

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра математической теории
упругости и биомеханики

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ ВИНТОВ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы

направления 01.03.03 - Механика и математическое моделирование

механико – математического факультета

Артеменко Валерии Сергеевны

Научный руководитель

д.ф.-м.н., доцент

Д. В. Иванов

Зав. кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

Л.Ю. Коссович

Введение. Спинальная хирургия за годы своего существования претерпела значительные изменения, а транспедикулярная винтовая фиксация является одним из популярных методов лечения патологий позвоночника. Транспедикулярные винты используются для обеспечения стабильности и сращения позвоночного сегмента путем закрепления винтов в теле позвонка через педикулу. Несмотря на растущую популярность этой методики, биомеханическое поведение транспедикулярных винтов остается не до конца изученным. Более того, эффективность различных типов резьбы, используемых в конструкции винтов, все еще остается активной областью исследований.

Объектом данного исследования является техника транспедикулярной винтовой фиксации, широко используемая для лечения патологий позвоночника.

Предметом исследования являются биомеханические модели (с трехмерной резьбой, без резьбы и с виртуальной резьбой) транспедикулярного винта, установленного в позвонок пояснично-крестцового сегмента позвоночника.

Цель данного исследования – провести сравнительный биомеханический анализ способов моделирования резьбы транспедикулярных винтов и выбрать среди них наиболее эффективный.

Задачи исследования:

- Построить трёхмерные твердотельные модели транспедикулярных винтов (с трехмерной резьбой и без резьбы).
- Совместить модели транспедикулярных винтов с трехмерной твердотельной моделью детского поясничного позвонка.
- Поставить и численно решить задачи биомеханики для модели «позвонок-винт» для трех вариантов моделирования резьбы винта: трехмерная резьба, без резьбы и виртуальная резьба.
- Сравнить биомеханическое поведение транспедикулярного винта в зависимости от способа моделирования резьбы и выбрать среди рассмотренных наиболее эффективный.

Достижение этих целей позволит оценить, какая конструкция винтов самая оптимальная, что в следствии может улучшить результаты хирургического вмешательства и повысить качество жизни пациентов, страдающих патологиями позвоночника.

На основании имеющейся литературы по транспедикулярной винтовой фиксации и конструкции резьбы, **гипотеза** данного исследования заключается в том, что при сравнительном биомеханическом анализе, опираясь в первую очередь на модель винта с резьбой(как эталонную), предполагается, что модель винта с виртуальной резьбой должна давать наилучший(наиболее наглядный) результат, что в следствии дает нам право предполагать – нет необходимости моделировать винт с реальной резьбой, т.к. виртуальная является наиболее оптимальным выходом.

Методология исследования включает вычислительный подход с использованием анализа методом конечных элементов (FEA) для моделирования механического поведения транспедикулярных винтов с различной конструкцией резьбы. FEA - это численный метод, позволяющий моделировать сложные механические системы и предсказывать распределение напряжений и деформаций в системе. В данном исследовании FEA будет использоваться для моделирования поведения транспедикулярных винтов в различных условиях нагрузки и анализа влияния шага резьбы, угла спирали и глубины резьбы на стабильность винта и его несущую способность.

Основное содержание работы. В данной работе была рассмотрена транспедикулярная фиксация позвонка посредством винта с 3 разными дизайнами резьб. Первый тип – стандартный винт с длиной 40 мм, углом наклона 80,61, шагом резьбы 1,88 мм.

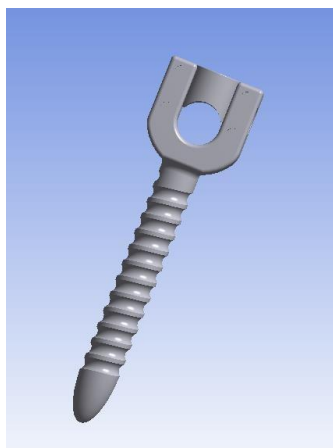


Рисунок 1 – Винт с резьбой

Второй тип – без резьбы, смоделированный с помощью программного обеспечения SolidWorks, на основе уже имеющегося винта с резьбой.



