переломов костей голени с использованием математического анализа.

### **Цель исследования**

Разработать универсальный аппарат внешней фиксации на основе математического моделирования с применением рациональных вариантов формирования внешней рамы, позволяющий улучшить результаты лечения пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени.

### **Задачи исследования**

1. Провести анализ наиболее характерных осложнений при лечении больных с открытыми диафизарными переломами костей голени с использованием метода чрескостного остеосинтеза.

2. С помощью программного комплекса MSC Nastran создать математическую модель сегмента голени с аппаратом внешней фиксации и показать влияние внешней рамы на стабильность фиксации костных отломков.

3. На основе созданной модели, руководствуясь принципом «необходимого и достаточного», разработать и научно обосновать наиболее рациональные варианты формирования внешней рамы моноклатерального аппарата, обеспечивающие необходимую стабильность костных отломков в АВФ.

4. Выявить клинический эффект применения разработанного варианта формирования внешней рамы АВФ на примере лечения больных с открытыми диафизарными переломами костей голени.

## Научная новизна

С помощью программного комплекса MSC Nastran, расчетная часть которого базируется на методе конечных элементов, произведены расчеты варианта формирования внешней рамы аппарата, повышающей стабильность фиксации костных отломков за счет рационального использования секторов, формы стержней Шанца и количества штанг в подсистеме.

Основываясь на принципе «необходимого и достаточного», достигается возможность использования аппаратов с минимально необходимым количеством элементов внешней рамы без потери качества стабильности костных отломков. Это возможно благодаря замещению колец на сектора 1/3 диаметра, расположенные монолатерально, уменьшению количества штанг в подсистеме, дифференцированного подхода к использованию количества, формы и диаметра стержней.

## Практическая значимость

1. Разработан «Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов, несросшихся переломов» (Патент на изобретение РФ № 2375984), обладающий возможностью трансформироваться из монолатерального в кольцевой путем соединения трех секторов посредством болтов. Секторы толщиной 7 мм из сплава В95 демонстрируют сопоставимые цифры смещений со стандартными стальными кольцами или полукольцами (аппарата Илизарова) толщиной 5 мм. Плотность сплава В95 – около 2,8 г/см<sup>3</sup>, стали – около 7,8 г/см<sup>3</sup>, то есть предлагаемый алюминиевый сплав легче в 2,79 раза. С учетом увеличения толщины на 40 % секторы из В95 будут легче, чем стальные, в 2 раза, что обеспечивает комфорт для больного на период лечения. Уменьшение толщины стальных секторов резко снижает стабильность фиксации костных отломков.

2. Использование существующих рациональных схем введения чрескостных элементов при лечении больных с открытыми или закрытыми диафизарными переломами длинных костей нижних конечностей методом чрескостного остеосинтеза с добавлением измененной формы стержня Шанца повышают стабильность фиксации костных отломков. Так, стержни с утолщением хвостовика менее подвержены деформациям, т.е. стержни диаметром 6 мм и с утолщением хвостовика до 8 мм дают меньшие деформации, чем стержни с ровным диаметром в 6 мм.

3. Вклад стальных штанг (с резьбой М6) в смещение в месте перелома при действии сил по осям составляет от 14,6 до 56,5 %. По мере увеличения диаметра штанги смещения пропорционально уменьшаются. Уменьшение диаметра штанги увеличивает смещение в разы, что показательно при применении штанг из несоответствующих материалов.

4. Проведенный математический анализ АВФ обеспечивает повышение стабильности фиксации костных отломков и способствует снижению воспа-

лительных процессов на 22,5 %, деформаций, вторичных смещений костных фрагментов – на 23,3 %, контрактур смежных суставов – на 38,5 %, замедленной консолидации – на 27,1 %.

### **Реализация результатов исследования**

Разработанные схемы конструирования внешней рамы АВФ внедрены в работу отделений травматологии Городской клинической больницы № 3 г. Иркутска, отделения травматологии ЦМСЧ-28 г. Ангарска, МСЧ ИАПО г. Иркутска. Полученные результаты исследования используются при обучении врачей постдипломной подготовки на кафедре травматологии, ортопедии и ВПХ с курсом нейрохирургии ИГМУ.

### **Апробация работы**

1. Доклад на II научно-практической конференции молодых ученых Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, посвященной 11-летию со дня образования Научного центра реконструктивной и восстановительной хирургии ВСНЦ СО РАМН (Иркутск, 2010), отмечен дипломом I степени.

2. Доклад на III Итоговой конференции молодых ученых ИГМУ (Иркутск, 2011), отмечен дипломом I степени.

3. Доклад на научно-практической конференции «Актуальные вопросы травматологии, ортопедии и хирургии», посвященной 65-летию Иркутского Института травматологии и ортопедии (Иркутск, 2011).

### **Стеновые доклады**

1. Выставка «Сибздравоохранение» (Иркутск, 2005). Представленные разработки отмечены медалью Сибздравоохранение-2005.

2. Выставка «Сибздравоохранение» (Иркутск, 2006). Представленные разработки отмечены Дипломом I степени.

