

«Согласен и подтверждаю»
Проректор по научной работе
Санкт-Петербургского государственного университета



Н.Г.Скворцов
21 октября 2011 года

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Ю.В. Акулича «Биомеханика адаптационных процессов в костной ткани нижней конечности человека», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика.

Тема представленной к защите диссертационной работы лежит на стыке двух фундаментальных дисциплин – физиологии и механики – и поэтому естественным образом объединяет их специфические особенности в единый комплекс, требующий тщательного и не совсем традиционного анализа. Нет необходимости говорить о том, сколь важное значение имеет биомеханический анализ нормального и патологического функционирования любого органа человека для разработки новых методов его лечения или коррекции. Задача объективной оценки состояния опорно-двигательного аппарата нижних конечностей человека, проблемы адаптации костной ткани к изменяющимся нагрузкам, позволяющие прогнозировать поведение костной ткани после хирургического вмешательства, стимулировали интерес врачей к проблемам биомеханики, что в свою очередь пробудило ответный интерес со стороны специалистов – механиков и математиков к новому классу задач.

Этот взаимный интерес, нарастающий в последнее время, лишний раз свидетельствует как о новизне, так и об актуальности рассматриваемых в диссертации проблем современной науки и практики. Направленность и содержание диссертации зарождались в тесном контакте с врачами – ортопедами и отвечают на острые вопросы современной медицины.

Переходя к обсуждению конкретного содержания диссертации необходимо отметить общую цель поставленных и изученных в ней задач и полученных результатов. Эта цель состоит в построении адекватной биомеханической модели адаптационных процессов костной ткани, удовлетворяющей требованиям медицинской практики, и применении к решению проблем травматологии и ортопедии. В первой главе диссертации обсуждается современное состояние биомеханического моделирования процесса адаптации костной ткани к изменяющимся нагрузкам, представлен обзор литературы по данному вопросу. Отмечается, что физиологические механизмы адаптации костной ткани окончательно не установлены, но имеется несколько концепций, позволяющих получать близкие к наблюдаемым в клинике результаты. Проведен анализ имеющихся концепций и отмечаются недостатки существующих моделей. Отмечается необходимость индивидуального подхода. Таким образом, представленный в первой главе анализ, обосновывает актуальность диссертации.

Во второй и третьей главах представлена теоретическая часть работы – построение механической модели адаптации костной ткани. Обсуждаются основные ограничения, которые вводятся при построении модели – «исследования относятся к периоду жизни человека старше 20 лет», чтобы не учитывать период формирования структуры и независимо от роста костной ткани; не учитываются остаточные напряжения, т.е. кость без нагрузки рассматривается как ненапряженная конструкция. Также предполагается, что процесс адаптации к статическим нагрузкам рассматривается независимо от адаптации к быстрым циклическим нагрузкам, которые в модели не учитываются. Предложено рассматривать двухуровневую структурную модель костной ткани. На первом уровне модель учитывает однородное вещество пористой структуры кости (матрикс) и мягкие ткани с водой, заполняющей поры. На втором уровне рассматривается только матрикс и предполагается, что вещество кости неоднородно и состоит из двух компонент – минеральной и органической. Такой подход позволил учесть влияние адаптации на изменение минеральной компоненты состава костной

ткани, сформулировать единые определяющие соотношения для обоих видов костной ткани. Предполагается, что индивидуальность представленной модели адаптации в губчатой костной ткани достигается благодаря использованию размеров кости и механических (плотность) свойств костной ткани пациента, полученных на стадии предоперационного обследования. Для этого совместно с травматологами разработана новая методика предоперационного рентгенологического обследования, позволяющая *in vivo* определять локальную объемную оптическую плотность костной ткани, по которой с помощью экспериментально установленных зависимостей определяются необходимые характеристики. Как отмечено в диссертации методика не требует дополнительного оборудования и реализована в клинике.

