

Вил 435056
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
С С С Р

М о с к о в с к о е

ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового
Красного Знамени высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

УДК: 611.1:539.3

ВОРОНОВ Виктор Степанович

ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И МЕТОДИКА
ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БИОПРОТЕЗОВ КЛАПАНОВ
СЕРДЦА

Специальность 05.11.17 - Медицинское
приборостроение

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических
наук

Москва

1986

Работа выполнена в Тюменском индустриальном институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - к.т.н., доцент КУЧЕРИК В.И.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор САГАЛЕВИЧ В.М.
к.т.н. АГАФОНОВ А.В.

Ведущая организация - Всесоюзный научный центр хирургии
АМН СССР

Защита состоится "29" сентября 1986г. на заседании
специализированного Совета К 053.15.17 в Московском ордена
Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Крас-
ного Знамени высшем техническом училище имени Н.Э.Баумана:
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5.

Ваш отзыв в 2-х экземплярах, заверенный печатью, просим
направить по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ.

Автореферат разослан "27" ноября 1986г.

Ученый секретарь

В.П.Жаров

Тираж 100 экз.
Баумана

Всер 455086

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

НА ДОКЛАД
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Актуальность темы. Протезирование клапанов сердца человека в последние десятилетия приобретает все более широкие масштабы. Это связано как с успехами сердечно-сосудистой хирургии, так и с определенным прогрессом в области создания заменителей пораженных клапанов. В поисках оптимальной конструкции различными коллективами созданы десятки моделей протезов. Все они, как правило, классифицируются по виду запирающего элемента на шариковые, дисковые и лепестковые. В настоящее время общепризнано, что дисковые и шариковые протезы не могут обеспечить полного подобия гемодинамических условий, их эксплуатация приводит к разрушению эритроцитов, формированию тромбов, росту тканей. Лепестковые протезы обеспечивают нормальный, центральный поток крови, не разрушают эритроциты, работают бесшумно. Однако широкого применения в практике протезирования они еще не получили по причине малой долговечности. Наблюдается значительный разброс по времени нормальной работы в сравнении с шариковыми и дисковыми протезами. Последнее обстоятельство, как и долговечность, во многом обусловлено ненадежным контролем качества лепестковых протезов.

Метод контроля качества должен включать обнаружение дефектов и поражений и оценку их влияния на механические свойства и напряженно-деформированное состояние. Для того, чтобы оценки были достоверны, необходимо углубленное изучение закономерностей строения и работы клапанов в нормальном состоянии.

К настоящему времени многие исследователи отмечают наряду с физической нелинейностью, наличие анизотропии и существенной неоднородности механических свойств тканей клапанов, но экспериментальные данные по этим вопросам отсутствуют. Нет информации о сдвиговых характеристиках, а коэффициент поперечной деформации априорно принимается близким к 0,5. Сведения о деформативном поведении клапанов при воздействии гидравлического давления весьма не полны и содержат лишь оценки возможных перемещений.

Таким образом, детальное изучение характеристик лепесткового клапана и разработка метода контроля качества биопротезов клапанов сердца является актуальной проблемой.

I



Актуальность проблемы подтверждается включением темы "Создание искусственных клапанов сердца, устройств для вспомогательного кровообращения и стендов для испытаний" в программу 0.69.03 на 1986-1990гг. "Разработать и внедрить в клиническую практику новые технические средства для реконструктивной и восстановительной хирургии" (Приложение №149 к постановлению Государственного комитета СССР по науке и технике №555 от 30 октября 1986г.).

Цель работы - разработка методик и оборудования для лазерного исследования характеристик мягких биотканей и органов с применением спекл-интерферометрии, исследование клапанов сердца и разработка методики оценки качества их биопротезов.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- разработка методик исследования и количественная оценка неоднородности механических свойств мягкой биоткани, исследование её сдвиговых характеристик;
- исследование деформативного поведения клапана сердца под нагрузкой, разработка технической системы и методики измерения компонентов полного вектора перемещения поверхности створок;
- определение напряженно-деформированного состояния створок клапанов сердца на основе полученных экспериментальных данных;
- разработка практической методики контроля качества биопротезов клапанов сердца на основе анализа напряженно-деформированного состояния створок.

