

Программное управление аппаратом Илизарова

И.П. Гайдышев

Program control of the Ilizarov fixator

I.P. Gaidyshev

Федеральное государственное учреждение науки
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова Росздрава», г. Курган
(директор — заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, д.м.н., профессор В.И. Шевцов)

Рассмотрена методика составления программного обеспечения управления аппаратом Илизарова. В качестве примера получены формулы удлинения сегмента конечности с одновременным устранением его деформации, пригодные для реализации расчета на персональном компьютере. По результатам исследований составлена компьютерная программа, позволяющая выдавать план управления аппаратом с учетом различных стратегий по величине и дробности distraction. Прогнозируются срок и результаты лечения.

Ключевые слова: чрескостный остеосинтез, метод Илизарова, математическое моделирование, научное программирование, электронные таблицы.

The technique for making the program of controlling the Ilizarov fixator is considered. As an example the formulae of lengthening of a limb segment with simultaneous correction of its deformity have been obtained which are pertinent for calculation realizing with a personal computer. A computer program has been made according to the results of studies. This program allows to obtain the plan of the fixator controlling taking into consideration different strategies concerning distraction amount and division. Periods and outcomes of treatment can be predicted.

Keywords: transosseous osteosynthesis, the Ilizarov method, mathematical modeling, scientific programming, electronic tables.

Аппарат Илизарова одновременно прост и неисчерпаем, как шахматы. И аппарат, и метод чрескостного остеосинтеза не остановились в своем развитии. Учениками и последователями академика Г.А. Илизарова созданы новые конструкции аппарата, разработаны новые операции, обоснованы новые биомеханические принципы. Научные исследования требуют создания более точных и совершенных методов управления аппаратом. Сложность этих методов заставляет обратиться к современным компьютерным технологиям, которые глубоко проникли во все области медицины.

Именно поэтому возникла идея составить специальные программы для автоматического расчета компоновок и режимов применения аппарата при лечении различных патологий врожденного и приобретенного характера. Должным образом составленное программное обеспечение позволяет мгновенно выполнить различные варианты расчета, освобождая рабочее время врача. Программное обеспечение, чтобы быть по-

нятым и принятым в практическом здравоохранении, должно иметь эргономичный стандартный интерфейс и быть максимально доступным по цене. Кроме того, оно должно быть разработано в соответствии с критериями информационной безопасности [2].

Расчет удлинения сегмента конечности с одновременным устранением деформации не является сложной биомеханической задачей, по математической сложности занимая как бы промежуточное положение между обычным удлинением конечности и такими сложными расчетами, как устранение поперечного смещения или ротационной деформации. Тем не менее, данный расчет не настолько прост, чтобы его можно было легко выполнить «вручную». Благодаря умеренной сложности, он оказался пригоден для демонстрации методики создания удобного в эксплуатации и доступного программного обеспечения управления аппаратом Илизарова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ литературных данных показывает, что во многих областях применения метода чрескостного остеосинтеза не решены некоторые проблемы.

Формулы в источниках либо не полны [5, с. 57-66], либо вообще отсутствуют для кон-

кретной решаемой задачи [6, с. 123-125], взамен предоставляются таблицы или номограммы. Это было приемлемо на этапе становления метода Илизарова, когда компьютеры были недоступны широкому кругу исследователей и практиков. Поэтому прямо переложить формулы в рабо-

тающие программы, а тем более математически проверить рассуждения авторов и правильность таблиц в настоящее время не представляется возможным.

Опубликованные таблицы [6, с. 125] и номограммы [4, с. 33-34] ограничиваются частными случаями. В них не могла быть учтена возможность distraction различной величины и дробности в соответствии с биомеханическими принципами, разработанными в РНЦ «ВТО» в последние годы.

Упомянутые источники достаточно свежие, но в них применение компьютеров для сложных расчетов, по известным причинам, либо не предполагается вовсе [6], либо упомянуты компьютерные системы, в настоящее время устаревшие и вышедшие из употребления [4, 5].

Программы для метода Илизарова составлялись и ранее. Однако, даже не рассматривая их правильность или сложность, авторы допускали одну и ту же глобальную ошибку – разрабатывая программы для себя, с учетом собственной высокой квалификации, они неверно позиционировали программы на рынке. Программы оказались недоступны широкой медицинской общественности, непонятны неискушенным пользователям и распространения не получили.

