

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРОГНОЗ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОСТНОЙ ТКАНИ БЕДРЕННОЙ ГОЛОВКИ В ПРОЦЕССЕ ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ

Ю.В. Акулич¹, А.С. Денисов², Ю.И. Няшин¹, Р.М. Подгаец¹, А.Ю. Акулич²

¹Department of Theoretical Mechanics, Perm State Technical University, 29a, Komsomolsky Prospect, 614600, Perm, Russia

²Department of orthopaedy and traumatology, Perm State Medical Academy, 39, Kuibyshev Street, 614000, Perm, Russia

В настоящее время в основном применяются две модели внутренней адаптации костных тканей, использующие уравнения баланса плотности костного матрикса и отличающиеся механической природой стимула (тензор деформации и плотность энергии деформации). В данной работе предлагается анализ обеих моделей с помощью их феноменологических аналогов. Идея применения феноменологического подхода к приспособляющейся упругой среде состоит в очевидном предположении о том, что в процессе адаптации к новым нагрузкам модуль упругости, напряжения и деформации непрерывно монотонно изменяются и имеют непрерывные первые производные. Реакция обеих моделей на ступенчатое изменение осевой нагрузки исследовалась на тестовой задаче об осевом сжатии упругого полого толстостенного цилиндра из приспособляющегося материала. На основе результатов решения и известных экспериментальных данных, подтверждающих чувствительность адаптационной способности костной ткани к изменению именно деформаций, в работе отдается предпочтение модели с деформационным стимулом. С помощью деформационной модели адаптации костной ткани проведен численный эксперимент по моделированию изменения модуля упругости губчатой костной ткани головки бедренной кости человека при изменении уровня нагрузок на тазобедренный сустав. Нагрузка снижалась до 5% от нормального физиологического уровня, что можно считать моделью постельного режима, а затем постепенно повышалась до нормального уровня. Численный эксперимент показал, что при снижении нагрузки кость ослабляется, что выражается в уменьшении ее модуля упругости. При медленном (еженедельном) ступенчатом повышении нагрузки в процессе реабилитации модуль упругости полностью восстанавливается, причем на каждом этапе напряжения не превышают допустимых значений. При менее плавном (ежемесячном) повышении восстанавливающей нагрузки напряжения в кости приближаются к пределу прочности, а на некоторых этапах и превышают его, что указывает на возможное локальное разрушение костных балок и отклонение процесса реабилитации от нормального.

НЕПРЯМЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КРОВОТОКА ТКАНЕЙ ДЛЯ НОВЕЙШИХ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. Андрусич, В.Л. Сигал

Украина, 252056, Киев, пр. Победы 37, Национальный технический университет (КПИ)

Скорость кровотока является фундаментальной биомеханической характеристикой живой ткани. Измерение этого параметра позволяет диагностировать физиологическое состояние ткани и её функционирование в норме и при патологии. Значительный дополнительный интерес к методам оценки и точных измерений кровотока возник в связи с внедрением и широким распространением таких новейших медицинских технологий как термотерапия и гипертермия.

При локальном или региональном нагреве ткани тепловая конвекция через кровотоки играет важнейшую, а иногда и определяющую, роль в происходящей в ткани термодилуции, и потому точное знание конкретных значений кровотока в ткани, подлежащей термотерапии, позволяет с большей достоверностью предугадывать результат лечения. Однако измерения кровотока во время проведения термотерапевтической процедуры несут в себе ценную информацию о влиянии локального теплового нагрева на обрабатываемую ткань и могут дать возможность увеличить эффективность лечения. Так, при использовании гипертермии для разрушения аномальных (опухолевых) тканей измерения кровотока позволяют контролировать степень разрушения нагреваемой ткани, а также оптимизировать гипертермическое воздействие.

В данной работе впервые предлагается оценка степени деструкции обрабатываемой ткани, определяемая через распределение кровотока в ней. В качестве критерия достижения необходимого клинического результата рассматривается полное прекращение кровотока в опухолевой зоне, которое согласно разрабатываемой ныне идее проф. Дж. Фолкмана обуславливает дальнейшую самодеструкцию опухоли.

Для измерения кровотока в процессе проведения термотерапии предлагается использовать широко распространённые и хорошо разработанные термодилуционные методы. Причём в качестве источника тепла необходимого для всех тепловых методов измерения кровотока может служить тот же источник, который используется для воздействия на ткань. Переходные температурные зависимости при включении и выключении источника тепла, а также температура насыщения косвенным образом характеризуют изменяющееся под действием термотерапии распределение кровотока в ткани.

Для определения степени разрушения ткани по данным термодилуционных измерений используется математическая модель, в которой ткань представляется в виде двуслойной системы с движущейся во времени границей раздела между перфузированной и некротизирующейся под действием нефизиологических температур областями. Полученные оценки основаны на решениях двуслойных задач нестационарного биотеплопереноса в активных неоднородных средах.

По сути, впервые предлагаются обоснованные рекомендации по выбору начального режима нагрева, его корректировке в течение всего процесса термотерапии исходя из конкретных свойств опухолевой ткани в каждый момент времени, а также по

определению момента достижения необходимого клинического результата. Предлагаемые подходы повышения эффективности и достоверности термотерапии могут быть использованы для внешних источников тепла любой природы, а также обращают внимание на новые возможности применения ставших классическими тепловых методов измерения теплофизических и перфузионных свойств биологических тканей.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРУЕМОСТИ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ С ПАТОЛОГИЕЙ ПРИ АНГИОПЛАСТИКЕ

А.В. Аптуков, Н.А. Шевелев, И.В. Домбровский

Россия, 614600, г.Пермь, Комсомольский проспект 29а, Пермский государственный технический университет, кафедра ДПМ

В работе представлена математическая модель кровеносного сосуда человека с патологией в виде атеросклеротической «бляшки» при ангиопластике. Объектом исследования является участок аорты - самого крупного магистрального сосуда большого круга кровообращения, находящегося на второй стадии атеросклероза, сопровождающейся образованием фибриозных «бляшек» в канале кровотока сосуда. Объект исследования моделируется трехслойной осесимметричной оболочкой с несимметричным включением, находящейся под действием внутреннего давления, с заданными физико-механическими характеристиками. Размеры и геометрически произвольное расположение атеросклеротических «бляшек» приводит к необходимости рассмотрения объекта исследования как трехмерного тела произвольной конфигурации.

