

Современные технологии повышения точности имплантации при малоинвазивном эндопротезировании коленного сустава на основании математического моделирования

А.А. Алабут, В.Д. Сикилинда, Н.Б. Клименко

Минимально инвазивное эндопротезирование тазобедренного сустава на протяжении последних 10 лет с успехом используется ортопедами-травматологами всего мира [1]. Авторы отмечают клиническую перспективность данного направления. Минимально инвазивная артропластика коленного сустава находится в стадии разработки и становится все более популярной, в связи с накоплением знаний по анатомии, биомеханике и оперативной хирургии [2,3,4]. Основная задача в совершенствовании методики – это повышение точности имплантации эндопротеза в условиях ограниченной видимости [5,6] с помощью навигационных систем [7], артроскопической техники и математического моделирования [8,9,10].

С целью совершенствования техники малоинвазивного эндопротезирования коленного сустава (МЭКС) на основании анатомических исследований нами создана математическая модель и компьютерная программа предоперационного планирования МЭКС, учитывающая антропометрические данные пациента (тип телосложения, размеры надколенника, индекс Insall-Salvati), тип и размер эндопротеза и позволяющая рассчитать минимальный кожный разрез и максимальную растяжимость раны во время операции.

Одним из основных условий выполнения малоинвазивного эндопротезирования коленного сустава является сохранение разгибательного аппарата коленного сустава, без повреждения четырехглавой мышцы бедра с возможностью уменьшения кожного разреза до минимального (7-11 см), но достаточного для проведения всех этапов операции. По результатам анатомических исследований на основании множественных регрессионных

моделей были предложены формулы расчета требуемой величины кожного разреза (Рз) и максимальной растяжимости операционной раны (Р) на каждом этапе операции. Вид модели расчета и ее параметры зависят от пола и типа телосложения больного. Влияющими аргументами в моделях являются физиологические параметры надколенника: длина (Дн), ширина (Шн), толщина (Тн). Диапазон значений этих факторов также связан с параметрами пола и типа телосложения. При планировании операции на разных ее этапах значимы показатели положения надколенника: горизонтальное перемещение (Рн), угол поворота надколенника в градусах (Ун), угла сгибания коленного сустава (Ус). Таким образом, регрессионные множественные модели для определения растяжения разреза, используемые в расчетах, являются зависимостями вида $R=f(Тн, Шн, Дн, Рн, Ун, Рз, Ус)$. В результате были сформированы модели расчета растяжения разреза, вид которых изменялся в зависимости от типа телосложения пациента. Был создан алгоритм и программа предоперационного планирования.

На этапах предоперационного планирования при осмотре пациента определяется тип телосложения, расстояние от нижнего полюса надколенника до бугристости большеберцовой кости, по рентгенограммам определяются параметры надколенника: толщина, длина, ширина. Оцениваются малые и большие признаки дисплазии. Полученные данные вводятся в диалоговое окно компьютерной программы.

Компьютерная программа предоперационного планирования имеет экранную форму, в поля которой вводятся значения исходных параметров и в которой размещаются кнопки для запуска расчета требуемого параметра. База компьютерной программы позволяет задать наиболее известную фирму производитель протезов, модель эндопротеза, требуемые линейные размеры тиббиального и феморального компонента эндопротеза.

При запуске программы пользователь попадает в окно главной кнопочной формы, которая имеет вид, представленный на Рис.1а. Для поиска нужной модели протеза в базе удобно воспользоваться общей таблицей, в

которой представлен полный список всех фирм-производителей, их моделей, размеров и совместимости компонентов эндопротезов. Вызов соответствующего отчета производится при нажатии кнопки. Для ускорения выбора удобно воспользоваться кнопками упорядочения по возрастанию и убыванию. Для этого надо щелкнуть левой кнопкой мыши в любом месте столбца, по которому требуется провести упорядочение, (например, по фирме, размеру A/P и т.д.) и нажать на кнопку упорядочивания по возрастанию или убыванию. То же самое можно осуществить, если в пункте Записи главного меню выбрать подпункт Сортировка.

Ввод новой информации осуществляется по кнопке «Ввод данных» главной кнопочной формы (рис.1б). При этом название фирмы и модель протеза выбираются из раскрывающихся списков, остальные данные вводятся непосредственно с помощью клавиатуры.