Методы исследований. Для измерения перемещений точек поверхности образцов биоткани створок аортальных клапанов сердца при их испытании на одноосное растяжение и на сдвиг применялся бесконтактный метод спекл-интерферометрии. Испытания проводились на установках, спроектированных и изготовленных с учетом применения указанного метода. Обработка результатов испытаний образцов биоткани с целью определения механических характеристик проведена методом нелинейной теории упругости.

Определение компонентов полного вектора перемещения поверхности створок целого аортального клапана проведено с помощью методов спекл-интерферометрии и теневого муара, реализованных в одной комбинированной оптической схеме.

Отработка методик исследования механических характеристик

и определения компонентов полного вектора перемещения осуществлялась на тестовых объектах - геометрически подобных плоских образцах и тонкой мембране, изготовленных из силиконовой резины.

Для исследования структуры коллагеновых волокон большого диаметра и определения зон поражения створок применялась фоторегистрация в проходящем белом и монохроматичном красном свете.

Научная новизна:

- метод спекл-интерферометрии применен для исследований характеристик мягкой биоткани аортального клапана сердца человека, а также для определения компонентов полного вектора перемещения поверхностей его створок;
- разработана методика исследования неоднородности механических свойств мягкой биоткани и дана её количественная оценка для створок аортального клапана;
- получены экспериментальные данные о сдвиговых характеристиках и на их основе сделана оценка коэффициента поперечной деформации биоткани створок;
- на основе экспериментальных данных и расчетов показано, что природная конструкция створок аортального клапана в окружающем направлении близка к равнонапряженной.

Практическая ценность. Разработана методика контроля качества биопротезов на основе анализа напряженно-деформированного состояния створок. Методика и технические элементы функциональной системы для её реализации нашли применение в Тюменском Государственном медицинском институте, во Всесоюзном научном центре хирургии АМН СССР, а также, в виде технической документации, в Тюменском межотраслевом территориальном центре научно-технической информации. Методики исследования характеристик мягких биотканей на основе применения спекл-интерферометрии приняты для использования в Бюро судебно-медицинской экспертизы Тюменской области, с целью получения информации о повреждениях мягких тканей, подвергнутых физическим воздействиям.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены на III Уральской конференции "Применение методов лазерной интерферометрии и лазерной технологии для повышения качества изделий" (Миасс, май 1984), на научно-практической конференции морфологов Тюменской области "Компенсаторно-приспособительные

механизмы внутренних органов и головного мозга в норме, патологии и эксперименте" (Тюмень, октябрь 1984), на I Всесоюзном симпозиуме "Нелинейная теория тонкостенных конструкций и биомеханика" (Кутаиси, май 1985), на Всесоюзном семинаре "Оптико-геометрические методы исследований деформаций и напряжений" (Челябинск, ноябрь 1985) и на научно-техническом семинаре кафедры "Биомедицинские технические системы и устройства" МВТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, апрель 1986).

Основные материалы диссертации изложены в 7 работах и 1 заявке на авторское свидетельство, по которой получено положительное решение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Объем работы - 116 страниц машинописного текста, 56 рисунков, 7 таблиц, список литературы включает 98 наименований. Приложение содержит документы о практическом использовании результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы и приведен краткий обзор работ, посвященных исследованиям напряженно-деформированного состояния клапанов сердца.

В первой главе проведен анализ бесконтактных методов исследования деформаций. Показаны достоинства и недостатки фотографических, муаровых и голографических методов в приложении к задачам биомедицины. Кратко изложены физические основы метода спекл-интерферометрии и показано, что он является промежуточным по чувствительности между голографической интерферометрией и муаровыми методами, что делает его более применимым для исследования характеристик мягких биотканей и органов, имеющих высокие деформативные свойства.

Для лазерного исследования характеристик образцов мягкой биоткани разработана и изготовлена специальная установка, которая совмещает в себе оптические элементы для реализации метода спекл-интерферометрии и нагрузочный стенд для одноосного растяжения миниатюрных образцов, имеющих длину 15 ± 17 мм, ширину $3 \pm 3,5$ мм.