В данной работе сделана попытка определения достоверных полей перемещений и напряжений, наиболее полно отвечающие реальной картине поведения кровеносного сосуда при ангиопластике, которая заключается в следующем: в пораженный атеросклерозом сосуд вводится катетер с баллоном, в который подается воздух под давлением с целью разрушения утолщений стенок сосуда – фибриозных «бляшек», увеличения внутреннего диаметра сосуда и обеспечения тем самым нормального режима кровотока.

Для нахождения полей перемещений и напряжений применен метод геометрического погружения, позволяющий свести решение вариационной задачи для тела исходной пространственной геометрии к итерационной последовательности задач для канонического тела. Для численной реализации применен полуаналитический метод конечных элементов.

Рассмотрены различные варианты модельных задач определения напряженно-деформированного состояния кровеносного сосуда с патологией с учетом его многослойности и несимметричности расположения «бляшек», в зависимости от геометрических размеров сосуда и количества атеросклеротических «бляшек». В первом приближении характеристики слоев оболочки задаются в виде некоторого набора упругих констант. В дальнейшем предполагается использование экспериментальных данных, полученных на реальных объектах. На данном этапе решения задачи материал стенок сосуда принимается однородным и изотропным.

Численные значения полей напряжений и перемещений, полученные в данной работе, хорошо согласуются с результатами тестовых задач и с известными экспериментальными данными.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОРРЕКЦИИ ПОРОЧНОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНЕЧНОСТИ ВО ФРОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ У БОЛЬНЫХ С АНКИЛОЗОМ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

И.А. Атманский

Россия, 640005, г. Курган, ул. М.Ульяновой, 6, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Г.А.Илизарова

Анатомические особенности строения проксимального отдела бедренной кости нельзя объяснить только «крановой теорией» или наличием движений в тазобедренном суставе (Б.Е.Беленький, 1962). Филогенетические изменения в строении тазобедренного сустава (увеличение длины шейки и расположение её под определённым углом к диафизу кости, конвергенция анатомических осей, выведение продольной оси голени на биомеханическую ось) в первую очередь направлены на формирование эффективных механизмов удержания туловища человека в вертикальном положении в статике и динамике, распределение нагрузки на дистальные отделы конечности (Hoffmann-Daimler S., 1963; Н.А.Шенк, 1966; И.П.Шуляк, 1967). Сохранение имеющейся зависимости между продольной осью бедренной кости, анатомической, биомеханической осями конечности и вектором опорной реакции является основным звеном в профилактике дегенеративно-дистрофических изменений у больных с анкилозом тазобедренного сустава. Отсутствие биомеханического обоснования и технические сложности выполнения операций, предусматривающих восстановление естественных биомеханических взаимоотношений нижней конечности, во многом предопределили дальнейшее развитие тактики оперативного лечения больных с анкилозом тазобедренного сустава в порочном положении. В настоящее время, в силу более совершенных способов управляемого остеосинтеза и новейших исследований в биомеханике (Х.А.Янсон, 1975; В.И.Филатов, 1980; А.С.Витензон, 1982; В.И.Шевцов, И.А.Атманский, С.Г.Тютрин, 1997), стало возможным точное восстановление правильных статико-динамических взаимоотношений в условии неподвижного тазобедренного сустава. Основываясь на точных биомеханических расчётах, выявлено, что коррекция положения бедренной кости во фронтальной плоскости должна предусматривать придание функционально выгодного положения конечности, выведение центра коленного сустава на биомеханическую ось конечности, выведение щели коленного сустава перпендикулярно биомеханической оси, формирование угла в верхней трети бедренной кости открытого внутрь. Поставленная задача, в зависимости от исходной установки конечности в тазобедренном суставе и сопутствующих деформаций коленного сустава решается путём выполнения одной или более остеотомий. Длина промежуточного фрагмента и его ориентация во фронтальной плоскости описывается известной математической зависимостью.

Восстановление пространственной ориентации оси бедренной кости относительно биомеханической оси конечности приводит к сохранению динамического стереотипа распределения нагрузок на дистальные отделы конечности, сохранению однонаправленности вектора опорной реакции и продольной оси диафиза бедренной кости, латерализации центра

тяжести конечности относительно биомеханической оси конечности, обеспечивая равновесное одноопорное стояние с меньшим боковым наклоном туловища, восстановлению межбедренного пространства, формированию симметричных контуров мягких тканей.

В РНЦ "ВТО" разработана и успешно применяются методика и алгоритм биомеханических расчётов для реконструкции бедренной кости, позволяющие максимально учесть особенности статики и локомоции больных с анкилозом тазобедренного сустава.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ КОМПРЕССИИ СПИННОГО МОЗГА

Д.Н. Афонин¹, П.Н. Афонин²

¹Россия, г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии

²Россия, 197376, г. Санкт-Петербург, ул. пров. Попова, 5, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, кафедра прикладной механики и инженерной графики

В настоящее время не существует достаточно объективных количественных методик оценки компрессии спинного мозга, что приводит к субъективной трактовке результатов миелографии различными специалистами. С целью унификации полученных результатов мы разработали три модели компрессии спинного мозга: компрессия костными образованиями, компрессия эпидуральным абсцессом и смешанная компрессия, объединяющая обе первые модели. Получены формульные зависимости для объема образования, компремирующего дуральный мешок и степени компрессии.

