

4. Dual energy X ray absorptiometry for bone mineral density and body composition assessment—Vienna :International Atomic Energy Agency—2010—132p.
5. Патент РФ № 2010146142/28, 21.01.2009. Ло Пинань, Хэ Джианглин. Способ и система для определения содержания компонентов в многофазном флюиде // Патент России № 2466383. 2012. Бюл. № 31.
6. Патент РФ № 2007123032/28, 19.06.2007. Гроувз Джоэл, Валле Этьенн, Рейт Питер. Устройство и способ определения доли фазы флюида с использованием рентгеновских лучей // Патент России № 2432570. 2008. Бюл. № 30
7. Патент US № 2/902,473, 12.10.2010. Тюгум С.-А. X-ray based densitometer for multiphase flow measurement // Патент США № 20120087467. 2012
8. Патент US № 07/194,631, 16.05.1988. Хардинг Дж. Radiation source for generating essentially monochromatic x-rays // Патент США № 4903287. 1990
9. Патент US № 07/704,241, 22.05.1991. Хардинг Дж. Monochromatic x-ray tube radiation with a screen of high atomic number for higher fluorescent radiation output // Патент США № 5157704. 1992
10. Грязнов А. Ю. Разработка аппаратурных и методических способов повышения аналитических характеристик энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализатора: Дис. ... канд. техн. наук. – С.-П., 2004. – 132 с.
11. Заявка на патент РФ № 2014122059, 31.05.2014. Гоголев А.С., Резаев Р. О., Черепенников Ю.М.

## **МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КОРРЕКЦИИ ФОРМЫ КОНЕЧНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ДИСТРАКЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ**

*Блынский Ф.Ю.*

Томский политехнический университет

### **Введение**

Компрессионно-дистракционный остеогенезис (КДО) является одной из наиболее эффективных процедур для устранения врожденных и приобретенных патологий скелетно-мышечной системы человека. Первые опыты по клиническому применению КДО проводились в начале XX века, когда итальянский хирург Алессандро Кодивилла провел операцию по удлинению конечности человека [1]. Тем не менее, разработанный в 1950-х годах аппарат Илизарова, стал бесспорным лидером среди подобных систем для травматологии и ортопедии. Г.А. Илизаров считал, что ритм дистракции должен соответствовать эволюционно сформировавшемуся естественному росту костной ткани [2]. Этот ритм, составляющий не менее 60 дистракционных шагов, обеспечивается за счет автоматизированной системы удлинения конечности с регулируемым значением прикладываемых дистракционных усилий.

Помимо заболеваний, требующих дистракцию/компрессию костной ткани, существует ряд патологий, связанных с необходимостью коррекции формы конечности. Выделяют варусную и вальгусную деформации костной ткани (рис. 1 [3]). Данные патологии могут развиваться у разных возрастных групп. Для детей основными причинами заболевания могут стать рахит, нарушение обмена веществ; для подростков дефицит кальция и витамина D, чрезмерная нагрузка на конечность; для взрослых различные травмы и патологические процессы в суставных соединениях.

Наиболее распространенным методом коррекции деформации конечности является дистракционный остеогенезис (ДО). Кроме того, в исследовании [4] описываются преимущества использования непрерывного ДО для ускорения образования костного регенерата. Сложные деформации костной ткани устраняются за счет хирургического вмешательства. Основными недостатками описанных выше методов являются высокая

болезненность для пациента и субъективный компонент при выборе воздействующих на костную ткань дистракционных усилий.



Рис.1. Графические примеры нормальной анатомии нижних конечностей (а), варусной деформации (b), вальгусной деформации (с)

Предлагаемая методика автоматизированной коррекции формы конечности человека устраняет описанные выше недостатки. В ее основе лежит обработка рентгенографических снимков поврежденного сегмента костной ткани и построение геометрической модели данного сегмента. Управление процессом коррекции осуществляется при помощи специализированного программного обеспечения.

### Материалы и методы

Современные системы цифровой обработки рентгенографических снимков предоставляют возможность определения угла деформации костной ткани с высокой точностью. Исследования проводились при помощи программного комплекса обработки рентгенографических снимков NX v. 8800 SU1 фирмы Agfa Healthcare. Были определены углы деформации нижних конечностей 10 пациентов, проходящих лечение в ОГАУЗ "ГБСМП" г. Томска (на рис. 2 представлен пример определения угла деформации в программе NX). Выделение и обработка зоны интереса на снимке осуществлялись при помощи встроенных утилит.



