

УДК 621.398

С.Н. КУЛИШ, О.Ю. КАГАН, И.В. ВОЛОШИН

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЗВОНОЧНИКА У ЛЮДЕЙ С ПАТОЛОГИЕЙ**

В данной работе представлена проблема послеоперационной диагностики людей больных сколиозом. Предлагается использовать средства телемедицины для решения данного вопроса. Представлена структурная схема радиотелеметрической системы для регистрации механических параметров в системе «позвоночник - корректирующее устройство». Описаны и дана характеристика датчиков для исследования напряженно-деформированного состояния в имплантируемой корректирующей системе. Сделан анализ напряженного состояния механической системы, выявлены опасные участки. Произведен расчет чувствительности тензорезистора.

телемедицина, телеметрия, имплантируемое устройство, тензодатчик, пьезодатчик, передатчик**Введение**

Хирургическое лечение сколиотической деформации позвоночника является одной из важнейших проблем современной вертебрологии. При сильных искривлениях позвоночника возникает необходимость осуществления трехплоскостной коррекции сколиотического искривления. Для этой цели разработан ряд корригирующих металлоконструкций, которые условно можно разделить на две группы – системы для дорсального спондилодеза (ЗС) и для вентрального спондилодеза (ВСД).

До настоящего времени продолжается дискуссия между сторонниками применения вентральных и дорсальных систем при коррекции сколиотических деформаций позвоночника (дистрактора). Наряду с положительными моментами существует ряд недостатков данного инструментария. Это высокая частота переломов несущего стержня и вырывание винтов и соответственно значительная потеря коррекции деформации в послеоперационном периоде при проведении ВСД (рис. 1). Травматичность оперативного доступа, нарушение сагиттального контура позвоночника в процессе роста пациента, невозможность применения инструментария при верхне-

грудных деформациях, риск развития воспалительного процесса в плевральной полости из-за необходимости нахождения конструкции в области вентральных отделов позвоночника.

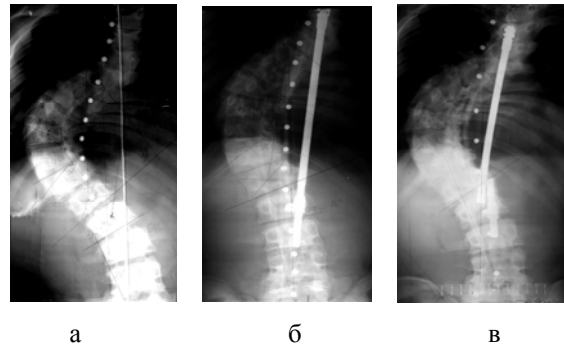


Рис. 1. Рентгеновские снимки:

- а – сколиотическое искривление позвоночника;
- б – зафиксированный дистрактор;
- в – разрушение конструкции дистрактора

Проведенные клинические и экспериментальные исследования по сравнению результатов применения дорсального и вентрального инструментария не позволили получить однозначный результат.

В настоящее время в экспериментальных исследованиях напряженно-деформированного состояния (НДС) широкое распространение получил метод конечных элементов (МКЭ). Исследованию НДС как отдельных позвонков, так и отделов позвоноч-

ника с помощью МКЭ посвящено довольно много исследований [1, 2]. В соответствующих работах исследовано поведение позвоночника как в норме, так и при различных патологических состояниях. Проведены исследования НДС позвоночника с различными фиксирующими устройствами, а также исследования, посвященные сравнительному анализу влияния различных металлоконструкций на НДС позвоночника и выбора оптимального варианта инструментария [2]. К сожалению, не проводятся экспериментальные исследования НДС системы «позвоночник-фиксирующее устройство» в реальных условиях. Возможность проведения таких исследований позволят реально оценить нагрузки, возникающие в позвоночном столбе и фиксирующем устройстве, чтобы в дальнейшем оптимизировать данные конструкции и повысить эффективность операций у больных со сколиотическим искривлением позвоночника.

Появление и развитие новейших высоких технологий коснулось всех областей человеческой жизни, науки и производства, в том числе и медицины. Использование компьютерной техники и различных телекоммуникационных технологий в медицинской практике привело к возникновению совершенно новой отрасли здравоохранения. Развитие компьютерных технологий и миниатюризация электроники являются новым толчком к развитию биорадиотелеметрии – регистрации физиологических данных на расстоянии посредством радиосвязи.