Апробация моделей проводилась на 98 больных воспалительными заболеваниями позвоночника, сопровождающимися передней компрессией спинного мозга. Проведение множественного корреляционного анализа 77 клинических и рентгенометрических показателей позволило выявить зависимость выраженности неврологических расстройств и объемной скорости кровотока в конечности от степени компрессии и объема абсцесса. Анализ зависимости объема абсцесса и степени компрессии от длительности заболевания позволил выявить высокие коэффициенты корреляции (0.63, 0.88) между этими показателями только в группе больных с ограниченным процессом в позвонках. Получена достоверная зависимость между длительностью послеоперационного восстановления функций периферической нервной системы и периферической гемодинамики от объема компремирующего образования и степенью компрессии (коэффициенты корреляции 0.69 и 0.86, соответственно).

Для прогнозирования результатов лечения использовался метод многомерного регрессионного анализа, в результате которого строилась линейная модель – уравнение регрессии. Модель считалась информационно способной при значениях R^2 более 0.5 и при значениях R более 0.7. Статистическую значимость (достоверность) модели определяли по величине F - критерия (F более $F_{0.5}$). Точность и надежность прогноза оценивали по 95% доверительному интервалу.

Полученные результаты позволяют выбрать оптимальную тактику оперативного и консервативного лечения и, тем самым, повысить эффективность помощи больным туберкулезным спондилитом и гематогенным остеомиелитом позвоночника.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕНОЗНОГО КРОВОТОКА В НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЯХ ПРИ ПАРАПЛЕГИИ

Д.Н. Афонин, П.Н. Афонин

¹Россия, г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский НИИ фтизиопульмонологии

Отеки нижних конечностей являются довольно частым осложнением воспалительных заболеваний позвоночника, сопровождающихся компрессией спинного мозга и параплегии. Механизм их образования остается в настоящее время до конца не изученным.

Целью настоящей работы было исследование механизма образования отеков нижних конечностей при компрессии спинного мозга.

Проведение множественного корреляционного анализа позволило доказать зависимость венозного тонуса и количества внеклеточной жидкости от неврологического статуса, степени компрессии спинного мозга и предположить, что решающее значение в образовании отеков имеет снижение мышечного тонуса конечностей, вследствие нарушения их иннервации. В результате дальнейшего статистического анализа клинических данных было получено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать развитие венозной недостаточности при компрессии спинного мозга.

Разработана физико-механическая модель "мышечной помпы", обеспечивающей адекватный венозный отток в конечностях, и иллюстрирующая зависимость объемной скорости кровотока и давления в венозной системе конечности от мышечного тонуса. Доказана зависимость транскапиллярного обмена от давления в венозной системе.

Апробация модели проводилась на 12 больных туберкулезным спондилитом с нижней параплегией. Исследование транскапиллярного обмена проводилось разработанным нами импедансометрическим способом (Патент РФ на изобретение N 2080816 от 10 июня 1997 г., Заявки на Патенты РФ на изобретение N 98111049 от 9 июня 1998 г. и N 98111048 от 9 июня 1998 г.).

Полученные результаты показали, что предложенная модель достаточно объективно отражает физиологические процессы, что позволило на ее основе разработать комплекс мероприятий, предупреждающих развитие венозной недостаточности при параплегии.

МЕТОД И СИСТЕМА ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТРАНСПЛАНТАНТА ЗЧС МЕТОДОМ ФБМП

Л.М. Бакусов, Р.М. Мулюков, Р.В. Насыров

Россия, 450000, Уфа–Центр, К.Маркса, 12, Уфимский государственный авиационный технический университет, кафедра АСУ

Известен метод восстановления анатомических и функциональных свойств зубо–челюстной системы (ЗЧС) на основе использования трансплантата зуба.

При использовании такого метода остается до конца не решенным вопрос о сроках и качестве приживления трансплантируемого элемента. Практически ни один из существующих методов не дает достаточно достоверной картины, что обусловлено большим количеством факторов.

В настоящей работе предлагается для оценки состояния трансплантата применять метод функциональных биомеханических проб (ФБМП) [1]. С точки зрения поставленной задачи метод будет выглядеть следующим образом. На ЗЧС закрепляется датчик, соединенный с мониторной системой (в частном случае - компьютер с АЦП). В качестве тестового воздействия используется дозированный механический удар. Запись ответа в виде кривой механических колебаний производят в компьютер. По характеру ответа судят о состоянии трансплантата. При отсутствии приживления в начальной стадии процедуры в системе будет большая доля вязкого поглощения. В процессе приращения увеличится доля упругой составляющей. При сращении трансплантата с подлежащей костной основой в ответе в основном будет упругая, "жесткая" составляющая, соответствующая жестким механическим связям.

Полученный сигнал ответ обрабатывается методом спектрального анализа и по характеру спектра делается заключение о состоянии трансплантата в ЗЧС.

Для предложенного метода реализованы аппаратная и программная части и в настоящее время проводятся исследования. По результатам статистической обработки результатов будет проводиться заключение о способах применения метода в клинической практике.

Литература

1. ВАСИН Р.А., БАКУСОВ Л.М., НАСЫРОВ Р.В., МАЛЬХАНОВ В.В. Метод функциональных биомеханических проб. **Российский журнал биомеханики**, 1-2: 58-63, 1998.