3. Выставка инновационных технологий в г. Маньчжурия (КНР) (Маньчжурия, Китай, 2005).

4. Выставка инновационных технологий в г. Шеньян (КНР) (Шеньян, Китай, 2006).

5. Выставка «Сибздравоохранение» (Иркутск, 2007). Представленные разработки отмечены дипломом I степени Сибздравоохранение-2007.

6. Выставка инновационных технологий в г. Шеньян (КНР) (Шеньян, Китай, 2007).

7. Выставка с международным участием «Обеспечение безопасности жизни» (Иркутск, 2007). Представленные разработки отмечены медалью выставки.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликовано 19 статей, в том числе публикаций в журналах, рекомендованных ВАК, – 5. Разработан «Аппарат внешней

фиксации для лечения переломов, ложных суставов, несросшихся переломов костей» (патент на изобретение РФ № 2375984 (2010 год)).

### **Положения, выносимые на защиту**

1. При изучении стабильности фиксации костных отломков с помощью программного комплекса MSC.Nastran, расчетная часть которого базируется на методе конечных элементов, установлено, что при нагрузке 500 Н суммарное смещение костных отломков по осям X, Y, Z в предлагаемых стержневых аппаратах зависит в первую очередь от секторов (76,1 %), стержней (33,1 %) и штанг (14,6 %), составляет не более 2 мм, что не противоречит законам репаративной регенерации костной ткани.

2. Использование стержневых аппаратов внешней фиксации, сконструированных на основе предложенных рациональных схем формирования внешней рамы, при лечении открытых диафизарных переломов костей голени способствует снижению воспалительных процессов на 22,5 %, деформаций, вторичных смещений костных отломков – на 23,3 %, контрактур смежных суставов – на 38,5 %, замедленной консолидации – на 27,1 %.

### **Объем и структура диссертации**

Диссертация изложена на 141 странице машинописного текста, состоит из оглавления, списка сокращений, введения, обзора литературы, 5 глав с изложением собственных исследований, выводов, практических рекомендаций, заключения, списка литературы. Текст иллюстрирован 40 рисунками, 65 таблицами. Список литературы включает 208 источников, из них 169 на русском языке и 39 – на иностранных языках.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Материал и методы исследования**

#### ***Общая характеристика группы клинического сравнения***

В работу включены результаты лечения 104 пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени методом чрескостного остеосинтеза, проходивших стационарное лечение в ГКБ № 3, МСЧ ИАПО г. Иркутска и ЦМСЧ-28 г. Ангарска. Все пациенты разделены на группу клинического сравнения (74 пациента) и основную группу (30 пациентов).

В группу клинического сравнения вошли пациенты, при лечении которых применялись как спицевые, так и комбинированные АВФ. В основную группу вошли пациенты, в лечении которых применялись стержневые АВФ, разработанные на основе метода компьютерного моделирования.

Открытые диафизарные переломы костей голени в группе клинического сравнения чаще наблюдались у мужчин (61 (82,5 %) человек), в возрастных

группах: 31–40 лет – у 26 (35,1 %), 21–30 лет – у 13 (17,6%), 41–50 лет – у 9 (12,2 %). Среди женщин открытые диафизарные переломы костей голени в группе клинического сравнения наблюдались в 13 (17,5 %) случаях, в возрастных группах 21–30 и 31 – 40 лет – у 8 (10,8 %). Открытые диафизарные переломы костей голени в группе клинического сравнения преобладали у рабочих промышленных предприятий (31 (41,9 %) случай), временно безработных (23 (31,1 %)), у 65 (87,6 %) городских жителей и 9 (12,2 %) сельских жителей. В группе клинического сравнения было 48 (64,9 %) пациентов с монотравмой, находящихся в следующих возрастных группах: 31–40 лет – 20 (27 %) человек, 21–30 и 41–50 лет – по 8 (10,8 %); сочетанная травма встречалась у 18 (24,3 %) пациентов в возрастных группах 21–30 и 31–40 лет – по 6 (8,1 %); множественная травма встречалась у 8 (10,8 %) пациентов в возрастных группах 31–40 лет – у 4 (5,4 %) и 21–30 лет – у 3 (4,1 %). В большинстве случаев травмы получены в результате дорожно-транспортных происшествий – 39 (52,7 %) случаев, в быту – 25 (33,8 %) случаев и на производстве – 10 (13,5 %) случаев. Наиболее часто в группе клинического сравнения встречались оскольчатые (44 (59,5 %) случаев) и винтообразные (20 (27 %) случаев) переломы, локализующиеся в большинстве своем в средней (44 (59,5 %) случая) и нижней (22 (29,7 %) случая) трети голени. Согласно классификации А.В. Каплана – О.В. Марковой, в группе клинического сравнения повреждения II типа встречались у 37 (50 %) пациентов, I типа – у 24 (32,4 %) пациентов, III типа – у 13 (17,6 %) пациентов. По степеням пациенты распределились следующим образом: Б – 36 (48,7 %), А – 31 (41,9 %), В – 7 (9,5 %) случаев. Наиболее часто в группе клинического сравнения встречались открытые диафизарные переломы костей голени ПБ и IA с локализацией в средней трети диафиза – 11 (14,9 %) и 10 (13,5 %) случаев соответственно; IA и ПБ с локализацией в нижней трети диафиза – по 7 (9,5 %) случаев и ПА и ПБ с локализацией в средней трети диафиза – по 6 (8,1 %) случаев. Наиболее часто среди сопутствующих повреждений в группе клинического сравнения встречались черепно-мозговая травма (16 (21,6 %) случаев) и переломы костей нижних конечностей (7 (9,5 %) случаев), осложненные у 8 (10,8 %) пациентов шоком и у 2 (2,7 %) жировой эмболией. Среди сопутствующих заболеваний чаще других встречалась гипертоническая болезнь – 5 (6,8 %) случаев. В группе клинического сравнения спицевые аппараты внешней фиксации применялись у 66 (89,2 %) пациентов, комбинированные – у 8 (10,8 %).