Вследствие выявленных проблем составление программ для управления аппаратом Илизарова приходится начинать со сбора уникальной информации о практическом применении метода и математического вывода расчетных формул.

За медицинскими подробностями и биомеханическими принципами рассмотренного метода читателю предлагается обращаться к прекрасно составленным монографиям [4, 6]. Здесь мы дадим только сведения, необходимые для составления математической модели. Компоновка аппарата Илизарова для удлинения сегмента конечности с одновременным устранением его деформации показана на рис. 1. Остеотомия обычно производится поперечно через вершину деформации. Опоры аппарата соединяются тремя стержнями. Два стержня называются направляющими и имеют шарнирные соединения. Третий, телескопический, стержень называется ведущим, иначе – расталкивателем. Смещение по этому стержню (не путать с distraction костных фрагментов; в данном случае это не одно и то же) обеспечивает устранение деформации конечности и, если требуется, одновременное удлинение [6, с. 123]. Показанная схема не исчерпывает все возможные случаи компоновки аппарата для лечения данной патологии. Варианты наложения аппарата определяются конкретными условиями. Могут применяться дополнительные опоры аппарата, прочно связанные с верхним и/или нижним кольцом, призванные обеспечить более же-

сткое крепление. Например, если остеотомия выполняется достаточно близко к месту предполагаемой установки опоры аппарата, направляющие стержни в комплекте с шарнирными узлами могут быть заменены шарнирными узлами, крепящимися непосредственно к кольцу аппарата.

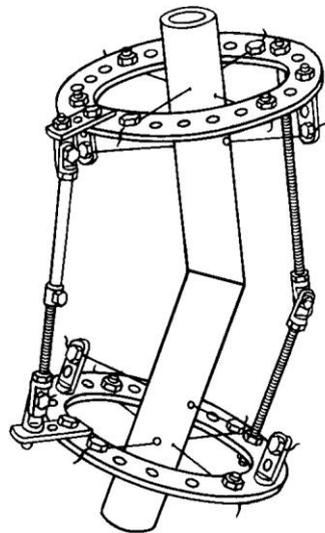


Рис. 1. Схема компоновки аппарата Илизарова для удлинения сегмента конечности с одновременным устранением его деформации (заимствована с разрешения авторов [6]). Для упрощения изображения показан только один из направляющих стержней

Сложность представляет вычисление смещения расталкивателя, обеспечивающего заданную distraction костных фрагментов. Нельзя сказать, что в настоящее время никакие практические расчеты вообще не производятся. Однако они являются упрощенными, с большим элементом интуиции, хотя опытные врачи-ортопеды уверенно достигают положительных результатов. На рис. 2 приводится фотография учебного макета устройства, представлявшего расчетно-механическую систему [4, с. 291], позволяющую вычислить необходимые параметры distraction.

Данные для расчета предварительно получают врачом-ортопедом из анализа рентгенограмм [5, с.65] и, при необходимости, желаемых характеристик удлинения конечности. Расчет с различными исходными данными может выполняться и до, и после наложения аппарата – компьютерное моделирование позволяет делать это без особых затруднений и не действовать на реальном объекте методом проб и ошибок. Данные для расчета необходимо брать, сверяясь со схемой, показанной на рисунке 3. Следует понимать, что указанным размерам могут соответствовать не конкретные размеры деталей аппарата Илизарова, а размеры пространственной конфигурации системы «аппарат-конечность».



