

Анализ функционально-эргономических характеристик аппаратов внешней фиксации и прогнозирование эффективности их применения в клинической практике

Ф.А. Мацукатов, С.П. Бойчук, Н.Д. Хубаев

Analysis of functional-and-ergonomic characteristics of external fixators, and prediction of the effectiveness of their use in clinical practice

F.A. Matsukatov, S.P. Boichuk, N.D. Khubaev

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган
(директор — д. м. н. А. В. Губин)

Цель исследования. Анализ функционально-эргономических характеристик АВФ различных типов, разработка системы их оценки и прогнозирование эффективности их применения в клинической практике. **Материалы и методы.** Проведено изучение функционально-эргономических характеристик аппаратов внешней фиксации (АВФ) с точки зрения базовых принципов механики, лежащих в основе функционирования механических систем по целенаправленному и дозированному перемещению фиксированных в них тел. **Результаты.** На клиническом материале доказана прямая зависимость результатов лечения переломов длинных костей от функционально-эргономических показателей АВФ. Предложена система их оценки, прогнозирующая эффективность применения АВФ в клинической практике. **Заключение.** Методичная работа по совершенствованию АВФ с целью повышения их возможностей должна базироваться на принципах механики и эргономики. Главными эргономическим показателем АВФ является количество осуществляемых ими независимых перемещений. Между эргономическими характеристиками АВФ, производительностью труда врача, сроками лечения и качеством достигаемых результатов имеется тесная связь.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, аппарат внешней фиксации, кость, перемещение, кинематика, система координат, степени свободы.

Purpose. To analyze the functional-and-ergonomic characteristics of external fixators (EF) of different types, as well as to develop the system of their evaluation and predict the effectiveness of their use in clinical practice. **Materials and Methods.** The study of the functional-and-ergonomic characteristics of external fixators (EF) performed in terms of mechanics basic principles being the basis of functioning the mechanical systems for targeted and graduated movement of the bodies fixed in them. **Results.** The direct dependence of the results of treatment of long bone fractures on EF functional-and-ergonomic characteristics demonstrated in clinical material. The system of their evaluation proposed which predicted the effectiveness of EF use in clinical practice. **Conclusion.** Systematic work to improve the EF in order to increase their potential should be based on the principles of mechanics and ergonomics. The main ergonomic characteristic of the EF is the number of independent movements carried out by them. There is a close connection between EF ergonomic characteristics, physician productivity, periods of treatment, and the quality of the results achieved.

Keywords: transosseous osteosynthesis, external fixator, bone, movement, kinematics, coordinate system, degree of freedom.

ВВЕДЕНИЕ

Основной принцип метода внешней фиксации – закрытое, целенаправленное и дозированное перемещение костей и их отломков, фиксированных во внешнем устройстве. Для описания этих перемещений используют декартову систему координат, представляющую три взаимно перпендикулярные оси X , Y и Z с началом отсчета в точке их пересечения O , и три соответствующие им плоскости. В данной системе неограниченное в перемещениях твердое тело может совершать по одному линейному и одному вращательному (угловому) перемещению относительно каждой из трех осей. С точки зрения кинематики такое тело обладает шестью степенями свободы.

Перемещения тел, фиксированных в механической системе, имеют свои особенности и зависят от кинематических характеристик самой системы. Любое линейное или вращательное перемещение, осуществляемое в ней изолированно относительно одной оси координат, называют независимым. Таким, например, является линейное перемещение по оси Y или вращательное перемещение вокруг оси Z . Однако механические системы не всегда способны осуществлять независимые перемещения. В таких случаях траектория перемещаемых ими тел является суммарным вектором двух и более независимых перемещений как

в одной, так и в нескольких плоскостях. Например, линейное перемещение F (рис. 1, а), осуществляемое механической системой, является суммой векторов перемещений по оси Z и оси Y и расположено в одной плоскости, но под углом к указанным осям. А перемещение F_1 (рис. 1, б) является суммарным вектором поступательных перемещений по всем трем осям и расположено под углом не только к осям, но и всем трем плоскостям. Сочетание поступательных перемещений с вращательными еще более усложняет раскладку сил. Во всех этих случаях говорят о зависимых перемещениях.

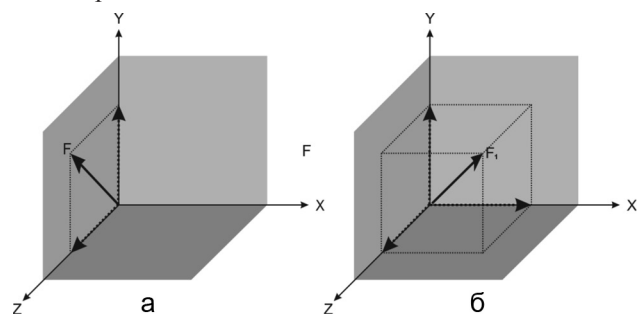


Рис. 1. Схема суммарных векторов поступательных перемещений: а – относительно двух; б – относительно трех осей декартовой системы координат

Аппараты внешней фиксации (АВФ) являются аналогами механических систем. Их кинематические характеристики принято обозначать термином «функциональные возможности». С ними тесно связаны эргономические характеристики, которыми обозначают трудоемкость реализации функциональных возможностей в клинической практике.

Несмотря на внешнее сходство различных АВФ, их функционально-эргономические характеристики могут различаться радикально.