УСВОЕНИЕ РИТМА АВ–РЕВЕРБЕРАТОРОМ

Л.М. Бакусов, Р.В. Насыров

Россия, 450000, Уфа–Центр, К.Маркса, 12, Уфимский государственный авиационный технический университет, кафедра АСУ

В работе [1] предложена схема АВ–ревербератора, включающего следующие отделы ССС: левый желудочек, дуга аорты, грудная аорта, брюшная аорта,

подвздошные артерии, подвздошные вены, нижняя вена, верхняя полая вена, правое предсердие.

Учитывая свойства интрамуральной мускулатуры вносить механическую энергию в систему, можно полагать, что распространение волны давления происходит без потери энергии.

Следующее предположение связано с наличием системы клапанов в подвздошных венах, механически связанных с артериями. Наличие таких клапанов приводит к передаче механического толчка пульсовой волны от артерии к нижней полой вене. Аналогично толчок может передаваться от дуги аорты к верхней полой вене.

Таким образом, контур ревербератора включает правое предсердие, растяжение которого стимулирует пропорциональное стимулирование СА-узла, система нервных волокон, связывающих СА узел с АВ узлом, систему пучка Гиса, возбуждающую систему желудочков и систему механического сопряжения левого желудочка с луковицей аорты, в которой формируется начальная пульсовая волна.

С учетом сказанного, события, происходящие в описанной системе могут быть математически описаны в виде сигнального графа, которому соответствует разностная схема $x_i = -x_{i-1} + x_{i-4} + x_{i-5}$, которой соответствует характеристическое уравнение $\lambda^5 + \lambda^4 - \lambda - 1 = 0$.

Исследование последнего уравнения показало, что оно имеет один действительный корень, равный 1 и две пары комплексно сопряженных корней: $0 \pm i1$, $-1 \pm i0$ (второй корень в разностной схеме также приводит к колебаниям, поэтому условно отнесен к комплексным).

Таким образом разностная схема, построенная выше воспроизводит колебания сигнала, состоящего из константы и двух гармоник. Очевидно такая разностная схема соответствует ревербератору, названному нами самообучающиеся Фурье рекурсивным фильтром, поскольку он усваивает, как легко проверить по выражению (1) любую зависимость, описываемую константой и двумя гармониками с целым периодом в 2 и 4 отсчета.

Литература

1. Насыров Р.В. Математическое моделирование гемодинамики в венозном русле. Тез. доклада всероссийской конфер. "Математическое моделирование физико-механических процессов", Пермь, 1997.

АССИМЕТРИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ МЫШЦ СПИНЫ У БОЛЬНЫХ СКОЛИОТИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ

С.Н. Балдова, Л.П. Максимова

Россия, 603155, г. Нижний Новгород, В. Волжская наб., 18, НИИ травматологии и ортопедии, лаборатория биомеханики

Целью работы являлась оценка асимметрии вязкоупругих свойств трапецевидных и длинных мышц спины у больных сколиотической болезнью II степени в возрасте от 10 до 15 лет.

В работе использовался программно-аппаратный комплекс “Миовискоэластометр”, разработанный в Институте прикладной физики РАН г. Нижнего Новгорода, который предназначен для неповреждающего контроля функционального состояния поверхностных мягких тканей человека, включая мышцы, в ходе лечения, тренировки и т.п., и позволяет на современном уровне реализовать методики миотонометрии. В основе работы “Миовискоэластометра” лежат виброакустические измерения сдвиговых вязкоупругих характеристик поверхностных мягких тканей: статического модуля сдвига (E , кПа), модуля сдвиговой вязкости (V , Па*с), динамического модуля сдвига (M , кПа).

Асимметрия вязкоупругих свойств трапециевидных и длинных мышц спины оценивалась в состоянии покоя (1), при максимальном разгибании туловища (упражнение “ласточка”) (2) и последующего расслабления (3), как отношение вышеуказанных сдвиговых характеристик мышц выпуклой стороны искривленного позвоночника к аналогичным данным, полученным с мышц вогнутой стороны (см. табл).

	E1	E2	E3	V1	V2	V3	M1	M2	M3
Трапециевидные мышцы	1.21	0.89	1.00	1.07	0.96	1.33	1.13	0.81	1.19
Длинные мышцы	1.25	1.20	1.06	1.15	1.29	1.05	1.07	1.10	0.90

В ходе исследования нами было выявлено, что в состоянии напряжения статический модуль сдвига, характеризующий упругие свойства тканей, незначительно изменяется в поясничном отделе позвоночника и перераспределяется в грудном отделе, но затем, при расслаблении, его значения с выпуклой и вогнутой сторон практически выравниваются между собой. Модуль сдвиговой вязкости и динамический модуль сдвига при напряжении трапециевидных мышц изменяются аналогично статическому модулю сдвига, но при последующем расслаблении их значения увеличиваются с выпуклой стороны позвоночника. Однако в поясничном отделе позвоночника с его выпуклой стороны эти характеристики увеличиваются при напряжении и уменьшаются при расслаблении.

Данное исследование вязкоупругих свойств мышц спины у больных сколиотической болезнью проводилось впервые, поэтому позволяет сделать лишь предварительные выводы. Особый интерес вызывает исследование изменений сдвиговых характеристик тканей у данной группы больных в ходе восстановительного лечения.