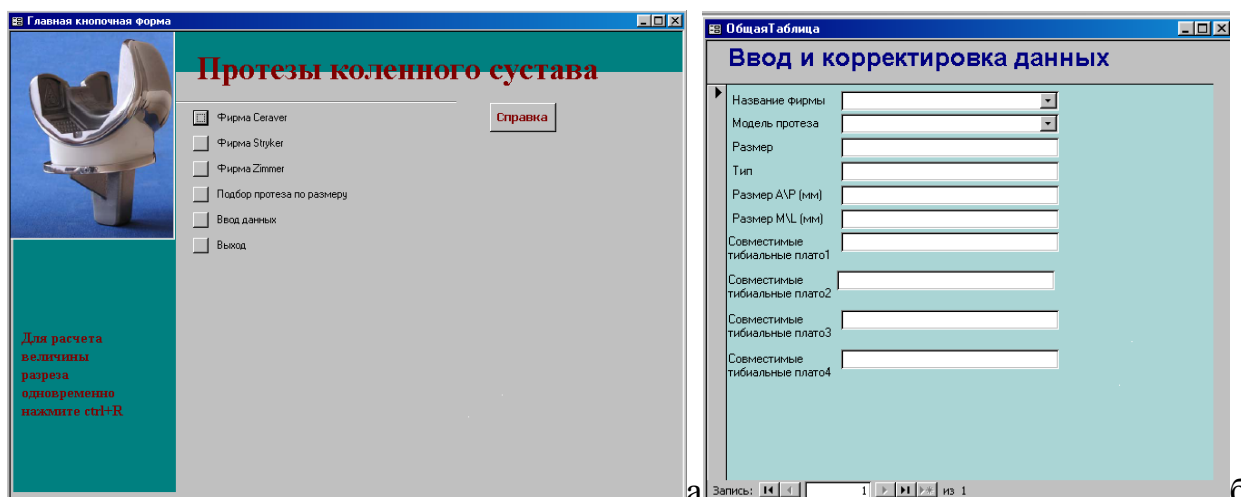


Рис. 1. а – Окно главной кнопочной формы, открывающееся при запуске программы, б – окно ввода новой информации.

Расчет величины разреза может быть произведен в любом месте базы при выборе соответствующего дополнительного пункта главного меню.

При расчете минимальной длины кожного разреза необходимо ввести в окна программы тип телосложения, параметры надколенника больного, предполагаемые условия доступа (угол сгибания в коленном суставе, величина отклонения надколенника), величину максимального растяжения

кожного разреза. Величина растяжимости кожи задается хирургом и определяется габаритами элементов эндопротеза и должна быть обусловлена максимальным, в зависимости от этапа операции, необходимым для установки эндопротеза размером. Если в программу предварительно ввести размеры эндопротеза, а затем задать величину максимального растяжения кожного разреза программа сигнализирует о соответствии или несоответствии, это значит, что требуется увеличить или уменьшить растяжимость. После заполнения всех окон программы и нажатия кнопки «расчет величины разреза» на экраны появляется рекомендуемая минимальная величина кожного разреза, достаточная для выполнения малоинвазивного эндопротезирования коленного сустава на всех этапах.

The screenshot shows a software window titled "UserForm1" with a light blue background. On the left side, there is a section titled "Расчет растяжимости" (Calculation of elasticity) with a yellow label "РАСТЯЖИМОСТЬ" and a text input field containing the value "6.05204". Below it is a cyan button labeled "Длина разреза" (Incision length) and another yellow label "Длина разреза" next to an empty text input field. On the right side, there is a section titled "Тип телосложения" (Body type) with three radio buttons: "Долихоморфный 1", "Мезоморфный 2", and "Брахиморфный 3". Below this are several input fields: "Угол сгибания" (160), "Угол поворота надколенника" (85), "Перемещение по горизонтали" (1), "Длина кожного разреза" (8), "Толщина надколенника" (2), "Ширина надколенника" (4), "Длина надколенника" (6), and "Растяжимость". A central yellow label "Параметры надколенника" (Knee parameters) is also visible.

Рис. 2. Расчет длины кожного разреза.

Кроме этого, в программе можно решить обратную задачу: по заданной величине минимального кожного разреза можно определить максимальную растяжимость тканей и сопоставить ее с габаритами выбранного эндопротеза (рис.2).

Таким образом, программа предоперационного планирования малоинвазивного эндопротезирования коленного сустава позволяет подобрать тип и размер эндопротеза максимально приближенный к физиологическим параметрам пациента. Использование этой программы

повышает точность планирования и подготовки оперативного вмешательства, позволяет определить размеры доступа на различных этапах операции в зависимости от дисплазии и анатомических параметров коленного сустава, повысить точность имплантации эндопротеза.

Литература:

1. Дулаев А.К., Борисов С.А., Богданов А.Н. Анализ результатов минимально инвазивного эндопротезирования тазобедренного сустава при артрозах и переломах шейки бедренной кости. Травматология и ортопедия России. 2006; 2: 99-100.
2. Сикилинда В.Д., Алабут А.В. Малые доступы при эндопротезировании коленного сустава. Травматология и ортопедия России. 2006; 2: 269-270.
3. Scuderi G. R, Tria A.J. Minimally Invasive Surgery in Orthopedics. Springer; 2010.
4. Haas S.B., Lehman A.P., Cook S. Minimally Invasive: Total Knee arthroplasty. In: Bellemans J. Ries M.D., Victor J. Total knee arthroplasty. 2005: 276-281.
5. Bonutti P. Minimally Invasive Total Knee Arthroplasty. Suspended Leg Approach and Arthroscopic-Assisted Techniques In: Scuderi G. R, Tria A.J. Minimally Invasive Surgery in Orthopedics. 2010: 301-308.
6. Stevens J. E., Dayton M., Kohrt W. Effectiveness of Minimally Invasive Total Knee Replacement in Improving Rehabilitation and Function. <http://www.clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00710840>. 2012.
7. Scuderi R.G. Computer navigation in total knee arthroplasty. J. Knee Surg. 2007; 20 (2): 151.
8. Алабут А.В., Трясоруков А.И. Анатомическое обоснование и математическое моделирование малоинвазивного доступа к коленному суставу. Кубанский научный вестник. 2009; 2: 12-16.

9. Семенистая Е.С., Максимов А.В.. О подходе к построению модели дистальных сосудов пригодной для оценки артериального давления. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2012, №4 (часть 2). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p2y2012/1469> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
10. Рачковская Г.С.. Математическое моделирование и компьютерная визуализации сложных геометрических форм [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1498> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.