Первыми аппаратами, в стандартную конструкцию которых были заложены шесть степеней свободы, были устройства внешней фиксации гексаподального типа. Поэтому они стали АВФ с предельно высокими функциональными возможностями. Однако в клинической практике их применение столкнулось с существенными сложностями. Состоят они в том, что данные устройства могут осуществлять только зависимые перемещения. Об этом свидетельствует тот факт, что изменение длины любой из шести страт в них приводит к изменению по-

ложения всех остальных. Перемещения в АВФ такого типа осуществляются по интегральной траектории, которая может быть описана только при помощи сложной математической модели [1, 4, 20, 23]. Поэтому для осуществления целенаправленных и точных перемещений в аппаратах этого типа было разработано программное обеспечение, которое является неотъемлемым компонентом методик их применения.

Из набора деталей аппарата Илизарова также можно собрать компоновку с любым числом степеней свободы. Однако с каждой дополнительной степенью его конструкция усложняется, одновременно теряя в жесткости. А сборка его компоновок с пятью и шестью степенями свободы в клинической практике не применяется по причине большой сложности и трудоемкости.

Целью данной работы является анализ функционально-эргономической характеристик АВФ различных типов, разработка системы их оценки и прогнозирование эффективности их применения в клинической практике.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для исследования были выбраны АВФ трех типов – гексапод (аппарат Тейлора), классический аппарат Илизарова и аппарат Мацукидиса-Шевцова (патенты: РФ № 2357699 С2; Япония № 3150204; Германия № 20 2006 020 487.3; Ю.Корея № 20-0443058). Изучались следующие показатели: число степеней свободы; обеспечиваемое количество независимых перемещений; время, необходимое для различных манипуляций по перемещению отломков. Исследование перемещений осуществляли в декартовой системе координат по правилам кинематического анализа. Производили хронометраж манипуляций с аппаратами. Статистическую обработку данных осуществляли при помощи пакета прикладных программ с использованием персонального компьютера.

Для анализа эргономических характеристик работы по перемещению отломков разделили на три этапа: 1) анализ задачи; 2) подготовка технических условий по ее решению; 3) манипуляции по ее решению. Поскольку 1 этап примерно одинаков для любых типов АВФ и не связан с особыми трудозатратами, в данном исследовании мы его не рассматривали. Наиболее продолжительным и трудоемким является 2 этап работы. Поэтому его анализу мы уделили особое внимание.

В соответствии с изложенной схемой проанализирован процесс лечения 7 пациентов с переломами

костей голени аппаратом Тейлора, которое проводилось в РНЦ «ВТО» с участием специалистов фирмы SMITH&NEPHEW в 2002-2004 гг. Из них у 2 (28,6 %) пациентов отмечены переломы типа 42A1, у 1 (14,3 %) – 42A3, у 3 (57,1 %) типа 42B1 и 1 (14,3 %) типа 12B1. Изучались следующие показатели: длительность оперативного вмешательства, количество произведенных при этом рентгеновских снимков, число манипуляций в послеоперационном периоде, средняя их продолжительность, частота вторичных смещений, процент первичных сращений и качество полученных результатов.

Для сравнения составлены трехкратно превышающие данную группу по количеству репрезентативные выборки аналогичных по тяжести травмы и процентному составу групп из 21 больного, пролеченных аппаратом Илизарова и аппаратом Мацукидиса-Шевцова. В каждую из них вошли по 6 (28,6 %) пациентов с переломом типа 42A1, 3 (14,3 %) пациента с переломом типа 42A3, 9 (57,1 %) – типа 42B1 и 3 – типа 12B1. В группы подбирались наиболее близкие по дате поступления клинические случаи до формирования ее в соотношениях 42A1:42A3:42B1:12B1=2:1:3:1. Группы больных достоверно не отличались по возрасту ($36,1 \pm 4,5$ года), полу, срокам поступления ($4,3 \pm 1,02$ дня).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Примерное время для проведения различных манипуляций указанными АВФ представлено в таблице 1.

Результаты проведенного анализа процесса лечения трех групп больных приведены в таблице 2.

Таблица 1

Среднестатистическое время для подготовки технических условий (2 этап) и осуществления перемещений (3 этап) различными типами аппаратов внешней фиксации

АВФ	Суммарное время 1 и 2 этапов в минутах									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Аппарат Тейлора	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9	38,9
Аппарат Илизарова	2	20,6	20,6	31,4	31,4	25,5	29,2	75	–	–
Аппарат Мацукидиса-Шевцова	2	2	2	2	2	1	5	6	7	8

Обозначения: – продольно-осевые перемещения; – угловые перемещения во фронтальной плоскости; – угловые перемещения в сагиттальной плоскости; – перемещения влево-вправо; – перемещения в передне-заднем направлении; – ротационные перемещения.

Клинико-статистические показатели лечения больных

АВФ	Клинико-статистические показатели									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Аппарат Тейлора	152,9	5,6	42,9	38,9	28,5	78,43	0	14,28	57,14	28,58
Аппарат Илизарова	110,24	4,4	32,3	27	15,1	78	9,52	57,14	42,86	0
Аппарат Мацукидиса-Шевцова	95	3,45	56,8	4,3	4,76	59,1	19,05	85,7	14,3	0

Примечание: А – средняя продолжительность оперативного вмешательства (мин.); В – число серий рентгеновских снимков во время операции; С – % больных, которым производились манипуляции в послеоперационном периоде; D – средняя продолжительность одной манипуляции (мин.); Е – % вторичных смещений; F – среднестатистическая продолжительность фиксации; G – % первичных сращений; H – % отличных результатов; I – % хороших результатов; J – % удовлетворительных результатов.