Установка позволяет получать информацию для исследования неоднородности механических характеристик материала образцов мягкой биоткани, связанной, например, с наличием в них включений инородных тел, патологических изменений, или вызванной переменным характером армирования. В случае наличия отверстий, порезов или других локальных повреждений, имеющих скрытый характер, установка позволяет обнаруживать их по картине полос интерференции, отражающей концентрацию деформаций.

В работе проведено исследование образцов биоткани, вырезанных в окружном направлении из центральной части створок аортальных клапанов сердца человека. Расшифровка спекл-интерферограмм для получения количественных данных проводилась методом сканирования по точкам. Для определения механических характеристик ткани с применением спекл-интерферометрии разработаны 2 варианта обработки результатов эксперимента на основе нелинейной теории упругости. Результаты обработки данных по этим вариантам сопоставлены и показали удовлетворительное совпадение. Приведено сравнение с данными из других работ.

Установлено, что начальный модуль деформации ткани створок имеет максимальное значение в средней части и в $2 + 2,5$ раза превышает значения для периферийных участков. Сопоставление с характером расположения коллагеновых волокон большого диаметра показало, что величина начального модуля деформации связана со структурой армирования, в средней части створок содержание коллагена наибольшее, и этому соответствует более высокое значение модуля. Показано распределение начального модуля деформации и кривых $\epsilon - \epsilon$ материала в окружном направлении.

Далее расчетным путем показано, что установленная неоднородность обеспечивает снижение концентрации напряжений в створке, поэтому, в искусственных лепестковых протезах, для повышения долговечности, рекомендовано задавать аналогичные свойства.

Для исследования сдвиговых характеристик сконструирована и изготовлена установка, в которой реализован способ перекшивания полосы. Оценка влияния зажимов на характер деформаций в образце при сдвиге и выскальзывания образца из зажимов при разных уровнях нагрузок проводилась также с помощью спекл-интерферометрии. Установлено, что диаграммы $\tau - \gamma$ для биоткани створок в окружном и радиальном направлении нелинейны. Они аппроксимируются зависимостями вида

$$\tau = G_0 \cdot \gamma (1 + C_0 \gamma^2), \quad (I)$$

где τ - касательное напряжение, G_0 - начальный модуль сдвига, γ - относительный сдвиг, C_0 - физическая константа, характеризующая нелинейность. Значения G_0 тканей для окружного направления в 1,5 + 2 раза превосходят значения для радиального направления.

На основе данных сдвиговых испытаний, с применением соотношений теории упругости для ортотропного материала, сделана оценка коэффициента поперечной деформации ткани, которая показала, что его значения в центральной части створок лежат в пределах 0,40 + 0,45 и зависят от уровня нагружения.

Для тарировки установок и контроля методик обработки результатов испытаний на одноосное растяжение и сдвиг применялись тестовые образцы из однородной по свойствам силиконовой резины, имеющие линейные размеры, характерные для образцов биоткани.

Вторая глава посвящена разработке методики и оборудования для лазерного исследования деформативных характеристик целых органов. Дан краткий обзор работ по исследованиям деформативного поведения биологических объектов с применением оптико-геометрических методов.

Показано, что информация о деформативных характеристиках целых органов, наряду со сведениями о характеристиках механических свойств их тканей, необходима для решения широкого круга задач о напряженно-деформированном состоянии, прочности, надежности и качестве органов и их заменителей, выполняющих жизненно-важные функции в организме.

Для регистрации компонентов полного вектора перемещения и формы поверхности мягких органов при нагрузках, моделирующих давление крови, разработана система технических элементов, оптическая часть которой реализована на основе комбинации методов спекл-интерферометрии и теневого муара. Все элементы системы смонтированы на базе комплекта "СИН" с применением гелий-неонового лазера непрерывного действия ЛП-38. Спекл-интерферометрия применена для регистрации 2-х компонентов вектора перемещения в плоскости объекта, а теневой муар - для регистрации нормального компонента и формы поверхности. Одновременная регистрация компонентов вектора перемещения и формы поверхности позволяет

производить перевод перемещений в удобную для расчетов систему координат в том случае, если исследуемый орган имеет сложную пространственную конфигурацию.