Рис.2. Приложение Agfa NX v. 8800 SU1 с рентгеновским снимком нижней конечности

Для упрощения будущих вычислений значение диаметра кольца опоры аппарата внешней фиксации  $l$  устанавливается равным 160 мм, длины резьбового стержня системы  $r$  равным 200 мм. Пример геометрической модели поврежденной конечности представлен на рис. 3. Главной задачей обработки данной модели является определение значения  $x$ , характеризующего величину деформации костной ткани. По результатам расчетов устанавливается значение усилия, прикладываемого к конечности для устранения деформации. Для установки дистракционных усилий и расчета параметра  $x$  разработано специализированное приложение BDC (Bone Distraction Control) v. 1.0.1.

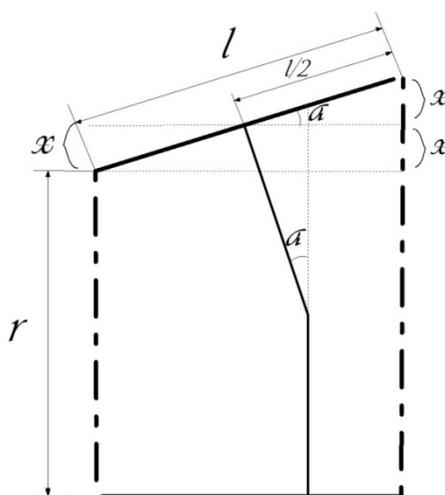


Рис.3. Дефект геометрия модели кости

## Результаты

На рис. 3 обозначено, что поврежденный сегмент костной ткани закрепляется в центре верхней кольцевой опоры аппарата внешней фиксации (точка  $l/2$ ). Переменная  $x$  отображает отклонения верхней опоры аппарата от горизонтального положения в

нормальном состоянии. Алгоритм определения требуемых для коррекции конечности параметров описан ниже:

1. В приложении NX определяется значение угла деформации  $\alpha$ ;
2. Значение  $x$  рассчитывается в приложении BDC v.1.0.1;
3. Определяется коэффициент  $ratio$ , показывающий отношение величин усилий электрических двигателей на разных узлах перемещения дистракционной системы.
4. В соответствии с коэффициентом  $ratio$  устанавливается усилие, генерируемое каждым двигателем системы.

Значения коэффициентов  $x$  и  $ratio$  рассчитываются по формулам ниже:

$$x = \frac{l \cdot \sin(\alpha)}{2} \quad (1)$$

$$ratio = \frac{r + 2x}{2} \quad (2)$$

По умолчанию, усилие, генерируемое электрическими двигателями устанавливается на отметке 50% от их максимального значения. Модель системы представлена на рис. 4, где G1 и G2 пары электрических двигателей, генерирующих дистракционные усилия. Например, если коэффициент  $ratio=1.3$ , то усилие пары моторов G1 составляет 50%, а пары G2 65% ( $50 \times 1.3$ ).