ОБСУЖДЕНИЕ

При работе с аппаратом Тейлора (табл. 1) суммарная продолжительность 2 и 3 этапов не зависела от сложности смещения и составила в среднем 39 минут. В данном случае 2 этап начинали с рентгенографии сегмента. Затем по полученным рентгенограммам и установленному на конечности пациента аппарату производили замер и ввод в программу ряда линейных параметров. На основе введенных данных программой производился расчет параметров для устранения имеющегося смещения. Выраженные в миллиметрах, они означали, какую дистракцию или компрессию необходимо осуществить по каждой из шести страт, чтобы совместить один отломок с другим, т.е. осуществить собственно 3 этап.

Второй этап при работе с аппаратом Илизарова заключался в сборке одной или последовательно нескольких компоновок по перемещению костных отломков с целью точной их репозиции. Наиболее доступным являлось осуществление продольно-осевых перемещений. Такую возможность имели все его компоновки. Для обеспечения угловых перемещений во фронтальной и сагиттальной плоскостях был необходим монтаж шарнирных узлов. В таком виде аппарат имел 2 или 3 степени свободы. Его сборка занимала соответственно 20,6 и 29,2 минут. Монтаж узлов для осуществления поперечных перемещений в одной плоскости занимал 31,4 минуты. Ротационные перемещения осуществляли компоновкой с косо установленными стержнями между парафрактурными опорами, которые в последующем затягивали до выпрямления. Это наиболее простой способ устранения ротационных смещений.

Монтаж его составил в среднем 25,5 минут. В двух случаях нами была произведена сборка компоновки аппарата с 4-мя степенями свободы, которая осуществляла продольно-осевые, одно из поперечных и два угловых перемещения (рис. 2).

На это потребовалось в среднем 1 час 15 минут. Из них независимыми были 3 перемещения. Во всех остальных случаях мы предпочитали решать те же задачи с более простыми компоновками, но с повторными перемонтажами для поэтапного перемещения отломков в разных плоскостях. Сборка аппарата с 5-ю или с 6-ю степенями свободы (рис. 3) нами ни разу не производилась по причине большой сложности и трудоемкости.

Перемещения аппаратом Мацукидиса-Шевцова не выходили за пределы 8 минут. Это связано с отсутствием 2 этапа работы.

Конструктивной основой аппарата Тейлора является платформа Стюарта, в которой прогнозирование траектории перемещения костных отломков осуществляется путем математического анализа. Аппарат Илизарова – это универсальный набор многофункциональных деталей с унифицированными конструктивными элементами, из которого можно смонтировать ту или иную компоновку для решения конкретной клинической задачи. Конструктивным принципом аппарата Мацукидиса-Шевцова (рис. 4) является модульность, предполагающая сборку функциональной системы из нескольких стандартных узлов, все перемещения которых строго привязаны к осям декартовой системы координат.

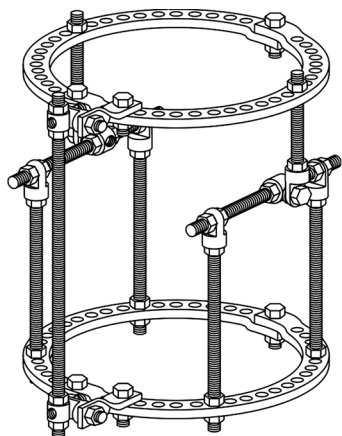


Рис. 2. Компоновка аппарата Илизарова с 4-мя степенями свободы (схема)

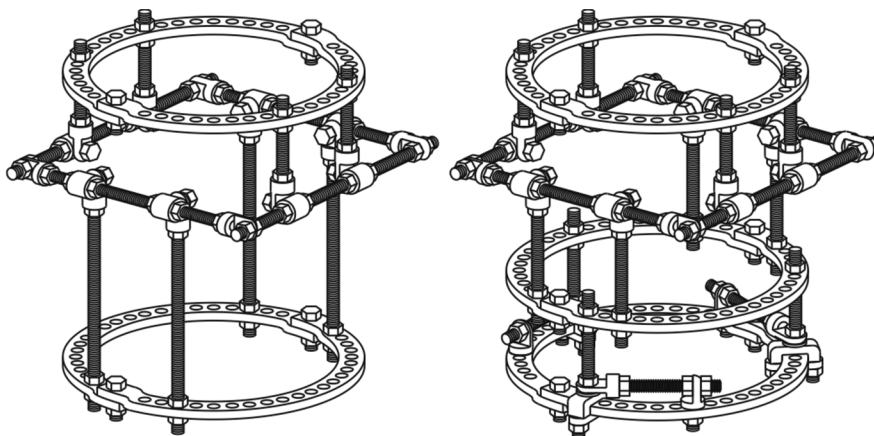


Рис. 3. Компоновки аппарата Илизарова с 5-ю и 6-ю степенями свободы (схемы)

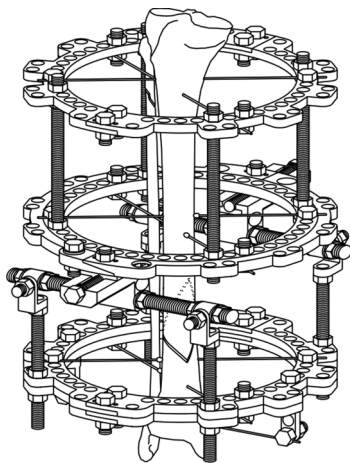


Рис. 4. Аппарат Мацукидиса-Шевцова (схема)

С точки зрения кинематики при нефиксированном переломе дистальный костный отломок обладает шестью степенями свободы. Это означает, что он может сместиться в любом направлении относительно проксимального отломка с образованием трех линейных и трех угловых смещений. Поэтому главным условием успешной репозиции переломов в АВФ является возможность целенаправленного и точно прогнозируемого перемещения фиксированных в них отломков по всем линейным и угловым координатам. Наиболее эффективно эти смещения могут быть устранены АВФ, которые, обладая 6 степенями свободы, могут обеспечить максимальное число независимых перемещений.