Методика измерений проверена на тестовой круглой мембране из силиконовой резины, нагруженной давлением. Сравнение величин мембранной деформации, найденных теоретически и экспериментально, показало разброс не более 10%.

Проведено исследование деформативных характеристик целых натуральных аортальных клапанов сердца. Для фиксации и нагружения клапанов физиологическим раствором разработано универсальное устройство, конструкция которого признана изобретением. Устройство пригодно для рентгенографии створок под давлением с целью исследования соотношений волокнистых структур, а также для анализа в проходящем свете, и использовано далее при разработке системы оценки качества биопротезов и донорских клапанов. Измерения на аортальных клапанах выполнялись при уровне давления 80 мм рт.ст. (10,67 кПа) и ступенчатом возрастании на 1 мм рт.ст. (133,32 Па). Исследование показало, что нормальный и плоские компоненты полного вектора перемещения поверхностей створок имеют одинаковые порядки величин. Определены виды поверхностей каждого компонента в отдельности. Все поверхности проиллюстрированы графически в аксонометрии в пределах контуров створок. Для дальнейшего использования в расчетах напряженно-деформированного состояния числовые данные аппроксимированы степенными полиномами по программе с выбором минимального среднеквадратичного отклонения. Приведена таблица коэффициентов аналитических выражений компонентов вектора перемещения а также полученные спекл-интерферограммы и муаровые картины.

В третьей главе решается задача напряженно-деформированного состояния створки аортального клапана на основе полученных экспериментальных данных. В первом алгоритме реализован экспериментально-теоретический метод, предложенный В.И. Кучерюком и развитый для данного класса задач автором. Створка принята гибкой, пологой, безмоментной оболочкой постоянной толщины, материал нелинейный, неоднородный, ортотропный. Основная идея метода базируется на формулировке задачи механики деформируемого твердого тела в перемещениях. Для решения задачи качественный вид функций перемещений определяется экспериментально. Из решения определяются некоторые неизвестные коэф-

коэффициенты, корректирующие введенные функции. Если эти функции удовлетворяют граничным условиям, то решение упрощается. Такому требованию удовлетворяют функции компонентов полного вектора перемещения $Y(x, y)$, $X(x, y)$, $z(x, y)$, получению которых посвящена вторая глава. Решение в перемещениях позволяет определить полные напряжения в оболочке.

Принятые дифференциальные уравнения равновесия записаны в напряжениях. Уравнения деформаций срединной поверхности, удовлетворяющие уравнению совместности, содержат нелинейные члены. Для учета неоднородности механических свойств ткани створок в окружном направлении, в нелинейные физические уравнения введены координатные функции, аппроксимирующие кривые изменения начального модуля деформации, получению которых посвящена первая глава:

$$E_{ox} = \alpha^3 (\alpha^2 + \beta x^2)^{-1} \quad (2)$$

где α , β - числовые коэффициенты, x - текущая координата в окружном направлении. На рис. 1 показана половина симметричной кривой, координата $x = 10$ мм соответствует середине створки. В физических уравнениях также учтены характеристики сдвиговых свойств.

Искомое решение системы уравнений равновесия в экспериментально-теоретическом методе представляется в виде

$$\begin{aligned} u &= A \cdot Y(x, y); \\ v &= B \cdot X(x, y); \\ w &= C \cdot z(x, y); \end{aligned} \quad (3)$$

где u , v , w - компоненты вектора перемещения в направлении декартовых осей; A , B , C - числовые коэффициенты; $Y(x, y)$, $X(x, y)$, $z(x, y)$ - координатные функции перемещений, найденные экспериментально. Подстановкой (3) в геометрические и физические уравнения, затем в уравнения равновесия, последние приводятся к виду нелинейных алгебраических уравнений и решаются относительно неизвестных коэффициентов A , B , C методом коллокаций с использованием стандартной подпрограммы решения систем нелинейных и трансцендентных алгебраических уравнений обобщенным методом Стефенсена.