### ***Осложнения при лечении пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени в группе клинического сравнения***

Наиболее часто среди воспалительных осложнений у пациентов с монотравмой встречались: воспаление, нагноение мягких тканей вокруг чрескостных элементов – 17 (35,4 %) случаев, лимфопатическая недостаточность – 3 (6,3 %) случая, флеботромбоз – 3 (6,3 %) случая, остеомиелит – 3 (6,3 %) случая. У пациентов с политравмой встречались: воспаление, нагноение мягких тканей

вокруг чрескостных элементов – 12 (46,2 %) случаев, остеомиелит – 4 (15,4 %) случая, флелотромбоз – 3 (11,8 %) случая. Первичное заживление ран чаще всего наблюдалось у пациентов с IA – 16 случаев, ПБ – 13 случаев, ПА – 10 случаев. Вторичное заживление ран чаще встречалось у пациентов с ПБ – 9 случаев, ПБ – 6 случаев. Краевые некрозы чаще встречались у пациентов с ПБ – 4 случая, ПБ – 4 случая. Катетеризация нижней надчревной артерии выполнялась у пациентов с ПБ – 1 случай, ПБ – 1 случай. Средний срок фиксации в АВФ у пациентов с монотравмой составил 27,5 недель, у пациентов с политравмой – 30,4 недели. Замедленная консолидация выявлена у 13 (27,1 %) пациентов с монотравмой, у 6 (23,1 %) – с политравмой. Ложные суставы выявлены у 2 (7,7 %) пациентов с политравмой. У пациентов с монотравмой деформации, вторичное смещение встречались в 14 (29,2 %) случаях, контрактуры смежных суставов – в 10 (20,8 %), рефрактуры – у 1 (2,1 %) пациента. У пациентов с политравмой чаще всего встречались контрактуры смежных суставов – 12 (46,2 %) случаев, деформации и вторичное смещение встречались у 4 (15,4 %). В качестве повторной фиксации у больных с монотравмой и политравмой чаще других применялись гипсовые повязки – 9 (18,8 %) и 13 (50 %) случаев соответственно, закрытый внеочаговый остеосинтез применялся у 1 (2,1 %) и 2 (7,7 %) пациентов соответственно.

Общий койко-день у пациентов с монотравмой составил 23,5, у пациентов с политравмой – 27,9 дней. Предоперационный койко-день у пациентов с монотравмой составил 8,9, с политравмой – 10,1. Послеоперационный койко-день у пациентов с монотравмой составил 14,1, с политравмой – 18,6. В группе клинического сравнения 7 (9,5 %) пациентов получили группу инвалидности. Средние сроки нетрудоспособности у пациентов с монотравмой составили 225 дней, с политравмой – 254 дня.

### ***Методы исследования***

1. Клиническое обследование пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени.
2. Рентгенологический метод.
3. Компьютерное моделирование АВФ с помощью программного комплекса MSC.Nastran, основанное на методе конечных элементов.
4. Статистический метод.

### **Собственные методы исследования и лечения**

#### ***Экспериментальное исследование***

При анализе полученных результатов лечения пациентов группы клинического сравнения с применением спицевых и комбинированных (в спицевые подсистемы добавлены стержни) АВФ выявлено: воспаление, нагноение мягких тканей вокруг чрескостных элементов – 39,2 %, контрактуры смежных суставов – 29,7 %, замедленная консолидация – 25,7 %, деформации, вторичное смещение – 24,3 % случаев.

Таким образом, задачей нашего исследования стало получение с помощью программного комплекса MSC.Nastran, базирующегося на МКЭ, математической модели АВФ. При этом данная модель, согласно принципу «необходимого и достаточного», должна иметь минимально необходимое количество чрескостных фиксаторов и прочих деталей с определением наибольшего вклада в смещение костных отломков отдельных элементов системы, а также она должна иметь минимальные размеры и массу, способствуя снижению травматичности метода, облегчению аппарата, повышению клинической эффективности и переносимости метода чрескостного остеосинтеза пациентами. На основе математической модели необходимо разработать и научно обосновать наиболее рациональные варианты формирования внешней рамы, доказать обоснованность использования секторов из сплава В95, стержней Шанца с утолщенным хвостовиком, а также необходимость увеличения количество штанг между подсистемами, что обеспечивает стабильность фиксации костных отломков в АВФ. Показана клиническая эффективность при применении разработанного варианта формирования внешней рамы АВФ на примере лечения 30 пациентов основной группы с открытыми диафизарными переломами костей голени.