Из изложенного выше становится ясно, что эффективность применения АВФ в клинической практике, а, следовательно, и качество достигаемых анатомо-функциональных результатов, зависят исключительно от их функционально-эргономических возможностей, которые характеризуют именно систему перемещения аппарата, а не форму его опор, элементы фиксации и т.п.

Из приведенных в таблице данных следует, что наиболее низкие показатели у аппарата Тейлора. Выявились и другие его недостатки – низкая стабильность фиксации из-за люфта в шарнирных узлах и значительного расстояния между парафрактурными опорами, громоздкость

конструкции, низкая обзорность рентгеновских снимков, необходимость их выполнения на пленке большого формата и др. Недостаточная жесткость фиксации явилась причиной вторичного смещения у двух пациентов. В обоих случаях, несмотря на многократные попытки, полностью его устранить не удалось, сращение достигнуто в положении 12° варусно-рекурвационного и около 22° внутренне-ротационного смещения. Поэтому с целью повышения жесткости фиксации данным аппаратом в остальных случаях между его опорами мы устанавливали дополнительные резьбовые стержни, из-за чего конструкция становилась еще более громоздкой (рис. 5).

Необходимо подчеркнуть тот факт, что в связи с важностью, которую мы придавали проводимому исследованию, у 5 (71,42 %) пациентов весь период лечения проходил в условиях стационара. Лишь два пациента на заключительном его этапе были выписаны на амбулаторное лечение.

При практически одинаковых сроках фиксации, аппарат Илизарова по всем остальным показателям превосходит аппарат Тейлора (рис. 6).

Главный биомеханический недостаток аппарата Илизарова – предусмотренная технологией применения аппарата репозиция отломков спицами. При этом тяга за одну спицу приводит к деформации и напряжению других, фиксирующих тот же отломок на другом уровне. Избежать этого нежелательного эффекта весьма сложно. В данной группе только 6 (28,6 %) пациентов проходили весь период лечения в стационаре.

Показатели лечения аппаратом Мацукидиса-Шевцова выгодно отличаются от первых двух как количественно, так и качественно. Единственным исключением является большее количество манипуляций в послеоперационном периоде. Данный факт объясняется тем, что в связи с легкостью их осуществления, мы всегда стремились к достижению максимально точной репозиции. Например, при переломах типа А поперечные смещения даже в 1 мм мы считали недопустимыми, поскольку их устранение занимало не более 2 минут. Это позволило нам в большинстве случаев добиться анатомической репозиции отломков (рис. 7), а в 4 (19,5 %) случаях достигнуто первичное костное сращение.

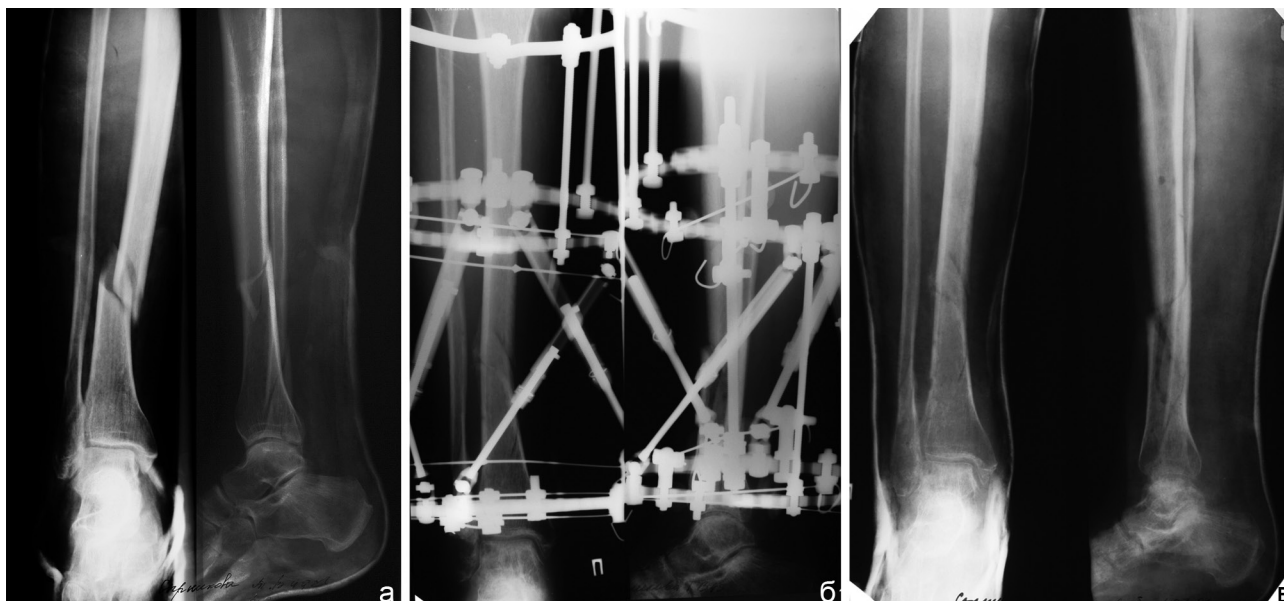


Рис. 5. Рентгенограммы больного с переломами костей голени до операции (а); в процессе лечения аппаратом Тейлора (б); результат (в)