На конкретных числовых данных приведен пример расчета

напряжений в створке аортального клапана при давлении 80 мм рт.ст. (10,67кПа). Расчет, в котором были использованы данные о неоднородности механических свойств, сдвиговых характеристиках и компонентах полного вектора перемещения поверхности показал, что створка в окружном направлении близка к равнонапряженной. Полученная картина изолиний максимальных напряжений $\sigma_{\max}$ (рис. 2) сопоставлена с картинами из других работ, полученными при таком же давлении, но без учета перечисленных факторов.

С целью проверки результата расчета по первому алгоритму, выполнен расчет по второму, более точному алгоритму, предложенному А.Д.Дорогиным, и специально ориентированным на использование экспериментальных данных в виде приращений перемещений, характерных для оптико-геометрических методов. В решении по этому алгоритму использованы уравнения равновесия в усилиях. Материал также принят неоднородным, нелинейным, ортотропным, оболочка безмоментная, не полагая, переменной кривизны и толщины, перемещения большие. Идея метода заключается в том, что за начальное принимается состояние, отвечающее некоторому уровню нагружения. Затем осуществляется малое приращение нагрузки, при котором функции приращений перемещений и деформаций определяются экспериментально, а напряжения, соответствующие этому приращению - теоретически, в силу статической определенности задачи в малом для безмоментной оболочки. Далее, физические уравнения, после специальных преобразований приводятся к системе шести нелинейных алгебраических уравнений, в которые входят приращения напряжений, найденные теоретически и соответствующие им приращения деформаций, определенные из эксперимента, а также неизвестные полные деформации. Из решения этой системы уравнений определяются значения полных деформаций, соответствующие упомянутому уровню нагружения, а затем, из физических уравнений - напряжения.

Расчет показал, что по максимальным напряжениям створка также близка к равнонапряженной в окружном направлении. Наибольшая разница в напряжениях, найденных по двум алгоритмам, достигает 24% в центральной части створки. Второй алгоритм расчета более трудоемок чем первый, так как требует дополнительных затрат времени на приведение деформаций, найденных экспериментально, и усилий, определенных из уравнений равновесия,

в систему криволинейных ортогональных координат, связанных со срединной поверхностью оболочки. Для практического использования, в виду близости результатов, рекомендовано применять первый алгоритм расчета.

Четвертая глава посвящена разработке методики контроля качества биопротезов на основе оценки напряженно-деформированного состояния створок. Разработанная методика включает две основные стадии. На первой проводится тщательный визуальный осмотр и испытание на стенде, моделирующем гидравлические воздействия, а на второй осуществляется углубленное изучение состояния створок, для чего производятся последовательно следующие операции:

1. Проверка наличия скрытых повреждений и склеротических отложений путем анализа на просве.

2. Определение формы поверхности створок и компонентов полного вектора перемещения точек их поверхностей.

3. Расчет напряженно-деформированного состояния створок.

4. Анализ напряжений в створках и сопоставление результатов расчета с накопленными данными о напряженно-деформированном состоянии створок как нормальных, так и подверженных конкретным видам повреждений и патологических изменений.

Для проверки наличия скрытых дефектов путем анализа в проходящем свете разработаны и изготовлены 2 установки. Первая предназначена для контроля створок натуральных аортальных клапанов, например, подготовленных для пересадки. Вторая установка предназначена специально для работы с биопротезами, имеющими ряд особенностей по сравнению с натуральным клапаном, она более автономна и может быть применена на других этапах контроля. Обе установки испытаны в Тюменском Государственном медицинском институте. Техническая документация внедрена в Тюменском межотраслевом территориальном центре научно-технической информации. Опытный экземпляр второй установки передан для экспериментальной апробации во Всесоюзный научный центр хирургии АМН СССР.

Определение формы поверхности створок и компонентов полного вектора перемещения проводится с использованием методики и системы регистрации, разработке которых посвящена вторая глава. Показано, что форма поверхности створки может служить одним из критериев оценки качества.

Для анализа напряжений в створках, напряженно-деформирован-

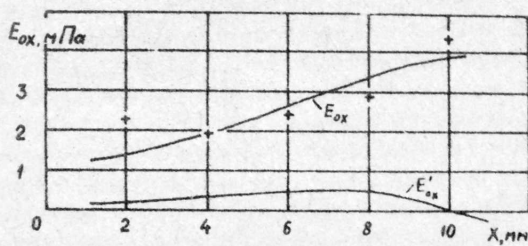


Рис. 1.