Математическая модель адаптации содержит уравнение структурной адаптации, устанавливающее связь скорости изменения параметров структуры (радиуса пор) с активностью костных клеток и введенным деформационным стимулом адаптации и уравнение адаптационного изменения тензора жесткости костной ткани. Уравнение содержит деформационный стимул адаптации и тензор четвертого ранга, определенный как тензор чувствительности скорости изменения компонент тензора жесткости к деформационному стимулу адаптации. В предположении неизменности типа анизотропии костной ткани в процессе адаптации, которая, как правило, с некоторым приближением наблюдается в медицинской практике, все компоненты тензора представляются аналитическими выражениями после дифференцирования соответствующих им компонент тензора жесткости. В модель адаптации костной ткани вводится новое определяющее соотношение адаптационной линейной пороупругости. В представленной форме это соотношение содержит слагаемые, описывающие, как деформационные, так и приспособительные свойства костной ткани. Единообразие формы полученных определяющего и кинетических соотношений как дифференциальных уравнений первого порядка упрощают алгоритм расчета. Начально-краевая задача общего вида, содержащая полную систему введенных уравнений, решается численно.

В главах 4-6 описана важная часть диссертационного исследования - применение разработанной математической модели к решению проблем травматологии и ортопедии, требующих учета адаптационных свойств костной ткани: остеосинтез шейки бедра резьбовыми фиксаторами (глава 4), взаимодействие бедренной компоненты эндопротеза тазобедренного сустава с костью (глава 5) и реабилитация костной ткани после вынужденной

иммобилизации конечности (глава 6). Для использования предложенной модели на практике разработана новая экспериментальная методика установления зависимостей радиуса пор и физических свойств губчатой костной ткани от локальной объемной оптической плотности образца, позволяющая определять индивидуальные свойства костной ткани пациента, как в предоперационном периоде, так и в процессе сращения перелома. В результате моделирования остеосинтеза шейки бедра резьбовыми фиксаторами подтверждена адекватность разработанной биомеханической модели адаптации и создана новая хирургическая методика выполнения данной операции, успешно применяемая в клинике.

При решении второй проблемы травматологии – взаимодействие бедренной компоненты эндопротеза тазобедренного сустава с костью – моделировалась структурная адаптация в кортикальной костной ткани, охватывающей ножку эндопротеза. Предложен критерий непосредственного вычисления потери массы кости и установлен биологический ресурс кости.

Представляется важным, что работа выполнялась в тесном контакте с врачами, и полученные практические результаты используются в клинике, что подтверждается Актом внедрения.

Разработанные в диссертации положения вносят значительный вклад в развитие теоретических и экспериментальных методов биомеханики костной системы человека.

По содержанию диссертации можно сделать следующие замечания:

1. Недостаточно исследован вопрос о соотношении между ролью быстрых и медленных нагружений в адаптационных процессах.
2. Известно, что костная ткань существенно меняет свои свойства с возрастом. По некоторым данным модуль упругости костной ткани с двадцати до пятидесяти лет может меняться на два порядка. Не случайно чаще всего травмы, связанные с переломом шейки бедра, имеют пациенты в возрасте старше 55 лет. Однако в работе отсутствует учет влияния возраста пациента на ремоделирующую активность костных клеток.
3. Не понятно, почему при моделировании остеосинтеза шейки бедра учитываются свойства только губчатой ткани, а наружный более плотный и твердый слой костной ткани в расчет не принимается.

Приведенные замечания не снижают научной новизны и практической ценности выполненной работы.

Представленная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.02.08 – Биомеханика, а соискатель Акулич Юрий Владимирович заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Автореферат адекватно отражает объем и содержание диссертационной работы.

Отзыв составлен д.ф.м.н., профессором кафедры «Теоретической и прикладной механики» С.М. Бауэр.

Отзыв заслушан на заседании кафедры «Теоретической и прикладной механики» 20 октября 2011 г., протокол № 12/2011.

Зав. Кафедрой «Теоретической и прикладной механики», проф., д.ф.м. н.


Говестик П.Е.

Подпись 
заверяю 
20.10.2011