Рис. 2. Фотография учебного макета устройства для расчета удлинения сегмента конечности с одновременным устранением его деформации

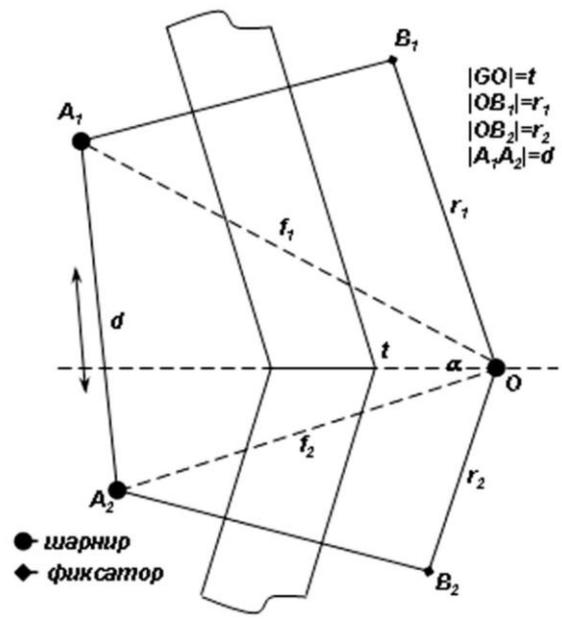


Рис. 3. Кинематическая схема расчета удлинения сегмента конечности с одновременным устранением его деформации

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Учет всевозможных факторов, существенных для решения задачи, может быть предметом дальнейших исследований. Основные допущения, позволяющие упростить решение и сделать первые шаги от реального объекта исследования к математической модели, а от модели к алгоритму и к компьютерной программе, следующие:

1. Принято, что жесткость спиц и кости абсолютная. В реальных условиях спицы прогибаются, а кость может упруго и пластически деформироваться или даже разрушаться в зоне контакта со спицами.

2. Не учитывается состояние мягких тканей в процессе distraction. Это состояние в какой-то мере зависит от заданной величины и дробности distraction, которые выбираются врачом исходя из предоперационного анализа и мониторинга тканей конечности.

3. Не учитываются пространственная конфигурация и анатомические особенности кости. Форма кости принята цилиндрической и рассматривается в боковой проекции. Это стандартное допущение.

4. Не учитывается возможность коррекции поперечных смещений, которая при необходимости может быть обеспечена установкой шарнира в точке O вне плоскости деформации.

5. Не учитываются люфты в системе «аппарат–конечность».

Введем обозначения:

s – distraction,

Δs – одномоментная distraction,

Δd – смещение расталкивателя, соответствующее одномоментной distraction.

Остальные параметры см. на рис. 3. Длины верхней r_1 и нижней r_2 частей направляющего стержня выбираются так, чтобы после окончания процесса устранения деформации длина сегмента конечности, заключенная между верхней и нижней опорами аппарата, была равна $r_1 + r_2$. Методика может применяться и в случае устранения деформации без удлинения конечности. Для этого при установке аппарата на конечность следует так установить направляющие стержни, чтобы в боковой проекции совместить центр O с вершиной деформации. В этом случае параметр t будет равным диаметру кости.

Для построения математической модели необходимо получить формулы, связывающие все перечисленные параметры. Используем интегральный подход, позволяющий значительно упростить решение задачи. Сначала с использованием элементарных соотношений выведем формулу:

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{s}{2t} + \alpha_0 \quad (1),$$

где α_0 – начальное (до процесса distraction) значение угла A_1OA_2 .

Обратное соотношение имеет вид:

$$s = 2t \sin \frac{\alpha - \alpha_0}{2} \quad (2).$$

Из анализа треугольника A_1OA_2 по теореме косинусов

$$d^2 = f_1^2 + f_2^2 - 2f_1f_2 \cos \alpha \quad (3),$$

а также:

$$\alpha = \arccos \frac{f_1^2 + f_2^2 - d^2}{2f_1 f_2} \quad (4).$$

Ряд соотношений для обратных тригонометрических функций заимствуем из справочника по элементарной математике [1, с. 366] с учетом того, что в применяемой системе программирования не все тригонометрические функции стандартно реализованы.

Для контроля необходимо предусмотреть расчет угла деформации, который равен

$$\gamma = \alpha + \arccos \frac{r_1}{f_1} + \arccos \frac{r_2}{f_2} \quad (5).$$

На основе полученных формул алгоритм расчета будет включать в себя следующие элементарные шаги:

1. Вычислить начальное значение угла α_0 по формуле (4) и задать начальное значение дистракции $s_0=0$.

2. Вычислить дистракцию $s=s+\Delta s$ и подсчитать величину угла α по формуле (1).

3. По формуле (3) вычислить длину расталкивателя, соответствующую углу α .