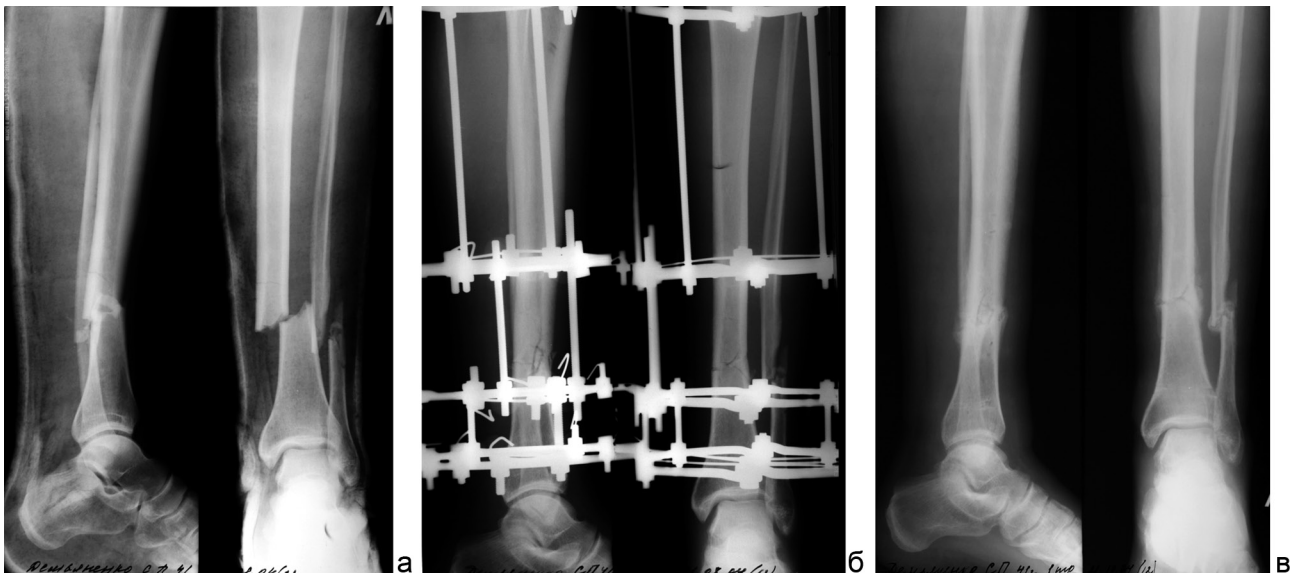


Рис. 6. Рентгенограммы больного с переломами костей голени до операции (а); в процессе лечения аппаратом Илизарова (б); результат (в)

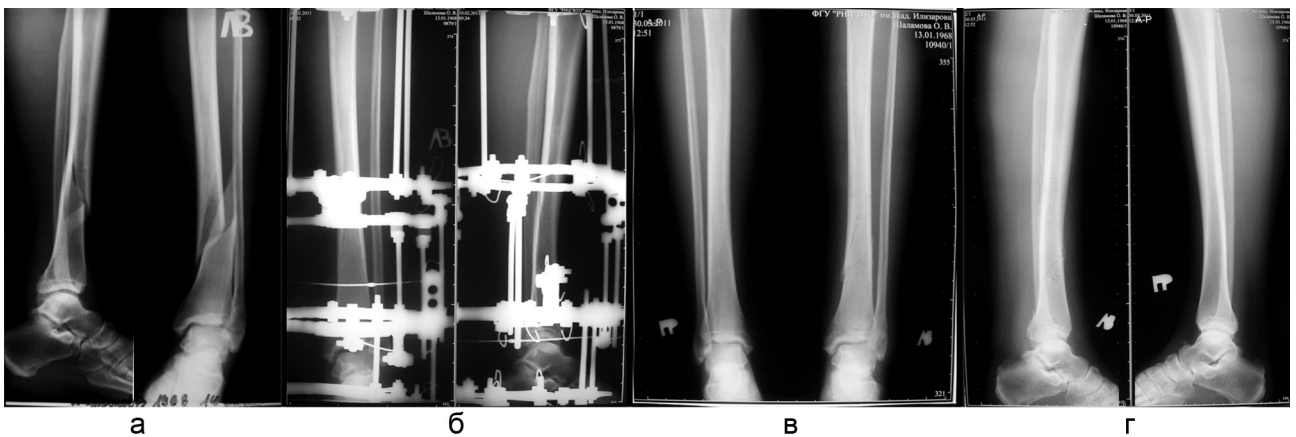


Рис. 7. Рентгенограммы больного с переломом костей голени до лечения (а); в процессе лечения аппаратом Мацукидиса-Шевцова (б); результат лечения (в, г)

Все пациенты данной группы были выписаны из стационара в сроки от 3 до 17 дней после операции. Особенностью аппарата Мацукидиса-Шевцова является отсутствие 2 этапа работы с ним, поскольку все возможности по целенаправленному и дозированному перемещению отломков костей заложены в его базовой компоновке.

Проведенный анализ затрагивает базовые вопросы эволюции АВФ. В последние годы метод внешней фиксации является объектом активной критики. Главным поводом для этого явилось ограничение качества жизни пациентов в период лечения. Это связано с тремя основными причинами: 1. Гипертрофированным и односторонним отношением к качеству жизни пациента в период лечения; 2. Недостаточным представлением о потенциальных возможностях метода; 3. Дезориентацией вектора развития метода.

