

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧКИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗРЕЗА КОСТИ**

**Аннотация.** В статье представлена разработка математического алгоритма для определения точки оптимального разреза кости для последующего исправления с помощью аппарата Илизарова.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия врачебного решения, эффект Илизарова, математический алгоритм, точка разреза кости, точка пересечения кости.

**Введение.** Системы поддержки принятия врачебных решений, экспертные системы становятся все более востребованными на фоне общей цифровизации производства и экономики. Известны системы и концепции для ускорения и повышения эффективности работы [1, 2]. Также исследуются интеллектуальные системы, которые предлагают врачу решения в трудных случаях, при этом объясняя предлагаемые решения [3].

Исследования применения систем поддержки принятия врачебного решения показывают перспективы их внедрения [4, 5].

В связи с этим врачам, занимающимся исправлением деформаций костей, было предложено введение в их работу системы поддержки принятия решения для более точного и обоснованного выбора точки разреза искривленной кости.

**Проблема исследования.** На данный момент нами не было найдено ни одной готовой системы поддержки принятия врачебного решения для определения точки оптимального разреза кости для последующего исправления с помощью аппарата Илизарова. Поэтому в данной статье описана разработка математического алгоритма для подобной системы.

**Материалы и методы.** Эффект Илизарова заключается в том, что, если после пересечения кость жестко зафиксировать в правильном положении с помощью аппарата, пространство между фрагментами заполняется костной тканью. Так как все случаи искривления

разные, для каждого пациента точка пересечения кости будет уникальна. На данный момент врачи определяют данную точку, основываясь лишь на своем личном опыте.

После обследования кости определяется анатомическая центральная осевая линия, заданная набором координат всех ее точек. Для минимизации искривления итогового результата необходимо пересекать кость в точке максимального искривления. Кривизна кривой в точке обратно пропорциональна радиусу кривизны в данной точке. Поэтому результатом работы алгоритма должна стать точка, радиус кривизны которой минимален среди всех точек кривой.

Для определения искомой точки используются геометрические методы, так как кривая задана не математической функцией, а набором точек, и алгебраические методы будут потреблять неоправданно больше количество времени и ресурсов. Для более точного расчета на кривой будут браться точки, находящиеся друг от друга на равном расстоянии.

Рассмотрим кривую ABC, заданную точками A, B, C и имитирующую фрагмент анатомической оси кости (рис. 1). Расстояние отрезков AB и BC равны  $x$ . Для вычисления радиуса кривизны в конкретной точке B с координатами  $(x_b, y_b)$  необходимо взять две соседние с ней точки на кривой A  $(x_a, y_a)$  и C  $(x_c, y_c)$ . Затем вычисляется радиус окружности, описанной вокруг треугольника, построенного на данных трех точках.

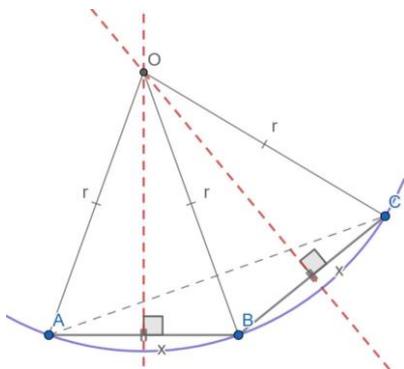


Рис. 1. Кривая ABC, имитирующая фрагмент анатомической оси кости

Радиус описанной вокруг треугольника окружности лежит в точке пересечения серединных перпендикуляров к сторонам данного треугольника. Поэтому для начала вычисляются параметры  $k$  и  $t$  (по формуле  $y = kx + t$ ), описывающие прямые  $p_1$  и  $p_2$ , на которых лежат серединные перпендикуляры к сторонам  $AB$  и  $BC$  соответственно.

$$p_1: \begin{cases} y = k_1x + t_1 \\ k_1 = \frac{x_a - x_b}{y_b - y_a} \\ t_1 = y - k_1x \\ t_1 = \frac{y_a + y_b}{2} - \frac{k_1(x_a + x_b)}{2} \end{cases} \quad (1)$$

$$p_2: \begin{cases} y = k_2x + t_2 \\ k_2 = \frac{x_b - x_c}{y_c - y_b} \\ t_2 = y - k_2x \\ t_2 = \frac{y_b + y_c}{2} - \frac{k_2(x_b + x_c)}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Так как в формуле происходит деление на разность ординат точек отрезка, должна происходить проверка на их несовпадение. Если все  $A$ ,  $B$  и  $C$  лежат на одной горизонтальной прямой, то значение радиуса берется как бесконечность. Если лишь две точки лежат на одной горизонтали (например,  $A$  и  $B$ ), то есть  $y_a = y_b$ , то полноправно можно поменять точки  $B$  и  $C$  местами, тем самым заменив горизонтальный отрезок  $AB$  на наклонный или вертикальный отрезок  $AC$ . Данная операция возможна по причине того, что в любом треугольнике все три серединных перпендикуляра пересекаются в одной точке.