### ***Основные положения эксперимента***

Дискретизация стержневых конструкций проводилась с использованием линейных конечных элементов типа «beam». Костный отломок моделировался трубчатым стержнем с наружным диаметром 20 мм, внутренним диаметром 14 мм, длиной 125 мм, количество конечных элементов – 23. Стальные стержни имели диаметр 5, 6, 7 мм, длину 70 мм, количество конечных элементов – 13. В моделях использовалось два типа материалов деформируемой среды: сталь ( $E = 190000 \text{ МПа}$ ;  $\mu = 0,27$ ) и кость ( $E = 21000 \text{ МПа}$ ;  $\mu = 0,3$ ) ( $E$  – модуль упругости Юнга;  $\mu$  – коэффициент поперечной деформации Пуассона).

Была принята к исследованию модель подсистемы АВФ для фиксации для одного отломка, содержащая в качестве фиксирующих элементов по три чрескостных стержня с вариантами введения схеме 60-90-5, что является наиболее рациональным вариантом, обеспечивающим высокую стабильность фиксации костных отломков.

Закрепление стержней в костном отломке принималось жестким, на свободных концах стержней также устанавливались жесткие опорные узлы.

Нагрузка прикладывалась на конец костного отломка – в «месте перелома». В качестве внешней нагрузки рассматривались три силовых фактора по 500 Н, действующих в пространственной системе координат X, Y, Z (ось X направлена по продольной оси костного отломка). В ходе исследования определялись линейные смещения центра тяжести сечения костного отломка в месте перелома (точка A) по осям X, Y, Z отдельно под действием каждого силового фактора. Возникающие при действии каждой силы деформации в месте перелома разложены на проекции по трём осям (X, Y, Z). Смещения более 2 мм считались значительными.

## Результаты экспериментального исследования

Влияние отдельных элементов конструкции АВФ на стабильность фиксации костных отломков при поочередном введении параметров абсолютной жесткости элементов аппарата (принятых за 100 Е)

При поочередном введении параметров, увеличивающих отдельные элементы аппарата внешней фиксации в 100 раз, необходимо отметить, что наибольший вклад в смещение вносят стержни (52,8 %), сектора (52,5 %) и штанги (41 %). При воздействии сил  $F_x = 500$  Н на место перелома величина смещения по оси X при использовании стандартного стального сектора по сравнению с сектором из сплава В95 одинаковой толщины уменьшает смещение на 25,1 %, полное смещение при этом составляет 1,17 мм вместо 1,56 мм.

Таблица 1

Проекция смещений по оси X

От действия $F_x$	Полное смещение		Вклад в смещение
	мм	%	
Исходный	1,5611	100	–
Сектор – сталь	1,17	74,9	–25,1 %
Вся модель – 100 Е	0,01591	1	–99 %
Кость – 100 Е	1,56991	100,6	+0,6 %
Штанга – 100Е	0,9066	58,1	–41,9 %
Стержень – 100 Е	0,737	47,2	–52,8 %
Сектор – 100 Е	0,742	47,5	–52,5 %
6 штанг	2,0237	129,6	+29,6 %
Rigid – rigid	1,2621	80,8	–19,2 %

Подобная картина отмечена при воздействии по осям Y и Z. Выявлено, что наибольший вклад в смещение костных отломков вносят стержни (76,1 %), сектора (33,1 %) и штанги (14,6 %).

Стержни с большим диаметром менее подвержены деформациям, т.е. стержни диаметром 6 мм дают меньшие деформации, чем стержни диаметром 5 мм. Дальнейшее увеличение диаметра стержня по сравнению со стержнем 6 мм оказывает влияние на жесткость модели, но повышает травматичность операции.

В целом вклад стержней в жесткость системы очень большой: 53–76 % – для стержней диаметром 5 мм и 40–63 % – для стержней диаметром 6 мм. Выигрыш по смещениям при увеличении диаметра стержня от 5 до 6 мм – 26–53 % при действии сил по разным осям.

Стержни с большим диаметром и утолщением хвостовика менее подвержены деформациям, т.е. стержни диаметром 6 мм и с утолщением хвостовика 8 мм дают меньшие деформации, чем стержни диаметром 5 мм. Но по сравнению со стержнями диаметром 6 мм утолщение хвостовика на 2 мм незначительно уменьшает смещение. Рассматривалось условие, что утолщается 2 см стержня, начиная от места крепления.