4. Если длина расталкивателя не превзошла длину направляющего стержня, выдать на печать смещение расталкивателя (разницу между вычисленным и предыдущим значениями его длины), контрольное значение угла деформации по формуле (5) и перейти к шагу 2, иначе – процесс дистракции закончить.

Параметры дистракции вычисляются алгоритмом без учета, что точность разового смещения по направляющему стержню, так называемой «подкрутки», не может быть вручную выполнена с произвольной точностью. Дробность, она же практическая точность, будет определяться дискретностью дозированного смещения расталкивателем опор аппарата, как показано стрелкой на рис. 3. Гайка должна поворачиваться на определенное количество градусов. Один ее оборот для аппарата Илизарова дает 1 мм перемещения узла вдоль стержня при шаге резьбы 1 мм. Приспособления для контроля углов (угломеры, номера изделий 30-0200, 30-0201, 30-0202 по каталогу 2004 г.), выпускаемые опытным заводом РНЦ «ВТО», как и аналогичные продукты других фирм, обеспечивают точность до 1 градуса, полагаемую достаточной. Но такая высокая точность не находит практического применения. Подкрутка обычно осуществляется вручную с точностью 0,25 мм (1/4 оборота гайки) или даже 0,5 мм (1/2 оборота гайки). При использовании гайки Шебула (по фамилиям изобретателей Шевцова, Бурлакова и Попкова, номер изделия по каталогу 10-4000), предназначенной для точной дозированной дистракции [3, с. 3], обеспечивается дробность 0,125 мм (1/8 оборота гайки).

Из сказанного можно сделать вывод, что программа должна выдавать не абсолютно точ-

ные значения параметров подкрутки, которые в современных условиях реализованы быть не могут, а значения, приведенные к стандартным, которые могут быть обеспечены практически. Для этого по теоретической величине смещения расталкивателя вычисляется угол подкрутки, который приводится к стандартному наименьшему значению. Затем по формуле (4) вычисляется соответствующий угол, а по формуле (2) – практическое значение дистракции. Введение своеобразной «обратной связи» предотвращает превышение заданной одномоментной величины дистракции. В программу заложены возможности в смысле точности перемещения расталкивателя, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Режимы подкрутки

№ п.п.	Поворот гайки		Дробность, мм	Пояснение
	обороты	градусы		
1	1/360	1	0,003	«Абсолютная» точность для исследований и тестирования программы
2	1/8	45	0,125	Гайка Шебула – оптимальный вариант для ручного управления аппаратом Илизарова
3	1/6	60	0,167	Шесть граней обычной гайки легко идентифицировать
4	1/4	90	0,25	Стандартно практикуемый режим подкрутки, предлагается «по умолчанию»
5	1/2	180	0,5	Самый грубый режим, иногда находящий применение

Целью настоящей работы не является демонстрация преимуществ того или иного режима подкрутки, однако любознательный читатель с помощью представленной программы может легко провести численный эксперимент на компьютере, демонстрирующий, что более высокая точность подкрутки всегда ведет к уменьшению периода дистракции и способствует уменьшению срока лечения.

Технология научного программирования, разработанная автором [2], позволяет легко и без особых финансовых затрат решать любые расчетные задачи пользователями со средней компьютерной подготовкой. Представленные технологии программирования очень доступны – немногие даже опытные пользователи знают, что на их компьютерах уже имеются мощные системы визуального программирования, входящие в стандартный набор офисных приложений – программы электронных таблиц оснащенные встроенным языком программирования.

Практическим результатом работы является модуль LDC (Lengthening, Deformity Correction) программного продукта ORT (Orthopedist), составленный на алгоритмическом языке Visual Basic for Application. Модули данного программного

продукта реализуют различные схемы прикладных расчетов в области травматологии и ортопедии, выполняются на платформе широко распространенных электронных таблиц Microsoft Excel, поставляемых в составе офисного пакета программ Microsoft Office, под управлением операционной системы Microsoft Windows и имеют очень дружелюбный интерфейс. Программа предназначена для практических врачей, имеющих определенный опыт обращения с компьютерами в плане ведения электронных историй болезней, составления отчетов, общения с коллегами посредством Интернета и электронной почты. Работа с программой не сложнее перечисленных задач и дополнительного обучения не требует. Не ставятся и особые требования к математической подготовке врача, что часто бывает проблемой – в интерфейсе программы никаких формул нет.