С 90-х годов прошлого столетия обозначились три основных пути совершенствования аппаратов внешней фиксации. Первый путь – максимальное упрощение самой конструкции внешнего устройства и уменьшение его габаритов с целью минимального ограничения качества жизни пациента. Он реализовался в создании целого ряда компактных и простых в использовании монолатеральных АВФ с ограниченными возможно-

стями. Однако низкие функционально-эргономические показатели, как было убедительно показано выше, закономерно связаны с увеличением сроков и ухудшением анатомо-функциональных результатов лечения, реальным исходом чего является обратное – снижение качества жизни пациента.

Второй путь – совершенствование функциональных возможностей АВФ. Реализовался он в разработке и активной пропаганде гексаподальных устройств внешней фиксации, функционирующих на основе программного обеспечения. Несмотря на внешнюю привлекательность самой идеи, у данного пути выявились очевидные и серьезные недостатки, которые четко изложены в проведенном выше анализе. Гексаподальные устройства внешней фиксации можно охарактеризовать как высокофункциональные, но низкоэргономичные АВФ.

В РНЦ «ВТО» всегда придерживались третьего пути – приоритетной роли улучшения эргономических характеристик АВФ. Наша работа в области механики и теории механизмов завершилась определением параметров гипотетически идеального аппарата внешней фиксации – сочетания предельно высокой функциональности (6 степеней свободы) и эргономичности (6 независимых перемещений), которые и стали ориен-

тиром для разработки АВФ нового поколения. Данные характеристики в значительной степени воплощены в аппарате Мацукидиса-Шевцова. По точности репозиции, например, указанный аппарат не уступает открытым методам лечения. Это позволило получать высокие по качеству и малые по срокам результаты лечения, что подтверждает правоту нашей позиции: нельзя рассматривать качество жизни пациента в процессе лечения в отрыве от его исхода и отдаленных последствий. В связи с конструктивными особенностями аппарата создание для него программного обеспечения – непростая задача. Однако мы отказались от этой идеи, поскольку, согласно ориентировочным расчетам, длительность процесса репозиции при этом увеличится практически на порядок с одновременным ухудшением ее качества. Следует также отметить, что частные методики применения аппарата находятся на начальных стадиях рационализации, а сама его конструкция активно совершенствуется.

Итак, из изложенного выше вытекает, что базовой характеристикой АВФ, с которой тесно связаны его эргономические характеристики, является количество осуществляемых им независимых перемещений. Именно данное качество АВФ позволяет наиболее рационально осуществлять изолированные и точные перемещения костных отломков в одной плоскости без риска получения смещения в другой.

В связи с большой значимостью проблемы, с целью прогнозирования эффективности применения имеющихся или создаваемых АВФ нами разработана система определения их функционально-эргономического рейтинга, рассчитываемого как суммы следующих показателей:

1. Число степеней свободы, которое может быть максимально реализовано в клинической практике.
2. Число степеней свободы из п. 1, в которых осуществляются независимые перемещения.
3. Число независимых перемещений, которые может осуществлять исходная компоновка аппарата, устанавливаемая во время операции согласно технологии его применения.

В аппарате Тейлора заложены 6 степеней свободы. В связи с тем, что все перемещения в них являются зависимыми, без программного обеспечения не может быть

произведено ни одного целенаправленного и точно прогнозируемого перемещения, в том числе и из его исходной компоновки. Следовательно, его функционально-эргономический рейтинг будет равен $6+0+0$ (6 баллов).

Функционально-эргономический рейтинг аппарата Илизарова будет выглядеть следующим образом: $4+3+1$ (8 баллов). Это означает, что в клинической практике максимально может быть применена его компоновка с 4 степенями свободы, в трех из которых могут быть осуществлены независимые перемещения. А исходная его компоновка, которую монтируют во время операции согласно технологии его применения, может осуществлять 1 независимое перемещение – продольно-осевое. Однако было бы несправедливо не отметить один существенный факт. Если в случае с аппаратом Тейлора работа полностью зависит от программного обеспечения, то в работе с аппаратом Илизарова имеется огромное пространство для импровизаций. И здесь опыт и квалификация врача играют большую роль, что позволяет с целью рационализации работы с ним пользоваться множеством нестандартных приемов и ноу-хау.

Аппарат Мацукидиса-Шевцова так же, как и аппарат Тейлора, имеет 6 степеней свободы. Из них независимыми являются четыре – продольно-осевое, два поперечных и ротационное. Угловые перемещения во фронтальной и сагиттальной плоскостях являются зависимыми и сопровождаются появлением поперечных смещений ввиду вынужденного расположения осей вращения выше или ниже уровня перелома, однако устранение последних не вызывает затруднений и не требует дополнительного ремонта. Следовательно, рейтинг аппарата можно обозначить как $6+4+4$ (14 баллов).

Рейтинг гипотетически идеального АВФ – 18 баллов. Целью совершенствования АВФ является постепенное улучшение указанных выше их характеристик до достижения данного рубежа. Это, однако, не будет означать предела совершенствования АВФ. Дальнейшая их рационализация будет идти в направлении уменьшения габаритов, совершенствования элементов фиксации, расширения возможностей трансформации, применения новых материалов, использования для управления аппаратом технологий автоматизированного контроля и управления.