Рисунок 2 – Винт без резьбы

Третий тип – винт резьба которого создана виртуально, непосредственно с помощью ПО Ansys. Эта методика называется bolt thread contact technique, определяется на основе всех геометрических характеристик резьбы.

Таким образом, после получения всех необходимых конструкций(винтов) их было необходимо правильно и одинаково расположить в позвонке для получения корректных значений. Конкретно, винт должен проходить через поперечный отросток и проходить, как сквозь кортикальный слой, так и через губчатый. Также, винт должен быть расположен либо параллельно

замыкательной пластинке позвонка, либо «нос» винта должен смотреть немного вниз.

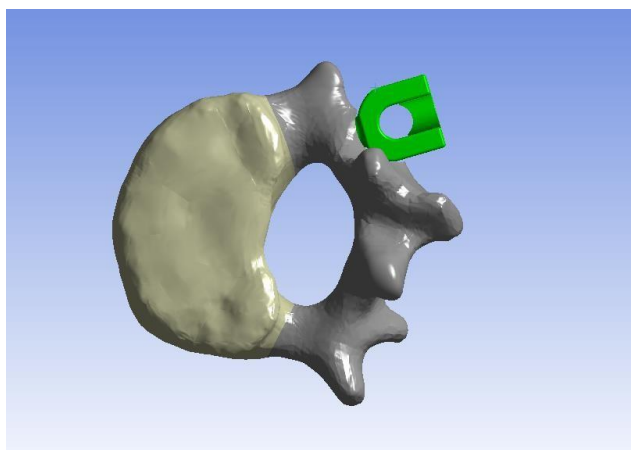


Рисунок 3 – Пример расположения винта в позвонке (прохождение через поперечный отросток)

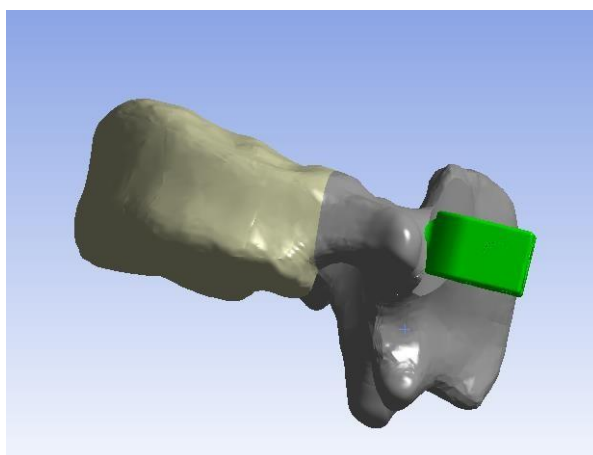


Рисунок 4 – пример расположения винта в позвонке (параллельность оси винта замыкательной пластинке)

Анализ напряженно–деформированного состояния. Напряженно–деформированное состояние (НДС) – это состояние твердого тела, которое характеризуется сочетанием внутренних напряжений и деформаций. В простых случаях напряженно–деформированное состояние может быть описано законом Гука, который устанавливает линейную зависимость между напряжением и деформацией.

Винт – это механическое устройство, которое используется для соединения деталей и передачи усилий. Анализ напряженно–деформированного

состояния винта зависит от его конструкции, размеров и материала, из которого он изготовлен.

Сначала приведем поля перемещений для трех рассмотренных моделей. На рисунке 5 показаны поля перемещений в миллиметрах.

Максимальные перемещения для всех моделей не превысили 1,2 мм. Но по модели с винтом без резьбы можно увидеть, что максимальные перемещения расположены на поверхности всей модели, что говорит о некорректности результатов.