На рисунке 4 показан снимок с экрана компьютера на этапе ввода исходных данных для расчета. Все параметры, характеризующие конкретный клинический случай, вводятся в предназначенные для них поля. Для удобства пользователя и уменьшения возможности ошибок форма содержит стандартную кинематическую схему расчета с пояснениями. Для более близкого знакомства с алгоритмом расчета модуль снабжен подробной справочной системой на русском языке.

Результаты расчета выводятся программой в ячейки электронной таблицы и могут быть сохранены в файле, распечатаны, внесены в отчет,

использованы для руководства к действию. По результатам стандартными средствами электронных таблиц могут быть построены различные графики, в том числе графики для сравнения различных режимов distraction.

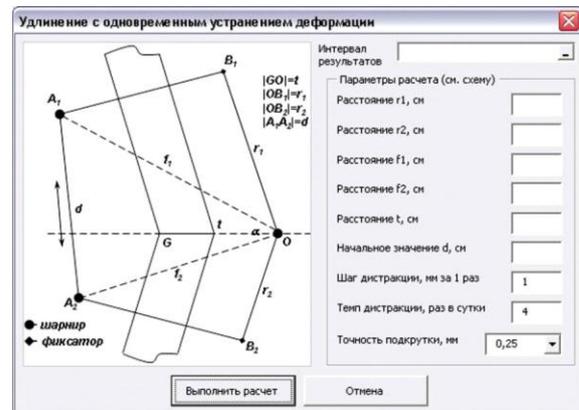


Рис. 4. Снимок с экрана компьютера во время работы модуля LDC на этапе ввода параметров

При выпуске программного продукта ORT предприняты все технические (полное описание технологии и доступные исходные тексты) и правовые (стандартная общественная лицензия GNU, GNU General Public License) меры, чтобы облегчить его правовую защиту, повсеместное распространение и создание новых модулей сторонними разработчиками.

ВЫВОДЫ

Программное обеспечение, разработанное на основе предложенной методики расчета, позволяет:

1. Составить план действий врача-ортопеда по манипуляциям с аппаратом начиная от момента наложения аппарата и до окончания периода distraction. С помощью численного моделирования возможен прогноз срока лечения.
2. Задать величину и дробность distraction. Возможен численный эксперимент с различными значениями данных параметров до достижения оптимального результата.
3. В случае возникновения обстоятельств, повлекших нарушение первоначально просчитанного плана управления аппаратом (например, зафиксированные рентгенологическим

контролем проблемы с ростом регенерата), достигнутые характеристики биомеханической системы могут быть вновь введены в расчет в качестве исходных данных. Затем план оперативно просчитывается заново для актуальной конфигурации аппарата Илизарова, в том числе и для иного режима дробности.

Симбиоз новых биомеханических исследований и современного программного обеспечения позволяет прогнозировать дальнейшее повышение эффективности метода чрескостного остеосинтеза и привлечение к нему внимания тех специалистов, для которых управление аппаратом Илизарова оказалось сложной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выгодский, М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский. – М.: Гос. изд-во технико-теоретич. литерат., 1954.
2. Гайдышев, И. П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++ / И. П. Гайдышев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
3. Гайки Шебуа. Руководство по эксплуатации / Гайки Шебуа – Курган: РНЦ «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова, 2004.
4. Шевцов, В. И. Дефекты костей нижней конечности. Чрескостный остеосинтез по методикам Российского научного центра «ВТО» им. акад. Г. А. Илизарова / В. И. Шевцов, В. Д. Макушин, Л. М. Куфтырев. – М.: ИПП «Заураль», 1996.
5. Шевцов, В. И. Аппарат Илизарова. Биомеханика / В. И. Шевцов, В. А. Немков, Л. В. Скляр. – Курган: Периодика, 1995.
6. Шевцов, В. И. Оперативное удлинение нижних конечностей / В. И. Шевцов, А. В. Попков – М.: Медицина, 1998.

Рукопись поступила 15.09.04.