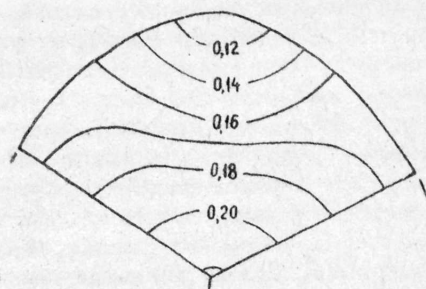


Рис. 2. δ_{max} , мм

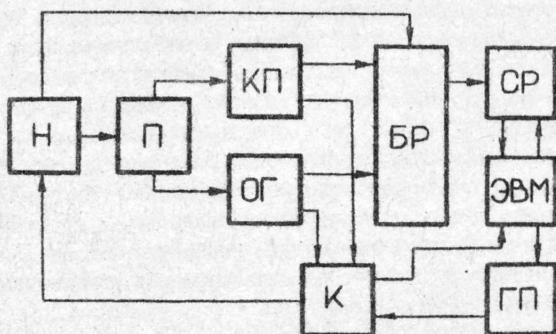


Рис. 3.

ное состояние определяется по первому алгоритму расчета, приведенному в 3-й главе, реализованному в компактной программе для ЭВМ. На примере показаны кривые максимальных напряжений в среднем сечении створки, имеющей нормальную форму эллиптического параболоида, и створки с отклонением по форме в сторону гиперболического параболоида.

Совокупность биологических и технических элементов, примененных для реализации разработанной методики, объединена в функциональную систему, отнесенную по типу к биотехническим системам медицинского назначения. Структура БТС-М контроля качества (рис. 3) включает диагностируемый протез (П), подсистему нагружения со средствами контроля (Н), подсистемы контроля створок в проходящем свете (КП) и оптико-геометрических компонентов (ОГ) для получения картин муара и спекл-интерферограмм, блок регистраторов (БР), подсистему считывания и расшифровки полученных картин (СР), ЭВМ с графопостроителем (ГП) или АЦПУ. Первичная и конечная информация поступает к контролеру (К), который на её основе принимает решение: признать протез по напряженному состоянию годным, негодным, или провести цикл контроля при другом уровне (режиме) нагружения. Структура БТС-М разработана с возможностью развития основных подсистем. В блоке ЭВМ реализованы две основные программы. Первая осуществляет аппроксимацию экспериментальных данных координатными функциями в виде степенных полиномов. Вторая выполняет решение напряженно-деформированного состояния створки. Обе программы в настоящее время реализованы на базе ЭВМ ЕС.

Одним из результатов работы являются методики исследования неоднородности механических свойств мягких биотканей с применением спекл-интерферометрии, принятые к использованию в Бюро судебно-медицинской экспертизы Тюменской области для получения информации о повреждениях мягких тканей, подвергнутых физическим воздействиям.

Новые характеристики механических свойств, полученные в результате исследования биоткани створок аортальных клапанов сердца, положены в основу конструкции биопротеза, составившей предмет заявки на изобретение. Целью изобретения является повышение долговечности протеза за счет снижения концентраций напряжений в створках.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны методики лазерного исследования деформативных характеристик мягких биотканей и органов на основе применения спекл-интерферометрии, позволяющие бесконтактно измерять перемещения по всей поверхности объекта и оценивать неоднородность его механических свойств.

2. Разработано оборудование для реализации методик при работе с микрообразцами мягкой биоткани, подвергаемыми одноосному однородному растяжению и сдвигу с целью оценки неоднородности, связанной с наличием включений инородных тел, патологических изменений, или вызванной переменным характером армирования.

3. Установлено, что биоткань створок аортальных клапанов сердца в окружном направлении неоднородна по механическим свойствам, начальный модуль деформации ткани достигает максимума в центральной части створок и в $2 \pm 2,5$ раза превышает значения в периферийных зонах. Показано, что эта неоднородность обеспечивает снижение концентрации напряжений в створках клапанов.