ВЫВОДЫ

1. Методичная работа по совершенствованию АВФ с целью повышения их возможностей должна базироваться на принципах механики и эргономики.
2. Главными эргономическим показателем АВФ является количество осуществляемых ими независимых перемещений.
3. Между эргономическими характеристиками

АВФ, производительностью труда врача, сроками лечения и качеством достигаемых результатов имеется тесная связь.

4. Предлагаемая шкала оценки функционально-эргономических характеристик АВФ достоверно прогнозирует эффективность их применения в клинической практике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анкин Л. Н., Анкин Н. Л. Травматология. (Европейские стандарты). М.: МЕД-пресс-информ, 2005. 496 с.
Ankin LN, Ankin NL. Travmatologiya (Evropeiskie standarty) [Traumatology (European standards)]. M.: MED-press-inform. 2005. 496 s.
2. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988. 640 с.
Artobolevskii II. Teoriya mekhanizmov i mashin (Theory of mechanisms and machines). M.: Nauka. 1988. 640 s.
3. Барабаш А. П., Норкин И. А., Барабаш Ю. А. Атлас идеального остеосинтеза диафизарных переломов костей голени. Саратов, 2009. 64 с.
Barabash AP, Norkin IA, Barabash YuA. Atlas ideal'nogo osteosinteza diafizarnykh perelomov kostei goleni [Atlas of ideal osteosynthesis of the shaft fractures of leg bones]. Saratov. 2009. 64 s.
4. Веселов Н. Я., Федотов П. А., Аединов В. С. Сравнительная оценка методов остеосинтеза закрытых диафизарных переломов костей голени // Закрытые диафизарные переломы длинных трубчатых костей : сб. науч. тр. Л., 1989. С. 117-120.
Veselov NI, Fedotov PA, Aedinov VS. Sravnitel'naya otsenka metodov osteosinteza zakrytykh diafizarnykh perelomov kostei goleni [Comparative