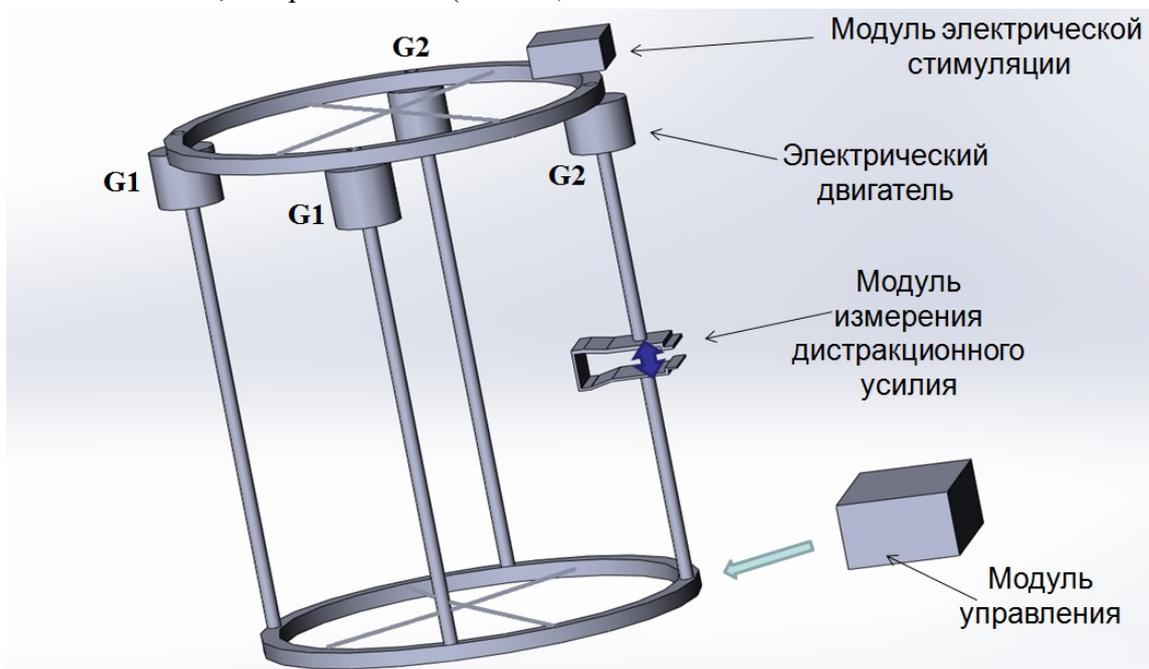


Рис.4. Трехмерная модель системы коррекции формы конечности

Приложение BDC v.1.0.1. создано на основе кроссплатформенного инструментария разработки ПО Qt v. 4.8.4. Главное окно приложения представлено на рис. 5. Измеренное значение угла деформации устанавливается в поле "Angle" приложения. Значения усилий устанавливаются в зависимости от величины коэффициента  $ratio$ . Коммуникация с аппаратной частью системы реализована при помощи интерфейса Bluetooth.

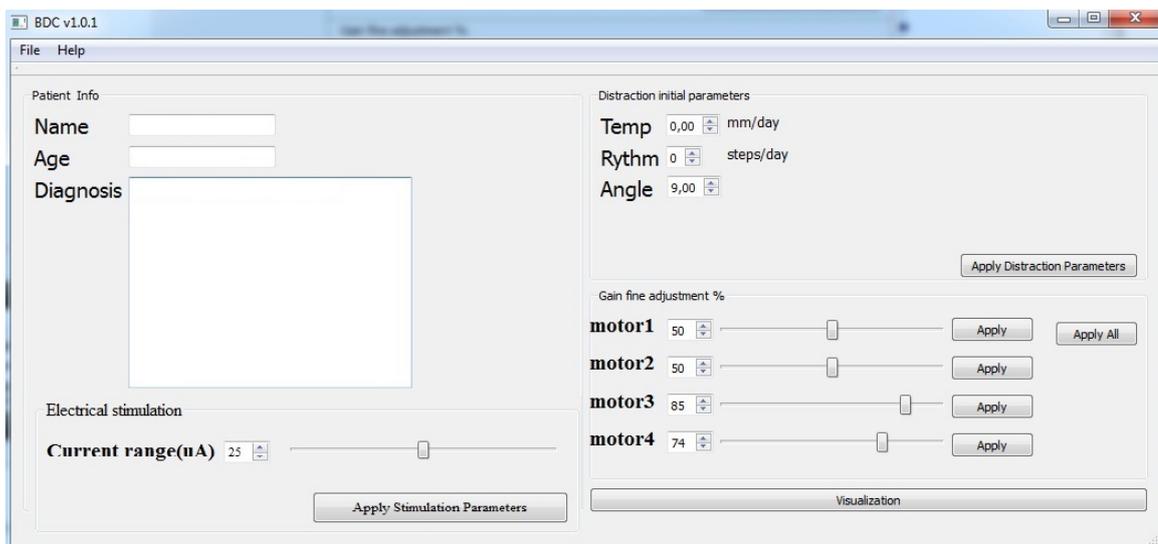


Рис.5. Главное окно приложения BDC v.1.0.1

## Выводы

Разработанный метод предоставляет возможность удаленного контроля процесса коррекции формы конечности человека. Основным достоинством метода является высокоточный расчет значения угла деформации конечности и автоматическое устранение деформации рассматриваемого сегмента костной ткани. Врачам предоставляется возможность адаптации данного метода, путем ручной регулировки величины дистракционных усилий, для учета индивидуальных особенностей пациентов.

## Список использованных источников

1. Reggie C. Hamdy, Juan S. Rendon and Maryam Tabrizian. Distraction Osteogenesis and Its Challenges in Bone Regeneration, Bone Regeneration, Prof. Haim Tal (Ed.), ISBN: 978-953-51-0487-2, InTech, [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.intechopen.com/books/bone-regeneration/distraction-osteogenesis-and-its-challenges-in-bone-regeneration>– язык англ.–свобод. (дата обращения 01.08.2015)
2. Шевцов В.И., Попков А.В. Оперативное удлинение нижних конечностей – М.: Медицина–1998–130с.
3. Workplace and Insurance Appeals Tribunal[Электронный ресурс]/Knee Conditions & Disability –Режим доступа: <http://www.wsiat.on.ca/english/mlo/knee.htm> – язык англ.–свобод. (дата обращения 01.08.2015)
4. Djasim U. M., Mathot B. J., Wolvius E. B., van Neck J. W., van der Wal K. G. H. Histomorphometric comparison between continuous and discontinuous distraction osteogenesis// Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery–2009– V.37–Pp. 398–404