Секторы толщиной 7 мм из сплава В95 демонстрируют сопоставимые цифры смещений со стандартными стальными секторами толщиной 5 мм. Плотность сплава В95 – около 2,8 г/см<sup>3</sup>, стали – около 7,8 г/см<sup>3</sup>, то есть предлагаемый алюминиевый сплав легче в 2,79 раза. С учетом увеличения толщины на 40 % секторы из В95 будут легче, чем стальные, в 2 раза. Уменьшение толщины стальных секторов резко увеличивает смещения.

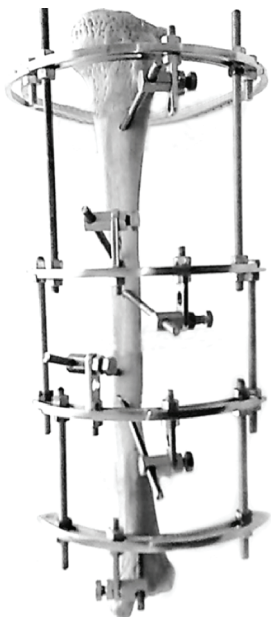
Замена стальных секторов на сектора из В95 той же толщины увеличивает смещения на 18–33 %. При условии, что все части модели будут из материала 100 Е, деформации уменьшаются на 99 %. Если кость практически недеформируемая, то смещения увеличиваются до 24,1 % (особенно при действии силы  $F_y$ ). Удаление 1 штанги (между подсистемами) приводит к увеличению подвижности при действии сил  $F_y$  и  $F_z$ . Позиция «rigid – rigid» демонстрирует зависимость жесткости модели от степени затяжки соединений (17–21 % при абсолютно жесткой фиксации стержней). По результатам, полученным при замене материала деталей на 100 Е, можно судить о вкладе данной детали в общее смещение (наибольшая доля у стержней и секторов).

По мере увеличения диаметра штанги смещения пропорционально уменьшаются. Уменьшение диаметра штанги увеличивает смещение в разы, что показательно при применении штанг из несоответствующих материалов. Вклад стальных штанг с резьбой М6 в смещение в месте перелома у данной модели при действии сил по осям X, Y, Z составляет 0,468 мм (14,6 %), 1,39 мм (56,5 %) и 0,65 мм (41,9 %) соответственно.

### **Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов и несросшихся переломов костей\***

\* Патент на изобретение № 2297805 (авторы – В.Г. Виноградов, Н.Е. Агафонов, Е.А. Халиман, Б.В. Ивлев, И.А. Кобелев)

Для достижения возможности использования аппаратов с минимально необходимым количеством чрескостных фиксаторов и прочих деталей, с минимальными размерами и массой, согласно принципу «необходимого и достаточного», способствующему снижению травматичности метода, облегчению аппаратов, повышению клинической эффективности и переносимости метода чрескостного остеосинтеза, нами разработан и внедрен в клиническую практику «Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов и несросшихся переломов костей» (рис. 1).



**Рис. 1.** Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов и несросшихся переломов костей.

АВФ содержит две подсистемы, соединенные резьбовыми штангами, при этом каждая подсистема состоит из секторов  $1/3$  окружности с выполненными пазами на конце для соединения между собой в подсистему резьбовыми штангами с возможностью трансформации в кольцо путем объединения 3 секторов.

### **Общая характеристика основной группы с применением АВФ, разработанного на основе компьютерного моделирования**

Аналогичные повреждения в основной группе чаще наблюдались у мужчин – 24 (80 %) пациента, в возрастных группах: 31–40 лет – у 8 (26,7 %), 21–30 лет – у 7 (23,3 %), 41–50 лет – у 5 (16,7 %) пациентов. Среди женщин открытые диафизарные переломы костей голени в основной группе наблюдались в 6 (20 %) случаях, в возрастных группах: 51–60 – у 3 (10 %), 41–50 лет – у 2 (6,7 %). Открытые диафизарные переломы костей голени в основной группе преобладали у рабочих промышленных предприятий (18 (60 %) случаев) и временно безработных (7 (23,3 %) случаев), у 25 (83,3 %) городских и 5 (16,7 %) сельских жителей. В большинстве случаев травмы получены в дорожно-транспортных происшествиях (15 (50 %) случаев), в быту (10 (33,3 %) случаев) и на производстве (5 (16,7 %) случаев). Наиболее часто в основной группе встречались оскольчатые (20 (66,7 %) случаев) и винтообразные (6 (20 %) случаев) переломы, локализующиеся в большинстве своем в средней