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ ГЛАУКОМЫ

С.М. Бауэр¹, П.Е. Товстик¹, А.Б. Качанов²

¹Россия, 198904, Санкт-Петербург, Петродворец, Библиотечная пл., д. 2, Санкт-Петербургский государственный университет, математико-механический факультет

²Россия, Санкт-Петербургская медицинская академия последипломного образования

В настоящее время многие офтальмологи придерживаются преимущественно механического генеза глаукомы [1]. Известно, что важную роль в развитии глаукомы играет специфическое сужение поля зрения. Это связано [1] с дистрофией, а затем и

атрофией части зрительно – нервных волокон, деформирующихся при выходе из полости глаза через решетчатую пластинку. Ранее задача о прогибе решетчатой пластинки, находящейся под давлением, решалась в рамках теории анизотропных пластин [2]. В данной работе решетчатая пластинка рассматривается как многослойная безмоментная оболочка вращения с упругими связями между слоями. Предполагается, что слои могут проскальзывать друг по другу. Определяются большие осесимметричные деформации оболочки. Для численного интегрирования получающейся краевой задачи используется метод пристрелки. Проведенные расчеты показывают, что вследствие изменения соотношения внутриглазного и внутричерепного давления (в сторону увеличения первого или уменьшения второго) возможны существенные деформации сдвига слоев. Что в свою очередь может приводить к глаукоматозной атрофии зрительно-нервных волокон.

Литература

1. ВОЛКОВ В.В., СУХИНИНА Л.Б., УСТИНОВА Е.И. **Глаукома, преглаукома и офтальмогипертензия**. Ленинград, Медицина, 214 с., 1985.
2. БАУЭР С.М., МИШИНА Э.Н., ЗИМИН Б.А., ВОЛКОВ В.В., КАЧАНОВ А.Б. К построению математической модели развития глаукоматозной атрофии зрительного нерва, III Всероссийская конференция по биомеханике, Тезисы докладов, Н.Новгород, т.1, с.14, 1996.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант РФФИ 98 – 01-01006).

ПОСТРЕЦИПРОКНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ - НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД МЯГКОЙ ТЕХНИКИ МАНУАЛЬНОЙ ТЕРАПИИ

Е.Ш. Баширова, Г.И. Хайрутдинова

Россия, 420012, Казань, ул.Муштары, 11, Казанская медицинская академия, кафедра неврологии и рефлексотерапии

Этот методический прием включает сочетание постизометрической релаксации (ПИР) синергиста с активацией ее антагониста. Методика имеет существенное отличие по сравнению с методикой ПИР. Заключается она в том, что врач не производит пассивного растяжения релаксируемой мышцы. Ее растяжение производится пациентом активным напряжением антагониста. Роль врача во время паузы заключается в контроле степени активности антагониста и направления движения.

Лечебный эффект этой процедуры существенно превосходит эффект ПИР. Особенно заметно это преимущество в релаксации укороченных и спазмированных мышц. В техническом отношении методика не представляет каких-либо сложностей. Пациент должен быть ориентирован на два основных момента: во-первых, он должен оказать кратковременное минимальное сопротивление против усилия врача во время ПИР, во-вторых, он должен самостоятельно энергично проделать работу в противоположном направлении в этой же плоскости движения. Изменение направления движения существенно снижает лечебный эффект процедуры. Врач во время активной работы пациента не должен оказать внешнего сопротивления.

Поскольку лечебный эффект достигается после активации антагониста, Г.А.Иваничев (1997) назвал эту методику как пострещипрокная релаксация (ПРР).

Сравнительный анализ нашего материала показал, что ПРР может быть использована как прекрасная альтернатива постизометрической релаксации мышц. Противопоказаний к проведению ПРР нет. Единственная сложность может заключаться в неумении больным в выборе усилия и направления движения. Релаксирующий эффект ПРР основан на механизме реципрокного (не аутогенного!) торможения.

Метод ПРР включает :1) простое растяжение, 2) ПИР пораженной мышцы, 3) активацию антагониста. Если механизмы растяжения и произвольной активности при ПИР суммируются по нейрофизиологическому эффекту, связанному с активацией собственных мотонейронов, то включение антагониста вносит в этот процесс иной физиологический вклад - торможение мотонейронов, которые только что были активны. Поэтому произвольное сокращение антагониста следует производить с максимальным усилием (но не против усилия врача!), на которое способен пациент. При этом, правда, происходит активация собственных сухожильных аппаратов Гольджи, но влияние их сказывается только на антагонисте, сила сокращения которого уменьшается за счет аутогенного торможения. Но удержание растянутого агониста врачом должно производиться с минимальным усилием, т.е. как это принято в процедуре ПИР. При этом с выключенного антагониста афферентный поток отсутствует. Количество повторов из-за высокой эффективности процедуры не более двух-трех. Основное требование к проведению процедуры - соблюдение временных и силовых параметров каждого этапа.

ЗАДАЧИ БИОМЕХАНИКИ, СВЯЗАННЫЕ С КОРРЕКЦИЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ НА КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ

П.И. Бегун

Россия, 195297, г. Санкт-Петербург, ул. пров. Попова, 5, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, кафедра прикладной механики и инженерной графики

Последствия атеросклеротических поражений сосудов – основная причина сокращения жизни людей: инфаркты миокарда, инсульты, гангрены. Основной патологический субстрат – атеросклеротические бляшки – перекрывают просвет сосуда и прекращают кровоснабжение жизненно важных органов и структур организма: сердца, головного мозга, органов брюшной полости, конечностей ног. Рестеноз, закрытие шунтов, накладываемых в обход препятствий кровотоку, зависит как от гемодинамических факторов, так и от степени и характера механической несовместимости структур кровеносных сосудов и имплантантов. Поэтому очень важно иметь методы надежного прогнозирования поведения кровеносных сосудов после выполнения как традиционных хирургических операций (протезирование, наложение шунтов, создание искусственных анастомозов) так и при использовании методов чрезкожных эндоваскулярных устраниваний препятствий кровотоку (дилатация бляшек, установка стентов).