4. Установлено, что сдвиговые характеристики тканей створок аортальных клапанов являются нелинейными как в окружном, так и в радиальном направлении:

- значения начальных модулей сдвига тканей для окружного направления в $1,5 \pm 2$ раза превосходят значения для радиального направления; сдвиговые характеристики нашли применение в расчетах напряженно-деформированного состояния створок;

- на основе данных сдвиговых испытаний показано, что коэффициент поперечной деформации тканей створок аортальных клапанов в центральной части лежит в пределах $0,40 \pm 0,45$ и зависит от уровня нагружения.

5. Разработана система регистрации компонентов полного вектора перемещения и формы поверхности створок целых аортальных клапанов при нагрузках, моделирующих давление крови. Спекл-интерферометрия применена для регистрации 2-х компонентов вектора перемещения в плоскости створок, а теневой муар - для регистрации нормального компонента и формы поверхности.

6. Показано, что нормальный и плоские компоненты полного вектора перемещения поверхностей створок имеют одинаковые порядки величин, поэтому расчет напряжений в клапане без учета всех компонентов может быть неточным.

7. Проведен расчет напряженно-деформированного состояния створок аортального клапана на основе новых экспериментальных данных. Расчет показал, что створка является в окружном направлении близкой к равнонапряженной, концентрация напряжений вблизи комиссур и по краям значительно ниже, чем в расчетах без учета введенных новых факторов.

8. Предложено, для повышения долговечности лепестковых протезов, получать снижение концентрации напряжений в них путем задания распределения упругих характеристик, аналогичных выявленным в натуральном клапане сердца.

9. Разработана методика оценки качества биопротезов клапанов сердца на основе анализа напряженно-деформированного состояния их створок, как наиболее слабого звена. Для использования в данной методике выбран расчетный алгоритм, обладающий, при достаточной точности, наименьшей трудоемкостью.

По теме диссертации имеются следующие работы:

1. Кучерюк В.И. и др. Методы голографической интерферометрии, муаровый и спекл-интерферометрии в исследованиях тонкостенных элементов конструкций/В.И.Кучерюк, Ю.Е.Якубовский, О.Д.Буланова и др.-Тюмень, 1983.-61с.-Деп.в ВИНТИ 20.01.84, №420.

2. Воронов В.С., Орлов А.П. Исследование упругих свойств мягких биотканей методом спекл-интерферометрии//Применение методов лазерной интерферометрии и лазерной технологии для повышения качества изделий.Тез.докл. III Уральской конф.-Миасс, 1984.-С.22-23.

3. Воронов В.С., Чистикин А.Н., Кучерюк В.И. Механические свойства клапанов сердца человека зрелого возраста//Компенсаторно-приспособительные механизмы внутренних органов и головного мозга в норме, патологии и эксперименте.Тез.докл.конф. морфологов Тюменской обл.-Тюмень, 1984.-С.27.

4. Устройство для определения модуля сдвига мягких биологических тканей/В.С.Воронов, А.Д.Дорогин, В.И.Кучерюк, А.Н.Чистикин//Инф.листок Тюменского ЦНТИ.-1985.-№10.-4с.

5. Кучерюк В.И. и др. Расчет створки клапана человека как нелинейной анизотропной оболочки/В.И.Кучерюк, В.С.Воронов, А.Д.Дорогин, А.Н.Чистикин//Нелинейная теория тонкостенных конструкций и биомеханика:Труды I Всес.симпоз.-Кутаиси, 1985.-С.305-308.

6. Воронов В.С. и др. Метод спекл-голографии в определении некоторых механических свойств биоткани/В.С.Воронов, А.Д.Дорогин, В.И.Кучерюк, А.Н.Чистикин//Механика композитных материалов.-1985.-№3.-С.520-524.

7. Положит.реш. по заявке на а.с. №3724977/28 СССР . Устройство для рентгенографии биотканей/А.Н.Чистикин, В.С.Воронов, А.П.Орлов.-1985.

8. Установка для контроля качества биопротезов клапанов сердца/В.С.Воронов, А.П.Орлов//Инф.листок Тюменского ЦНТИ.-1986.-№256.-4с.

Воронов