За последние 30 лет накоплен значительный опыт по созданию различных биотелеметрических приборов и систем. Надо отметить, что данные системы разрабатываются в основном для изучения физиологических параметров сердечно-сосудистой системы, офтальмологии [3, 4]. Так, существуют радиотелеметрические устройства по контролю кровяного давления, частоты сердечных сокращений, биотоков мышц сердца, различных силовых компонентов, гемодинамики, контролю внутриглазного давления у больных глаукомой. Создаются много-

канальные телеметрические приборы, которые позволяют передавать электромиограммы, электрокардиограммы [4].

Разработка телеметрической системы

Предлагается использовать средства телемедицины для диагностики НДС в системе «позвоночник-фиксирующее устройство» у больных с тяжелыми патологиями позвоночника в послеоперационный период. Биорадиотелеметрическая система (БРТМС) система позволит проводить исследования распределений нагрузок в имплантируемой системе опорно-двигательного аппарата в реальном масштабе времени, не ограничивая человека в движении, не доставляя ощутимого дискомфорта. Это позволит врачу оптимизировать процесс послеоперационной реабилитации, более точно оценить надежность тех или иных погружных имплантируемых устройств, выявить основные недостатки этих конструкций.

Радиотелеметрическая система состоит из имплантируемого устройства и внешнего накопительного устройства (рис. 2).

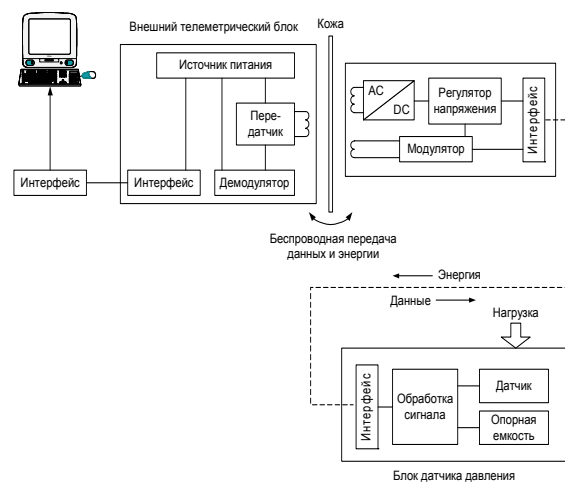


Рис. 2. Структурная схема имплантируемой системы

Имплантируемая система состоит из двух блоков: измерительного устройства и имплантируемого телеметрического блока.

Для разработки конструкции измерительной сис-

темы изучены модели позвоночной системы грудного отдела при различных условиях нагружения [1]. Выявлены области позвонков и металлических стержней с повышенным напряженным состоянием. Для регистрации НДС в этих участках в реальных условиях предлагается измерительная система, включающая в себя систему датчиков.

Для выбора измерительного датчика исследовали деформации, возникающие в данной системе, рассчитали чувствительность тензорезистора (1).

$$S_T = \frac{m}{S \cdot E} \quad (1)$$

где S_T – чувствительность тензорезистора;

m – масса тела;

S – площадь поперечного сечения;

E – модуль Юнга.

В нашем случае m – масса тела человека, которая давит на имплантируемую конструкцию, при расчетах берем 50кг. Площадь поперечного сечения – сечение титанового дистрактора диаметром 5 мм. В ходе расчетов установлено, что $S = 19,62 \text{ мм}^2$ модуль Юнга для титановой конструкции равен 210000 МПа.

Чувствительность проволочных тензодатчиков лежит в диапазоне 1,8-2,2 еод, проводниковых – до 200 еод. В нашем случае имеем тензочувствительность, равную 12 еод, поэтому выбираем полупроводниковые тензодатчики. Недостатком полупроводниковых тензодатчиков является высокая температурная чувствительность. В нашем случае этим фактором можно пренебречь, так как температура постоянная и равна приблизительно 37° . Пьезорезистивные тензодатчики приклеиваются непосредственно к телу позвонка или фиксирующему устройству, и регистрируют деформацию растяжения-сжатия.

Для исследования динамических нагрузок на поверхности межпозвоночного диска предлагаем пьезорезистивный датчик давления емкостного типа. Конструкции подобных датчиков исследовали и

разрабатывали американские специалисты [5]. Предлагаемый датчик расположен в кольцевой области катушки индуктивности. Используется датчик с изменяющейся емкостью 0,3...4пФ. Катушка индуктивности интегрирована на поверхность датчика, ведет себя как индуктивность и как антенна, позволяя датчику как получать, так и отдавать энергию. Размер плоской катушки индуктивности $1 \times 1 \text{ мм}$. Катушка изготовлена из высокорезистивного кремния, чтобы уменьшить ослабление сигналов. Структурная схема емкостного датчика давления представлена на рис. 3.