(17 (56,7 %) случаев) и нижней (11 (36,7 %) случаев) трети голени. Согласно классификации А.В. Каплана – О.В. Марковой, в основной группе повреждения II типа встречались у 14 (46,7 %) пациентов, I типа – у 8 (26,7 %), III типа – у 7 (23,3 %), IV типа – у 1 (3,3 %). По степеням пациенты распределились следующим образом: Б – 19 (63,3 %), А – 10 (33,3 %), В – 1 (3,3 %) человек. Наиболее часто в основной группе встречались открытые диафизарные переломы костей голени ПБ и ПШБ с локализацией в нижней трети диафиза – 5 (16,7 %) и 3 (10 %) случая соответственно; ПБ, ПА, IA и ПШБ с локализацией в средней трети диафиза – 4 (13,3 %), 3 (10 %), 3 (10 %) и 3 (10 %) случая соответственно; IA и ПБ с локализацией в верхней трети диафиза – по 1 (3,3 %) случаю. Среди сопутствующих повреждений в основной группе встречались черепно-мозговая травма (6 (20 %) случаев), переломы костей нижних конечностей (5 (16,7 %) случаев), переломы ребер ( $\pm$  пневмоторакс) (5 (16,7 %) случаев), осложненные у 4 (13,3 %) пациентов шоком и у 1 (3,3 %) – жировой эмболией. Среди сопутствующих заболеваний в основной группе чаще других встречалась гипертоническая болезнь – 3 (10 %) случая. В основной группе практически в одинаковой степени применялись стержневые и комбинированные аппараты внешней фиксации – 14 (46,7 %) и 16 (53,3 %) случаев соответственно.

Наиболее часто среди воспалительных осложнений у пациентов с монотравмой встречались: воспаление, нагноение мягких тканей вокруг чрескостных элементов – 1 (5,9 %) случаев, остеомиелит – 1 (5,9 %) случаев. У пациентов с политравмой встречались: воспаление, нагноение мягких тканей вокруг чрескостных элементов – у 4 (30,8 %), флеботромбоз – у 1 (7,7 %). Первичное заживление чаще всего наблюдалось у пациентов с ПБ – 7 случаев, IA – 5, ПА – 3, ПШБ – 3, ПВ – 1. Вторичное заживление чаще встречалось у пациентов с ПБ – 3 случая, ПШБ – 2. Краевые некрозы чаще встречались у пациентов с ПШБ – 3, ПБ – 2. Катетеризация нижней надчревной артерии, нисходящей артерии коленного сустава выполнялась у пациентов с ПШБ – 2 случая, ПШВ – 1, ПБ – 1, IVA – 1. Средний срок фиксации в АВФ у пациентов с монотравмой составил 25,7 неделю, у пациентов с политравмой – 30,1 недели. Замедленная консолидация выявлена у 3 (23,1 %) пациентов с политравмой, ложный сустав – у 1 (5,9 %) пациента с монотравмой. У 3 (17,6 %) пациентов с монотравмой контрактуры смежных суставов встречались деформации, вторичное смещение – у 1 (5,9 %). У пациентов с политравмой чаще всего встречались деформации, вторичное смещение – 2 (15,4 %) случая, контрактуры смежных суставов – 1 (7,7 %) случай, рефрактуры – 1 (7,7 %) случай. В качестве повторной фиксации у больных с политравмой использовался закрытый внеочаговый остеосинтез – 2 (15,4 %) случая, с монотравмой – гипсовая повязка – у 1 (5,9 %).

Общий койко-день у пациентов с монотравмой составил 22,1, у пациентов с политравмой – 24,3 дней. Предоперационный койко-день у пациентов с монотравмой составил 7,4, с политравмой – 6,6. Послеоперационный койко-день у па-

циентов с монотравмой составил 13,1, с политравмой – 16,9. В основной группе 2 пациента получили группу инвалидности. Средние сроки нетрудоспособности у пациентов с монотравмой составили 211 дней, с политравмой – 246 дней.

При сопоставлении двух групп значимых различий по полу, возрасту, обстоятельствам травмы не выявлено. Обнаружены значимые различия в тяжести повреждений по шкале ВПХ-П (МТ) (1999), индексы тяжести повреждений несколько выше в основной группе. Данные различия не противоречат поставленным целям и задачам исследования.

### **Сравнительный анализ результатов лечения пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени группы клинического сравнения с основной группой**

При сравнительной оценке результатов лечения пациентов группы клинического сравнения и основной группы методом чрескостного остеосинтеза с применением статистического анализа показателей обращает на себя внимание значительный разброс показателей развития воспалительного процесса от 16,7 % в основной группе до 39,2 % в группе клинического сравнения ( $P = 0,047$ ).

Замедленная консолидация у пациентов с монотравмой в группе клинического сравнения встречалась в 27,1 % случаев, у аналогичной категории пациентов в основной группе таких случаев не было ( $P = 0,04$ ), деформации, вторичное смещения у пациентов с монотравмой в группе клинического сравнения встречались в 29,2 % случаев, у аналогичной категории пациентов в основной группе – в 5,9 % ( $P = 0,1$  – результат, близкий к значимым), вторичная фиксация в виде гипсовой повязки у пациентов с политравмой в группе клинического сравнения была выбрана у 50 %, у данной категории пациентов основной группы вторичной фиксации не было ( $P = 0,06$ ), что подтверждает достаточную стабильность и жесткость предлагаемого метода фиксации костных отломков в раме аппарата внешней фиксации – это в свою очередь необходимое условие для консолидации перелома, а также отсутствует необходимость вторичной фиксации в гипсовой повязке.