Проведенный анализ (1. построения математических моделей участков сосудистого русла в норме и патологии в рамках теории гибких неполигидных неосесимметричных оболочек; 2. построения физических моделей участков сосудистого русла в норме и патологии на базе динамической теории подобия; 3.

экспериментальных исследований упруго-вязких свойств сосудов) позволяет выделить следующие задачи, возникающие при моделировании, как проблемы биомеханики кровеносных сосудов, сдерживающие разработку методов диагностики поведения кровеносных сосудов после хирургических операций:

1. Разработка методик исследования и исследование *in vivo* модуля нормальной упругости локальных участков стенок крупных кровеносных сосудов.
2. Исследование *in vivo* изменения с течением времени механических свойств протезов, помещенных в человеческий организм.
3. Исследование в генезисе механических свойств деформированных при операциях структур кровеносных сосудов.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ БАРАБАННОЙ ПЕРЕПОНКИ В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИЯХ СРЕДНЕГО УХА

П.И. Бегун, Ле Данг Као

Россия, 195297, г. Санкт-Петербург, ул. пров. Попова, 5, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет, кафедра прикладной механики и инженерной графики

Построены расчетные схемы, математические модели и проведены в диапазоне слышимости исследования перемещений, напряженно-деформируемого состояния и собственных частот колебаний барабанной перепонки в норме, при патологиях среднего уха и при изменениях, связанных с последствиями хирургических операций в структурах среднего уха.

Рассмотрены следующие патологии: фенестрация барабанной перепонки, перфорированная барабанная перепонка на различных стадиях облитерации, мерингопластика с различными трансплантатами, хирургическое изменение жесткости внутрибарабанных мышц, барабанная перепонка с рубцами.

Барабанная перепонка рассмотрена как гибкая непологая неосесимметричная неоднородная оболочка. Анализ перемещений, напряженно-деформированного состояния и собственных частот колебаний проведен по методу конечных элементов при использовании пакета прикладных программ COSMOSM.

Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными показывает, что разработанные математические модели могут быть положены в основу при разработке методик диагностики патологий уха.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ СТАТУС У БОЛЬНЫХ С РЕТРОЛИСТЕЗАМИ ПОЯСНИЧНЫХ ПОЗВОНКОВ ПОСЛЕ КОНСЕРВАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ

К.А. Бердюгин, А.М. Лавруков, Л.И. Мякотина

Россия, 620014, Екатеринбург, пер. Банковский, 7, Уральский НИИ травматологии и ортопедии

Задние смещения (ретролистезы) поясничных позвонков являются достаточно распространенным дегенеративно-дистрофическим заболеванием позвоночника.

Значимость их связана с тем, что они наиболее часто являются причиной вторичных неврологических осложнений, вплоть до парезов и параличей нижних конечностей, расстройствами функций тазовых органов, вызванных давлением сместившегося позвонка на корешки конского хвоста и дуральный мешок.

Диагноз ставится на основании клинического, рентгенологического обследований, КТ, МРТ.

Показаниями к консервативному лечению стало наличие ретролистеза поясничных позвонков с нестабильностью в измененном сегменте, с тенденцией к уменьшению или полному исчезновению смещения позвонка при функциональной рентгенографии.

Комплекс лечения включал полупостельный режим на щите, накроватное или динамическое вытяжение, фиксацию позвоночника жестким корсетом, мануальную терапию, физио-бальнеолечение, новокаиновые блокады, медикаментозную терапию.

При биомеханическом исследовании больных с ретролистезами поясничных позвонков получены следующие данные. Ортоградное стояние характеризуется односторонними или двусторонними сгибательными установками в суставах нижних конечностей, увеличением наклона плечевого пояса кпереди и выпрямлением таза. Нарушенная позовая установка обуславливает неравномерное распределение веса тела на нижние конечности и перегрузку передних отделов стоп. В ходьбе флексорная позовая установка дополняется перекосом плечевого пояса и таза, асимметрией амплитуд движений в суставах нижних конечностей и длины шага, длительной опорой на всю стопу, нарушенными соотношениями одно- и двуопорных периодов шага и динамических факторов ходьбы, т.е. превышением силы передних толчков, что свидетельствует о патологическом стереотипе ходьбы. Биоэлектрическая активность мышц изменена неоднозначно. Продолжительность фазной активности снижена у мышц спины и бедра с обеих сторон, тогда как для мышц голени она увеличена. Интегрированная активность крайне низкая для крестцовоостистых мышц с обеих сторон и для четырехглавой мышцы с одной стороны, тогда как для двуглавой, икроножной и передней большеберцовой мышц с обеих сторон она увеличена.

Полученные данные объективно свидетельствуют о функциональном состоянии опорно-двигательного аппарата у больных с ретролистезами поясничных позвонков. Динамическое изменение вышеперечисленных показателей, дополняя клинкорентгенологическую симптоматику, позволяет выработать критерии для оценки эффективности проведенного лечения у данной категории больных.

АНАЛИЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СИНЕРГИЙ РУКИ ЧЕЛОВЕКА В НОРМЕ И ПРИ НЕКОТОРЫХ ВИДАХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Е.В. Бирюкова¹, А.А. Фролов¹, А. Роби-Брами², М.А. Куликов¹

¹Россия, 117865, Москва, ул. Бутлерова, 5а, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

²Франция, 75005, Париж, наб. Сен-Бернар, 9, Национальный институт здоровья и медицинских Исследований

Кинематические синергии, т.е. координированные изменения суставных углов руки человека, исследовались для движений руки к неподвижной цели в норме и для больных с гемипарезом. Рука моделировалась системой трех твердых тел (плечо,

предплечье, кисть), соединенных идеальными шарнирами. Модель имеет семь степеней свободы: три в плечевом суставе, по две в локтевом и луче-запястном суставах. Для определения суставных углов использовались записи движений в трехмерном пространстве, сделанные с помощью системы STS, основанной на электромагнитном принципе.