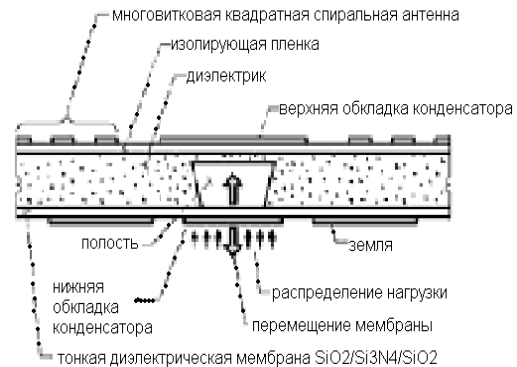


Рис. 3. Структурная схема телеметрического емкостного датчика давления

Начальная оценка, основанная на значениях емкости датчика давления, показывает, что индуктивность (L) с коэффициентом добротности (Q) приблизительно равны 150 нГн и 10 соответственно, является приемлемой для вышеописанных применений. В работе проанализировали диэлектрические свойства тканей, коэффициент поглощения радиоволн биотканями. Исходя из полученных данных, выбрали рабочий диапазон частот устройства, он находится в пределах от 200 до 700 МГц.

Для передачи данных используются два канала. Данные с измерительных преобразователей поступают на имплантируемый телеметрический блок, где моделируются, усиливаются и передаются на внешнее устройство с помощью электромагнитной индукции. Частота генерируемого телеметрического

сигнала лежит в диапазоне от 230 до 670 МГц. Генерируемая радиочастота гарантирует минимальное локальное нагревание ткани и поглощение частями тела, глазами или мозгом. Антенна внешнего устройства должна быть расположена на расстоянии приблизительно 10 см от катушки индуктивности. Телеметрическая радиочастота имеет коэффициентом сигнал-шум лучше, чем 20 dB, нагревание биотканей и поглощение частями тела минимальны. Внешнее накопительное устройство состоит из телеметрического блока приема информации, блока управления, где осуществляется преобразование информации в цифровую форму, блока питания. Передача данных с накопительного устройства может передаваться на персональный компьютер, как проводным способом, так и беспроводным (Bluetooth). Современные достижения в технологии микроэлектроники позволяют минимизировать имплантируемые конструкции, использовать малые мощности для передачи данных.

Выводы

Предложен метод радиотелеметрии для исследования механического состояния системы «позвоночник-корректирующее устройство» у людей с патологией позвоночника, для дальнейшего анализа и принятия оптимальных решений в процессе лечения и послеоперационной реабилитации. Такая телеметрическая система позволит решить ряд важных задач, связанных с дальнейшим усовершенствованием погружных конструкций и протезируемых материалов.

Проведен анализ тензочувствительности системы. Предложены полупроводниковые тензорезистивные и пьезорезистивные датчики для регистрации механических изменений, возникающих имплантируемых титановых конструкциях и на поверхностях двигательных сегментов позвоночника.

Проанализирован диэлектрическую проницаемость тканей и коэффициент поглощения радиоволн, выбран рабочий диапазон частот телеметрической системы, равный 200 – 700 МГц. Генерируемая радиочастота сигнала лежит в диапазоне 230 – 670 МГц. Представлены основные количественные параметры телеметрической системы

Литература

1. Барыш А.Е. Конечно-элементное бисегментарное моделирование позвоночных двигательных сегментов С4-С6 // Медицина и ... – 2006. – № 1. – С. 27-32.
2. Мезенцев А.А., Петренко Д.Е., Мителева З.М., Ярьско А.В. Исследование напряженно-деформированного состояния системы «позвоночник-фиксирующее устройство» при различных вариантах фиксации // Медицина и ... – 2006. – № 3. – С. 48-51.
3. Derec P.P., Lindsey, Eric L. McKee, Stephen M. Howell. A New Technique for Transmission of Signals from Implantable Transducers // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 1998. – № 5. – P. 614-618.
4. Rainee N. Simons, David G. Hall, Félix A. Miranda. RF Telemetry System for an Implantable BioMEMS Sensor // Microsystems Technologies. – 2001. – № 7. – P. 55-62.
5. Wei Kong, Jian Huang, Dennis L. Rollins, Raymond E. Ideker. A semi-implantable multichannel telemetry system for continuous electrical, mechanical and hemodynamical recordings in animal cardiac research // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2004. – № 6. – P. 528-532.

Поступила в редакцию 27.02.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.С. Макурин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.