Контрактуры смежных суставов у пациентов с политравмой в группе клинического сравнения встречались у 46,2 %, у аналогичной категории пациентов в основной группе – у 7,7 % ( $P = 0,04$ ), что подтверждает влияние жесткости внешней рамы аппарата на раннюю активизацию и разработку смежных суставов, а также на переносимость метода чрескостного остеосинтеза пациентами.

Вторичное заживление ран у пациентов с монотравмой в группе клинического сравнения наблюдалось у 33,3 %, у аналогичной категории пациентов в основной группе вторичного заживления ран не было ( $P = 0,05$ ). Предоперационный койко-день у пациентов с политравмой в группе клинического сравнения составил 10,1, у аналогичной категории пациентов в основной группе он составил 6,6 ( $P = 0,012$ ).

## ВЫВОДЫ

1. Анализ наиболее характерных осложнений при лечении больных с открытыми диафизарными переломами костей голени с использованием метода чрескостного остеосинтеза показал: нагноение мягких тканей вокруг чрескостных элементов – в 39,2 % случаев, лимфовенозную недостаточность – в 5,4 % случаев, остеомиелит – в 6,8 % случаев, замедленную консолидацию – в 25,7 % случаев, ложные суставы – в 2,7 % случаев, контрактуры смежных суставов – в 29,7 % случаев, деформации, вторичное смещение – в 24,3 % случаев, что соответствует литературным данным.

2. На основании исследования с помощью программного комплекса MSC. Nastran, расчетная часть которого базируется на методе конечных элементов, создана математическая модель аппарата внешней фиксации. При этом было выявлено, что наибольший вклад в смещение костных отломков вносят стержни (76,1 %), сектора (33,1 %) и штанги (14,6 %).

3. На основе математической модели разработаны и научно обоснованы наиболее рациональные варианты формирования внешней рамы, включающей сектора 1/3 диаметра с вариантами трансформации монологатерального стержневого аппарата в кольцевой, обосновано использование секторов из сплава В95, стержней с утолщенным хвостовиком, а также показана необходимость увеличения количества штанг между подсистемами, обеспечивая стабильность фиксации костных отломков в АВФ.

4. Клиническая эффективность при применении разработанного варианта формирования внешней рамы АВФ на примере лечения пациентов с открытыми диафизарными переломами костей голени, разработанных на основе компьютерного моделирования, выражается в снижении воспалительных процессов на 22,5 %, деформаций, вторичных смещений костных фрагментов – на 23,3 %, контрактур смежных суставов – на 38,5 %, замедленной консолидации – на 27,1 %.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При лечении больных с открытыми диафизарными переломами костей голени наиболее рационально формирование монологатеральной внешней рамы, состоящей из секторов 1/3 диаметра с вариантами трансформации в кольцевую раму, за счет пазов на концах секторов. Этим достигается перевод монологатерального стержневого аппарата в кольцевой аппарат, что важно для репозиции костных отломков при переломах различной локализации и степени смещения, застарелых переломах, ложных суставах и замещениях дефектов костной ткани. По окончании репозиции и при удовлетворительном стоянии отломков возможен демонтаж кольца с оставлением сектора и с сохранением при этом жесткости внешней рамы и механических свойств аппарата.

2. Рационально применение секторов толщиной 7 мм из сплава В95, демонстрирующих сопоставимые цифры смещений со стандартными стальными секторами толщиной 5 мм, при этом с учетом увеличения толщины на 40 %, секторы из В95 будут легче, чем стальные, в 2 раза.

3. Наиболее эффективно применение стержней диаметром 6 мм и стержней с утолщением хвостовика 8 мм, дающих меньшие деформации, чем стержни диаметром 5 мм. Но по сравнению со стержнями диаметром 6 мм, утолщение хвостовика на 2 мм незначительно уменьшает смещение. Дальнейшее увеличение диаметра стержня по сравнению со стержнем 6 мм оказывает влияние на жесткость модели, но повышает травматичность операции.

4. Целесообразно увеличение числа штанг между подсистемами с уменьшением при этом количества штанг в подсистемах и сохранением жесткости внешней рамы аппарата. По мере увеличения диаметра штанг смещения пропорционально уменьшаются.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Статьи в журналах, рекомендованных ВАК Минобразования и науки РФ**

1. Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е., Халиман Е.А. Исследование напряженно-деформированных состояний системы «поврежденный костный сегмент – аппарат внешней фиксации» с помощью программного комплекса конечно-элементного анализа на этапе формирования внешней рамы // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 2010. – № 5. – С. 167–170.

2. Каплун В.А., Зайцев Н.М., Кутков А.А., Агафонов Н.Е. Применение стягивающих скоб с эффектом памяти формы в сочетании с интрамедуллярным остеосинтезом // Вестн. Новосибирского государственного университета. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского государственного университета, 2010. – № 8. – С. 132–138.

3. Сытин Л.В., Цыганов А.А., Агафонов Н.Е., Петряков М.Н. и др. Методы восстановительного хирургического лечения больных с дефектами и ложными суставами бедра // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – № 1. – С. 82–85.