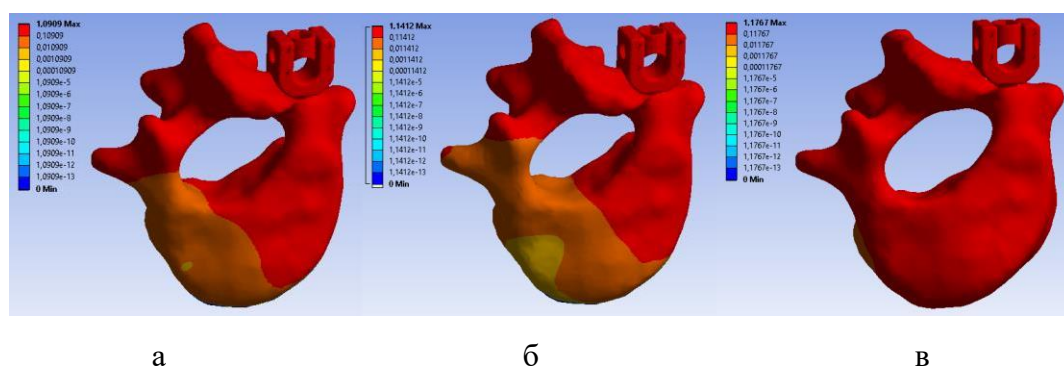


Рисунок 5 – Поля перемещений, мм: модель позвонок–винт с трехмерной резьбой (а); модель позвонок–винт с виртуальной резьбой (б); модель позвонок–винт без резьбы (в)

Из данных рисунков следует, что у моделей позвонок – винт с трехмерной резьбой и позвонок – винт с виртуальной резьбой поля перемещений схожие, а модель позвонок – винт без резьбы сильно отличается от двух первых вариантов, то есть качественно трехмерная и виртуальная резьба дают одинаковые результаты.

Один из методов для анализа напряженно–деформированного состояния винта – это метод конечных элементов (МКЭ). МКЭ позволяет смоделировать винт и рассчитать его деформации и напряжения при различных нагрузках и условиях эксплуатации. В рамках МКЭ винт моделируется как набор конечных элементов, которые соединены друг с другом узлами. Узлы представляют точки соединения элементов, а элементы – малые участки винта, которые имеют определенную форму и размеры.

После построения модели винта и задания граничных условий, например,

приложения нагрузки или закрепления винта, проводится расчет напряженно–деформированного состояния. Результаты расчета позволяют определить основные параметры, такие как напряжения и деформации в различных участках винта, а также определить наиболее критические места, где могут возникать локальные напряжения и деформации, приводящие к разрушению винта.

Кроме МКЭ, существует ряд аналитических методов, которые могут использоваться для анализа напряженно–деформированного состояния винта. Одним из таких методов является теория упругости, которая позволяет рассчитать напряжения и деформации в упругих материалах при приложении нагрузок. Однако, в реальных условиях, например, при сильном изгибе или наличии нелинейных деформаций, аналитические методы могут быть недостаточно точными, и в этом случае МКЭ может быть более предпочтительным методом.

В целом, анализ напряженно–деформированного состояния винта необходим для определения его механических свойств и устойчивости в работе. Эти данные могут быть использованы при проектировании и выборе винта для конкретных приложений. Кроме того, анализ НДС винта может помочь определить оптимальные параметры нагрузки и эксплуатации, что в свою очередь может улучшить производительность и долговечность соединяемых деталей.

Также необходимо понимать, что такое эквивалентные напряжения – напряжения – это напряжения, которые характеризуют состояние напряженности в материале, учитывая все три направления напряженности: продольное, поперечное и касательное.

В целом, эквивалентные напряжения являются важным инструментом для оценки состояния напряженности в материалах и конструкциях под различными видами нагрузок. Они позволяют инженерам и ученым определить, какие виды нагрузок могут вызвать разрушение материала, и какие конструктивные изменения могут улучшить прочность и надежность

конструкций.