Для анализа координации между суставными углами применялся метод главных компонент. Для здоровых испытуемых показано, что первая главная компонента (ГК) ковариационной матрицы учитывает 97-99% общей дисперсии. Для больных с гемипарезом число значимых ГК возрастает до 2-3. Предполагается, что изменение значений первой ГК количественно описывает динамику центрального управления временной разверткой и амплитудой движения, а ее нагрузки - вклад в движение отдельных суставов. С этой позиции анализируются двигательные синергии в норме и патологии. Целью работы является попытка выявить некоторые закономерности центрального управления многосуставным движением на основе анализа его кинематики.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АРМЫ СПЕЦИАЛИСТА-ИССЛЕДОВАТЕЛЯ И УПРАВЛЕНЦА В НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОМ МЕДИЦИНСКОМ УЧРЕЖДЕНИИ

**С.И. Блохина¹, А.Г. Васильев¹, М.И. Тимофеева¹, В.П. Козлова¹, Н.А.Свинина¹
С.Л. Гольдштейн², Т.Я. Ткаченко², Д.Л. Мелких², А.П. Павленко², С.С. Печеркин²**

¹Россия, 620149, г.Екатеринбург, ул.Бардина, 9а, НПО "Бонум"

²Россия, Екатеринбург, ул.Мира, 19, Уральский государственный технический университет

Проектирование интегрированных интеллектуальных автоматизированных рабочих мест руководителя и специалиста-исследователя (ИИ АРМ-Р, ИИ АРМ-СИ) в медицинском специализированном учреждении типа НПО "Бонум" является сегодня актуальной задачей, обусловленной сменой парадигмы управления. Эта прикладная актуальность связана с фундаментальной проблематикой систем знаний и систем управления знаниями. Целевая ориентация таких АРМов - интеллектуальная поддержка при разрешении проблемных ситуаций со сложным объектом, возникающих как при административном управлении, так и при технологической деятельности.

Для решения указанной задачи выполнено системное и внутреннее проектирование по ИИ АРМ-Р, ведутся НИР и ОКР по ИИ АРМ-СИ, а именно: системное исследование, моделирование, создание системно-обоснованного технического задания. ИИ АРМ-Р ориентирован на руководителя и его заместителей, ИИ АРМ-СИ - на ортопеда, кинезиолога, психолога, логопеда, хирурга, анестезиолога, вертебролога, гинеколога (в первую очередь) и других специалистов (во вторую).

Для реализации АРМов использована инструментальная оболочка гиперграфовой (иерархически-сетевой) системы знаний в автономном, локально-сетевом или корпоративно-сетевом исполнении. Она включает в себя три звена (ситуационное досье, технологии, системотехника), наполняемых гипертекстами, которые распределяются по четырем опциям (определение, исходная информация, обработка информации, примеры) вершин и дуг графа системы знаний.

Для наполнения звеньев системы знаний использованы специально разработанные пакеты моделей: концептуальных, алгоритмических, функционально-структурных, информационных, математических. В качестве основного маршрутизатора в системе знаний служит иерархическая структура деятельности НПО "Бонум". Все пакеты моделей отражают специфику деятельности: руководителя и его заместителей по лечебной, клинико-экспертной, организационно-методической и научной работе, с одной стороны; специалистов-исследователей: врачей, коррекционных педагогов, психологов, с другой. Моделирование осуществляется непрерывно в итерационном взаимодействии разработчиков-системотехников и экспертов - профильных специалистов. Так, ортопед дал первичный материал в пакет статистических моделей, кинезиолог – "паспорт здоровья" и модели деятельности при диагностике методами прикладной кинезиологии, хирург – материалы для гипертекстовой базы данных по челюстно-лицевой пластике, логопед – информацию для ситуационного досье по рутинным процедурам и НИР, вертебролог – описание диагностики по рентгенограммам, психолог – данные по методам компьютерного тестирования, специалист по репродуктивному здоровью семьи - экологический геоинформационный прогноз, аналитик-управленец - экспертные оценки по комплексным критериям качества.

В разрабатываемых системах заложено трехуровневое управление знаниями (стратегический, тактический, технологический уровни) и показана возможность его устойчивого функционирования за счет "мягких" стимулирующих воздействий и самоорганизации интеллекта пользователя (лица, принимающего решения), разработчика и эксперта. ИИ АРМ-СИ входит составной частью в ИИ АРМ-Р.

По обоим АРМам реализована демо-версия, а по ИИ АРМ-Р – исследовательская (средство реализации – Delphi 4).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАСТЕМЫ ВЕРХНЕЙ ЧЕЛЮСТИ

Е.В. Быкова¹, С.Н. Герасимов¹, И.И. Демидова²

¹Россия, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого 6/8, СПбГМУ им. Акад. И.П. Павлова, кафедра детской стоматологии,

²Россия, СПбГУ, математико-механический факультет, кафедра теории упругости.

Одной из наиболее распространенной деформаций ЗЧС является диастема. Диастема представляет собой промежуток между центральными резцами, наблюдающийся чаще всего на верхней челюсти. Диастема обуславливается сильно развитой уздечкой верхней губы, достигающей промежутка между центральными резцами. Диастема, вызывает не только функциональные но и эстетические нарушения, поэтому показано ортодонтическое лечение, заключающееся в устранении этиологического фактора, т.е. пластике уздечки и ортодонтическом перемещении центральных зубов.