4. Сытин Л.В., Цыганов А.А., Агафонов Н.Е., Петряков М.Н. и др. Сравнительный анализ хирургических методов лечения пронационных и супинационных переломов дистального сегмента кости голени // Сибирский медицинский журнал. – 2011. – № 2. – С. 49–54.

5. Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е. Влияние стабильности аппарата внешней фиксации на исходы лечения открытых диафизарных переломов костей голени // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 2011. – № 4 (80), Ч. 1. – С. 242–245.

## Прочие работы

6. Виноградов В.Г., Цыганов А.А., Агафонов Н.Е., Халиман Е.А. и др. Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов, несросшихся переломов костей // Медицина экстремальных ситуаций. – 2010. – № 3 (33). – С. 74–76.

7. Агафонов Н.Е. Влияние вазоактивной терапии на микроциркуляторные изменения, возникающие при переломах костей голени (по данным ГКБ № 3 г. Иркутска за 2000 год) // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2003. – № 2 (28). – С. 36.

8. Мункожаргалов Б.Э., Агафонов Н.Е. Лечение открытых переломов длинных костей нижних конечностей // Актуальные вопросы экстренной медицинской помощи: матер. VI научно-практической конференции. – Иркутск, 2004. – С. 29–31.

9. Мункожаргалов Б.Э., Агафонов Н.Е. Эпидемиология открытых переломов длинных костей конечностей // Актуальные вопросы экстренной медицинской помощи: матер. VI научно-практической конференции. – Иркутск, 2004. – С. 33–34.

10. Виноградов В.Г., Мункожаргалов Б.Э., Агафонов Н.Е., Жемердеева Н.И. и др. Эпидемиологические аспекты открытых переломов длинных костей конечностей // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – № 3 (41). – С. 144–145.

11. Мункожаргалов Б.Э., Очиров А.М., Домашевский В.А., Агафонов Н.Е. Ближайшие результаты лечения открытых переломов длинных костей нижних конечностей // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – № 3 (41). – С. 153–154.

12. Виноградов В.Г., Житницкий Р.Е., Шапурма Д.Г., Бутуханов В.В., Ипполитова Е.Г., Данилов Д.Г., Агафонов Н.Е. Сравнительная оценка методов оптимизации репаративной регенерации послеоперационных костных полостей в лечении хронического остеомелита конечностей // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2005. – № 3 (41). – С. 214–215.

13. Vinogradov V.G., Agafonov N.E., Khaliman E.A., Ivlev V.V. A device for treatment of bone fractures, Pseudarthroses and non-unions // 5th Meeting of the A.S.A.M.I. International. – St. Petersburg, 2008. – P. 87.

14. Копысова В.А., Нысынбаев С.З., Белгибаев А.Ж., Брижко А.Н., Жуков А.Е., Агафонов Н.Е. Компрессионный стабильный остеосинтез костей голени // Матер. международной научно-практической конференции «Современные проблемы в травматологии и ортопедии». – Атырау, Казахстан, 2008. – С. 161.

15. Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е. Тактика хирургического лечения открытых диафизарных переломов голени по данным ГКБ № 3 г. Иркутска // Тез. междунар. конф. «Травматология и ортопедия третьего тысячелетия». – Чита – Маньчжурия, 2008. – С. 39–40.

16. Виноградов В.Г., Агафонов Е.Н., Халиман Е.А., Кобелев А.И. Применение комплекса конечно-элементного анализа для исследования напряженно-деформированных состояний системы // Матер. II Московского междуна-родного конгресса травматологов и ортопедов. – М., 2011. – С. 20.

17. Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е. Монолатеральный аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов, несросшихся переломов костей: метод. рек. – Иркутск: НЦРВХ СО РАМН, 2011. – 36 с.

### **Патент**

18. Аппарат внешней фиксации для лечения переломов, ложных суставов, несросшихся переломов костей: пат. 2375984 Рос. Федерация: МПК А61В17/66 / Виноградов В.Г., Агафонов Н.Е., Халиман Е.А., Ивлев Б.В., Кобелев И.А.; заявители и патентообладатели Агафонов Н.Е., Виноградов В.Г., Кобелев И.А., Халиман Е.А., Ивлев Б.В. – № 2007123407/14; заявл. 07.09.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл. № 35. – 1 с.

### **Монография**

19. Виноградов В.Г., Лапшин В.Л., Халиман Е.А., Ивлев Б.В., Кобелев И.А., Агафонов Н.Е.. Математическое моделирование и конструирование аппаратов внешней фиксации для лечения повреждений костей конечностей. – Иркутск: НЦРВХ СО РАМН, 2010. – 136 с.

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

АВФ	– аппарат внешней фиксации
ВХО	– вторичная хирургическая обработка
КЭ	– конечные элементы
МКЭ	– метод конечных элементов
ПХО	– первичная хирургическая обработка
ППД	– проточно-промывное дренирование

---

Подписано в печать 09.11.2011. Бумага офсетная. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,0

Тираж 100 экз. Заказ № 103-11.

---

РИО НЦРВХ СО РАМН

(Иркутск, ул. Борцов Революции, 1. Тел 29–03–37. E-mail: arleon58@gmail.com)