Формула для расчета эквивалентных напряжений по Мизесу (1):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + 6(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{13}^2))}, \quad (10)$$

где σ_{ij} – компоненты – тензора деформаций, $i, j = 1, 2, 3$.

Эта формула основана на гипотезе о равенстве энергии деформации в различных направлениях и применяется для определения наиболее вероятного места разрушения в материале.

Поля напряжений для моделей позвонок–винт с трехмерной резьбой (рисунок 6), позвонок–винт с виртуальной резьбой (рисунок 7), позвонок–винт без резьбы (рисунок 8):

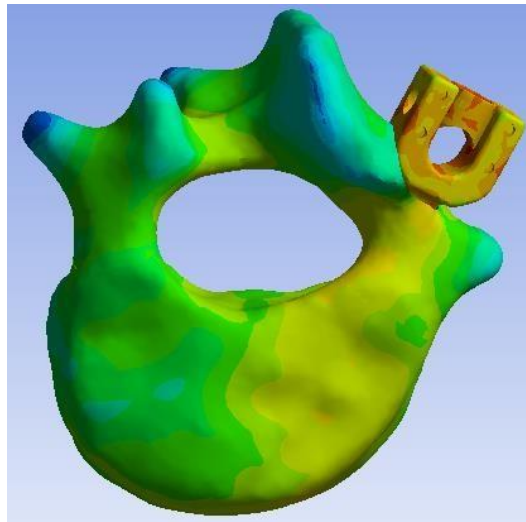


Рисунок 6 – Поле напряжений на модели позвонок–винт с трехмерной резьбой

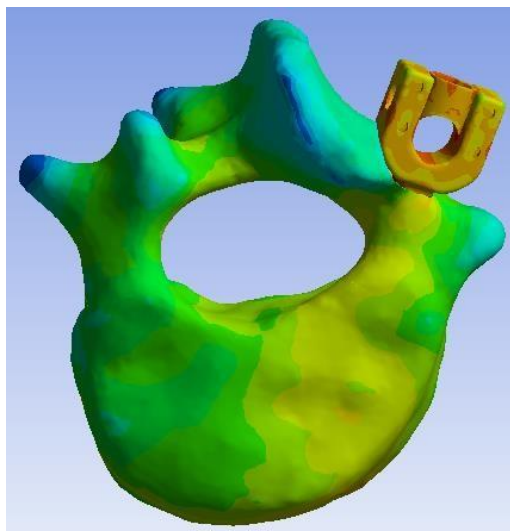


Рисунок 7– Поле напряжений модели позвонок–винт с виртуальной резьбой

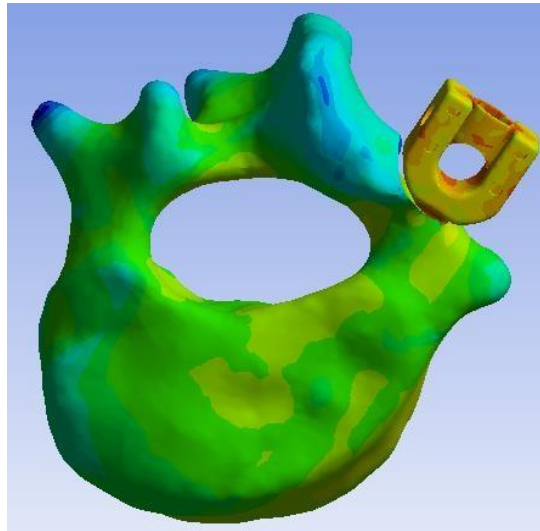


Рисунок 8 – Поле напряжений модели позвонок–винт без резьбы

Из вышеупомянутых рисунков можно сделать следующие выводы: поля напряжений у моделей позвонок–винт с трехмерной резьбой и позвонок–винт с виртуальной резьбой крайне схожие, что подтверждает корректность построения виртуальной резьбы; далее, если говорить о модели позвонок–винт без резьбы, то мы видим «рваные» участки полей напряжений, это говорит о недостаточной фиксации, что может привести к некорректным результатам расчетов.