После того, как найдены параметры функций двух серединных перпендикуляров, находятся координаты точки их пересечения. Если коэффициенты  $k$  обеих прямых совпадают, то они параллельны либо не имеют общих точек, либо совпадают. В таком случае радиус

искривления в точке В будет равен бесконечности. Если же прямые не совпадают, то координаты точки  $x_0$  и  $y_0$  вычисляются по приведенной ниже формуле.

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{t_2 - t_1}{k_2 - k_1} \\ y_0 &= k_1 x_0 + t_1 \end{aligned} \quad (3)$$

Найденная точка обозначается как точка О и обозначена на рис. 1.

Точка О является центром описанной окружности треугольника АВС. Радиус  $r$  данной окружности является расстоянием от точки О до любой из вершин треугольника. Данное расстояние вычисляется из координат точек О и А.

$$r = \sqrt{(x_a - x_0)^2 + (y_a - y_0)^2} \quad (4)$$

Таким образом вычисляется  $r$  для каждой из точек кривой, после чего из них выбирается та, для которой значение  $r$  минимально.

**Результаты.** На рис. 2 изображен результат работы разработанного алгоритма и выбор эксперта. Точки планируемого разреза совпали.

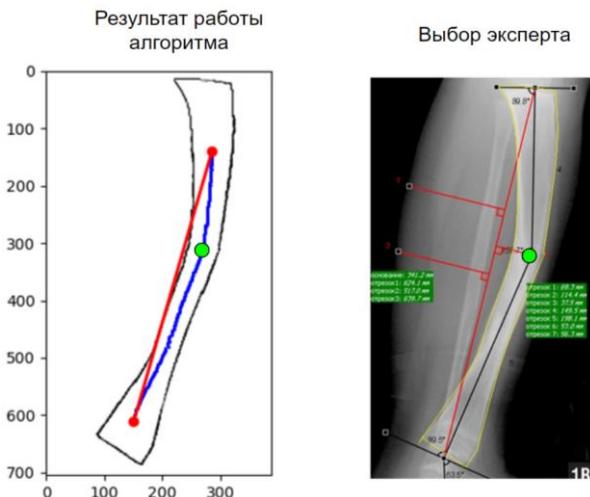


Рис. 2. Результаты

**Заключение.** Полученный алгоритм стал частью системы поддержки принятия врачебного решения, находит точку пересечения кости и математически обосновывает выбор.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Фролов С. В. Система поддержки принятия врачебных решений для формирования протокола ультразвуковых исследований / С. В. Фролов, В. В. Дубровин, А. Ю. Куликов, Р. А. Куликов. — Текст : непосредственный // Врач и информационные технологии. — 2019. — № 1. — С. 64–72.
2. Овчинникова Д. А. Система поддержки принятия решений для управления расписанием и минимизации пропусков врачебных консультаций / Д. А. Овчинникова, И. В. Потапов, Э. Е. Свиридов, А.О. Конради. — Текст : непосредственный // Вестник Росздравнадзора. — 2022. — № 3. — С. 50–55.
3. Кобринский Б. А. Системы поддержки принятия врачебных решений: история и современные решения / Б. А. Кобринский. — Текст : непосредственный // Методология и технология непрерывного профессионального образования. — 2020. — № 4(4). — С. 22–38.
4. Горбань В. И. Система поддержки принятия врачебных решений при сепсисе как важная часть медико-экономической составляющей стационара / В. И. Горбань, М. Ю. Бахтин, А. В. Щеголев, Ю. В. Лобанова. — Текст : непосредственный // Альманах клинической медицины. — 2019. — Т. 47, № 3. — С. 204–211.
5. Федонников А. С. Система поддержки принятия врачебных решений в хирургии позвоночно-тазового комплекса как инструмент автоматизации управления в отрасли / А. С. Федонников, А. С. Колесникова, Ю. Ю. Рожкова, Л.Ю. Коссович. — Текст : непосредственный // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2019. — Т. 15, № 3. — С. 677–782.