- evaluation of the techniques of osteosynthesis of closed shaft fractures of leg bones]. In: *Zakrytye diafizarnye perelomy dlinnykh trubchatykh kostei: sb. nauch. tr. L., 1989. s. 117-120.*
5. Гусейнов А. Г. Резервы повышения эффективности лечения диафизарных переломов голени на основе метода Илизарова // Вестн. травматологии и ортопедии им. Н. Н. Приорова. 2005. № 1. С. 11-15.
Guseinov AG. Rezervy povysheniia effektivnosti lecheniia diafizarnykh perelomov goleni na osnove metoda Ilizarova [The reserves of increasing the effectiveness of shaft leg fractures on the basis of the Ilizarov method]. Vestn. travmatologii i ortopedii im. NN. Priorova. 2005;(1):11-15.
 6. Илизаров Г. А., Катаев И. А., Предеин А. П. Некоторые закономерности и перспективы развития аппаратов для чрескостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза // Изобретательство и рационализаторство в травматологии и ортопедии : сб. тр. / под ред. А. И. Казьмина. М., 1983. С. 85-91.
Ilizarov GA, Kataev IA, Predein AP. Nekotorye zakonomernosti i perspektivy razvitiia apparatov dlia chreskostnogo kompressionno-distraktsionnogo osteosinteza [Some regularities and prospects for the development of the devices for compression-and-distraction osteosynthesis]. In: Izobretatel'stvo i ratsionalizatorstvo v travmatologii i ortopedii: sb. tr. Pod red. AI. Kaz'mina. M. 1983. s. 85-91.
 7. История развития и современное состояние проблемы лечения травм конечностей методом чрескостного остеосинтеза : обзор лит. / Н. В. Тюляев, Т. Н. Воронцова, Л. Н. Соломин, П. В. Скоморошко // Травматология и ортопедия России. 2011. № 2. С. 179-190.
Tiuliaev NV, Vorontsova TN, Solomin LN, Skomoroshko PV. Istoriia razvitiia i sovremennoe sostoianie problemy lecheniia travm konechnostei metodom chreskostnogo osteosinteza : obzor lit [History and current state of the problem of treating limb injuries using transosseous osteosynthesis technique: a review of literature]. Travmatologiya i ortopediya Rossii. 2011;(2):179-190.
 8. Теория механизмов и механика машин : учеб. / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. В. Пуш, А. К. Мусатов ; под ред. К. В. Фролова. М.: Высш. шк., 2001. 496 с.
Frolov KV, Popov SA, Push AV, Musatov AK. Teoriia mekhanizmov i mekhanika mashin : ucheb [Theory of mechanisms and mechanics of machines: a manual]. M: Vyssh. shk. 2001. 496 s.
 9. Классика и новации чрескостного остеосинтеза в ортопедии / А. Г. Каплунов, А. П. Барабаш, И. А. Норкин, О. А. Каплунов, Ю. А. Барабаш. Саратов, 2007. 312 с.
Kaplunov AG, Barabash AP, Norkin IA, Kaplunov OA, Barabash IuA. Klassika i novatsii chreskostnogo osteosinteza v ortopedii [Classics and innovations of transosseous osteosynthesis in orthopedics]. Saratov. 2007. 312 s.
 10. Ли А. Д. Разумен ли возврат к старому в лечении переломов костей? // Вестн. хирургии им. И. И. Грекова. 1995. № 8. С. 125-128.
Li AD. Razumen li vozvrat k staromu v lechenii perelomov kostei? [Is it reasonable to return to the old in treatment of bone fractures?]. Vestn. khirurgii im. II. Grekova. 1995;(8):125-128.
 11. Метод Илизарова в лечении диафизарных переломов костей голени / В.И. Хрупкин, А. А. Артемьев, В. В. Попов, А. Н. Ивашкин. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2004. 96 с.
Khrupkin VI, Artem'ev AA, Popov VV, Ivashkin AN. Metod Ilizarova v lechenii diafizarnykh perelomov kostei goleni [The Ilizarov method in treatment of shaft leg bone fractures]. M: GEOTAR-MED. 2004. 96 s.
 12. Морозов В. П., Кузнецов А. В. Применение компрессионно-дистракционных аппаратов при закрытых переломах костей голени // Актуальные проблемы здравоохранения Сибири : материалы Всерос. конф. Ленинск-Кузнецкий, 1998. С. 107-108.
Morozov VP, Kuznetsov AV. Aktual'nye problemy zdavookhraneniia Sibiri [Actual problems of Siberia health service]. Materialy Vseros. konf. Leninsk-Kuznetskii. 1998. s. 107-108.
 13. Оганесян О. В. Основы наружной чрескостной фиксации. М.: Медицина, 2004. 432 с.
Oganesian OV. Osnovy naruzhnoi chreskostnoi fiksatsii [Basics of external transosseous fixation]. M: Meditsina. 2004. 432 s.
 14. Петров С. В. Обоснование направлений дальнейшего совершенствования конструкций чрескостных аппаратов // Актуальные проблемы травматологии и ортопедии : научн.-практ. конф. Н. Новгород, 2001. С. 82-83.
Petrov SV. Obosnovanie napravlenii dal'nieshego sovershenstvovaniia konstrukttsii chreskostnykh apparatov [Substantiation of the directions for further improvement of transosseous device designs]. In: Aktual'nye problemy travmatologii i ortopedii : nauchn.-prakt. konf. N. Novgorod. 2001. s. 82-83.
 15. Происхождение остеосинтеза. Наружные фиксаторы / С. В. Сергеев, А. Б. Кошкин, О. Б. Гришанин, В. С. Матвеев // Остеосинтез. 2009. № 1. С. 9-22.
Sergeev SV, Koshkin AB, Grishanin OB, Matveev VS. Proiskhozhdenie osteosinteza. Naruzhnye fiksatory [The origin of osteosynthesis. External fixators]. Osteosintez. 2009;(1):9-22.
 16. Соломин Л. Н. Основы чрескостного остеосинтеза аппаратом Г. А. Илизарова. СПб., 2005. 544 с.
Solomin LN. Osnovy chreskostnogo osteosinteza apparatom G. A. Ilizarova [Basics of transosseous osteosynthesis with the Ilizarov fixator]. SPb. 2005. 544 s.
 17. Ткаченко С. С. Остеосинтез : рук. для врачей. Л. : Медицина, 1987. 272 с.
Tkachenko SS. Osteosintez: ruk. dlia vrachei [Osteosynthesis: guide for physician]. L : Meditsina. 1987. 272 s.
 18. Тырцева Е. С. Лечение больных с закрытыми спиральными переломами большеберцовой кости методом чрескостного остеосинтеза : автореф. дис... канд. мед. наук. Курган, 2003. 22 с.
Tyrteva ES. Lechenie bol'nykh s zakrytymi spiral'nymi perelomami bol'shebertsovoi kosti metodom chreskostnogo osteosinteza [Treatment of patients with closed spiral tibial fractures by transosseous osteosynthesis techniques] [avtoref. dis... kand. med. nauk]. Kurgan. 2003. 22 s.
 19. Al-Sayyad MJ. Taylor Spatial Frame in the treatment of pediatric and adolescent tibial shaft fractures. J Pediatr Orthop. 2006;26(2):164-70.
 20. Beardi J, Hessmann M, Hansen M, Rommens PM. Operative treatment of tibial shaft fractures: a comparison of different methods of primary stabilization. Arch Orthop Trauma Surg. 2008;128(7):709-15.
 21. Della Rocca GJ, Crist BD. External fixation versus conversion to intramedullary nailing for definitive management of closed fractures of the femoral and tibial shaft. J Am Acad Orthop Surg. 2006;14(Suppl 10):S131-5.
 22. Eidelman M, Katzman A. Treatment of complex tibial fractures in children with the Taylor spatial frame. Orthopedics. 2008;31(10).
 23. Golubović ZS, Stojiljković PM, Mitković MB, Macukanović-Golubović LD, Bumbasirević MZ, Lesić AR, Milenković SS, Najman SR, Visnić AM, Karaleić SS, Matović ZM, Jovanović VR. [Treatment of unstable closed tibial shaft fractures by external fixation]. Acta Chir Jugosl. 2007;54(2):83-9.
 24. Littenberg B, Weinstein LP, McCarren M, Mead T, Swionkowski MF, Rudicel SA, Hek D. Closed fractures of the tibial shaft. A meta-analysis of three methods of treatment. J Bone Joint Surg Am. 1998 Feb;80(2):174-83.
 25. Shaw DL, Lawton JO. External fixation for tibial fractures: clinical results and cost effectiveness. JR Coll Surg Edinb. 1995;40(5):344-6.

Рукопись поступила 18.09.2012.

Сведения об авторах:

1. Мацукатов Феофор Алексеевич – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, научный сотрудник научно-клинической лаборатории травматологии.
2. Бойчук Сергей Петрович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, заведующий травматолого-ортопедическим отделением № 1, врач травматолог-ортопед, к. м. н.
3. Хубаев Николай Днианович – ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, младший научный сотрудник научно-клинической лаборатории травматологии.