В связи с анализом, проведенным с целыми моделями, появилась необходимость оценить напряжения на всех трех винтах: как эталонный брался винт с трехмерной резьбой (рисунок 9), соответственно сравнивались с ним винты с виртуальной резьбой (рисунок 10) и без резьбы (рисунок 11).

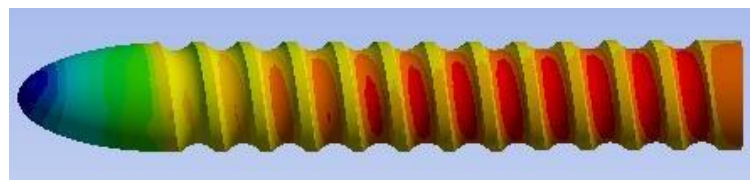


Рисунок 9 – Поле напряжений винта с трехмерной резьбой



Рисунок 10 – Поле напряжений винта с виртуальной резьбой

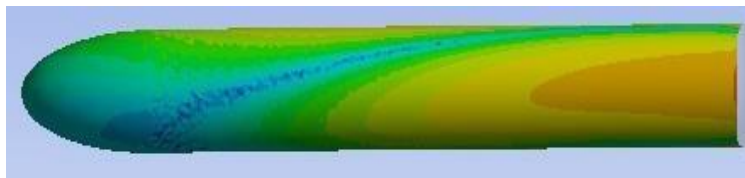


Рисунок 11– Поле напряжений винта без резьбы

Поле напряжений виртуальной резьбы прорисовывается в виде линий равных напряжений, называемых изолиниями напряжений. Эти линии соответствуют различным значениям напряжений в разных точках поверхности, и они обычно изображаются в виде кривых линий, расположенных вдоль поверхности.

Помимо всего вышесказанного проводился количественный анализ, чтобы удостовериться в идентичности результатов при расчетах напряжений винтов с трехмерной (рисунок 20) и виртуальной резьбой (рисунок 21), а также различие винтов с трехмерной резьбой (рисунок 20) и без резьбы (рисунок 22). Значения брались на расстоянии $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ от начала винта:



Рисунок 12 – Точечные значения напряжений на винте с трехмерной резьбой



Рисунок 13 – Точечные значения напряжений на винте с виртуальной резьбой

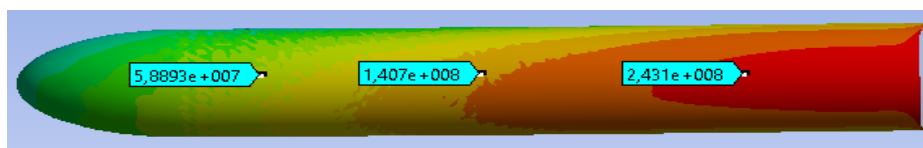


Рисунок 14 – Точечные значения напряжений на винте без резьбы

Заключение. В данной работе были решены следующие задачи: построены твердотельные модели винтов (с резьбой, без резьбы и с виртуальной резьбой), которые в дальнейшем были совмещены с позвонком, после чего был проведен анализ относительно винтов с резьбой и без резьбы. Из проведенного анализа можно сделать следующие выводы: на основании результатов проведенного анализа можно заключить, что винты с резьбой являются более эффективными и надежными, чем винты без резьбы. Резьба на винте позволяет ему более плотно закрепляться в костной ткани, что увеличивает степень жесткости крепления и устойчивость конструкции. Кроме того, винты с резьбой обладают более высокой устойчивостью к нагрузкам, что важно для обеспечения долговременной стабильности конструкции. Они также обеспечивают более надежное и стабильное крепление костных фрагментов.

На основании проведенного анализа можно заключить, что винты с виртуальной резьбой являются более эффективными и удобными в использовании, чем винты с трехмерной резьбой. Виртуальная резьба позволяет смоделировать резьбу на винте без реального наличия резьбы, что позволяет сократить время обработки и исследования.