Для более эффективного лечения сначала необходимо знать предварительное состояние ЗЧС, в частности, расположение трабекул вокруг зубов. Для моделирования этого состояния проведены исследования на моделях из оптически чувствительных материалов. При этом соблюдалось геометрическое и физическое подобие ЗЧС и ее тканей. Сначала изучена картина изоклин, по которой строились линии главных

напряжений. В соответствии с законом Мейера-Вульфа именно по этим линиям происходит рост трабекул. Кроме этого исследовано напряженно-деформированное состояние в челюстях различной формы. Получено, что чем радиус кривизны челюсти меньше, тем возникает большая концентрация напряжений в области передних зубов.

Для моделирования процесса лечения к включениям прикладывались необходимые силы и изучалось распределение напряжений по картинам изоклин.

ДОППЛЕРЭХОКАРДИОГРАФИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ АКТИВНОМ ОРТОСТАЗЕ

**Ю.Л. Веневцева¹, С.В. Хрущев², А.А. Хадарцев¹, А.Х. Мельников¹,
Т.А. Гомова¹, Н.А. Пуханова¹**

¹Россия, 300008, Тула, ул. Энгельса, 58, Клинико-диагностический центр Тульской областной больницы

²Россия, 117963, Москва, Ломоносовский проспект, 2/62, НИИ педиатрии РАМН

Часто встречающиеся в практике педиатров и подростковых врачей случаи вегетативно-сосудистой дистонии с синкопальными состояниями требуют клинической и прогностической оценки качества регулирования при изменении положения тела в пространстве, являющимся для системы кровообращения естественным возмущением. Однако использование для этих целей математического анализа ритма сердца (Баевский, Р.М., 1979, 1997) при несомненных достоинствах методики не дает возможности изучения конкретных ауторегуляторных механизмов системы кровообращения.

На основании доплерэхокардиографического исследования 70 детей и подростков 6-18 лет, проведенного лежа и сразу после перехода в вертикальное положение (вначале определяли параметры гемодинамики правых, а затем левых отделов), разработаны критерии оценки качества регуляции, используемые при назначении адекватного двигательного режима, в том числе ЛФК и учета эффективности реабилитационных мероприятий.

Наиболее совершенная регуляция в ортостазе отмечалась у детей без пролабирования створчатых клапанов и регургитации на легочной артерии (РЛА): умеренно укорачивалась длительность сердечного цикла с 83.1 ± 6.2 сек до 74.8 ± 5.1 сек, а число изменившихся гемодинамических параметров было незначительным.

У детей и подростков с пролабированием трикуспидального клапана, в том числе с РЛА, наблюдалась избыточная вегетативная реактивность с продолжающимся укорочением RR в ортостазе и замедлением систолического потока в полых венах (венозного возврата), а снижение диастолической скорости в легочных венах и раннего наполнения левого желудочка было высокодостоверным ($P < 0.001$), как и укорочение фазы ускорения и пиковой скорости в аорте. Все это служит патофизиологической основой синкопальных состояний и указывает на низкое качество регулирования.

Для детей и подростков с сочетанным пролабированием митрального и трикуспидального клапанов и РЛА акт вставания является стрессовым воздействием, приводящим к резкой перестройке параметров внутрисердечной гемодинамики - снижению скоростей раннего наполнения обоих желудочков и резкому повышению

гемодинамической активности как правого, так и левого предсердия, т.е. к возникновению диастолической дисфункции обоих желудочков, сопровождающейся дальнейшим снижением скорости выброса в аорту.

Ортопроба позволила уточнить клиническую значимость изолированной РЛА у детей без признаков органического поражения сердца. Резкое нарушение гемодинамической ситуации в левом желудочке (выраженная диастолическая дисфункция) и уменьшение скорости потока в аорте с 100.0 ± 0.08 до 74.5 ± 2.7 см/сек ($P < 0.01$) в положении стоя указывает на снижение резервов адаптации и необходимость восстановительных мероприятий.

Таким образом, предлагаемая доплерэхографическая оценка ортовоздействия информативна для клинической практики педиатров, подростковых и спортивных врачей.

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОДНОСТОРОННЕЙ ХЕЙЛОРИНОПЛАСТИКИ С УЧЕТОМ БИОМЕХАНИКИ БОЛЬШИХ ХРЯЩЕЙ КРЫЛЬЕВ НОСА

В.А. Виссарионов, Э.П. Мохова

Россия, 117869, Москва, ул. Островитянова, 1, Российский государственный медицинский университет, Московский институт медико-социальной реабилитологии

В пластической хирургии лица во многих случаях в области ротоносоглотки необходимо применение хейлоринопластики. Однако, при разработке способа хейлоринопластики недостаточно внимания уделяется изучению и сравнению различных биомеханических и морфологических характеристик больших крыльев носа на здоровой и пораженной сторонах. Нами проведено гистоавтордиографическое исследование интенсивности обменных процессов в биоптатах различных участков больших хрящей крыльев носа у 8 взрослых больных, перенесших одностороннюю хейлопластику. При этом установлено отсутствие достоверных различий качественных и количественных показателей хрящевой ткани. Это позволяет говорить о полноценности хряща на стороне расщелины и о возможности регулировать его опорные свойства при хейлоринопластике путем перемещения <скользящего> лоскута. Появление и степень выраженности вторичной рубцовой деформации тканей крыла носа зависит от разных факторов, в том числе и от суммарного воздействия векторов тяги, направленных на концевые участки медиальной и латеральной ножек большого хряща крыла. Это подтверждается результатами более 2000 клинических наблюдений.

Таким образом, учет биомеханических характеристик тканей больших хрящей крыльев носа повышает возможности односторонней хейлоринопластики.