

пакета текстильных материалов. Начиная с 19 диапазона отклонения минимальны. Диапазоны выборок непосредственно связаны с конкретными значениями температур и временами нагревания (охлаждения). Поэтому данные, находящиеся за пределами данного диапазона могут использоваться для расчета коэффициента температуропроводности.

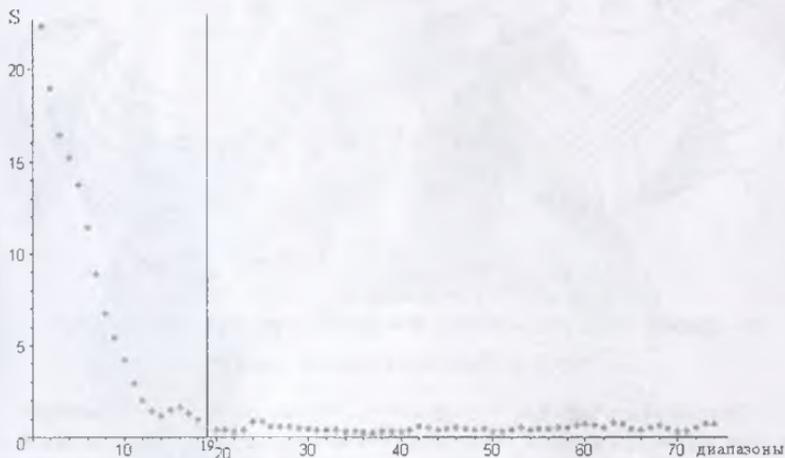


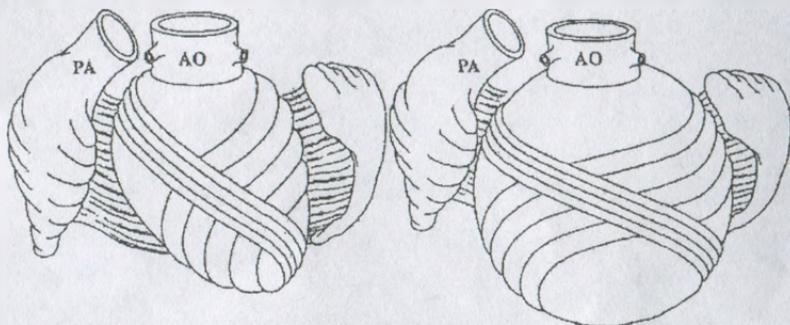
Рисунок 2 – Величины отклонений моделей от опытных данных

Тхорева И.М., Воронов А.М., Шелепова Н.Л., Романчук О.М.

РАСЧЕТ УСИЛИЙ ОБОЛОЧКИ НА СЕРДЦЕ

Механическая деятельность сердца представляет из себя согласованный процесс, неразрывно связанный с конструктивными особенностями камер сердца и свойствам миокарда. В сердце, как в сплошной механической среде, развитие патологического процесса приводит к структурной и функциональной перестройке, прежде всего желудочков сердца [1]. Структурная перестройка занимает продолжительное время и сопровождается реорганизацией конструктивных особенностей камер сердца – увеличением объема, изменением формы и толщины стенки. Нарушение морфологии желудочков

сердца, структуры и их функции, получили название ремоделирования желудочков сердца. Изменение геометрии желудочков сердца сопровождается повышением напряжения их стенки, желудочки приобретают сферическую форму, стенки их истончаются (рис.1).



а – форма здорового сердца; б – форма увеличенного сердца.

Рис.1 – Ремоделирование сердца

Основываясь на том, что одной из главных причин ремоделирования является потеря эластичности мышц сердца, предлагается метод борьбы с этим состоянием с помощью наружного сжатия желудочков сердца. Для этой цели используется сетчатая оболочка (рис.2), изготовленная из трикотажного полотна, связанного из полиэфирных нитей.

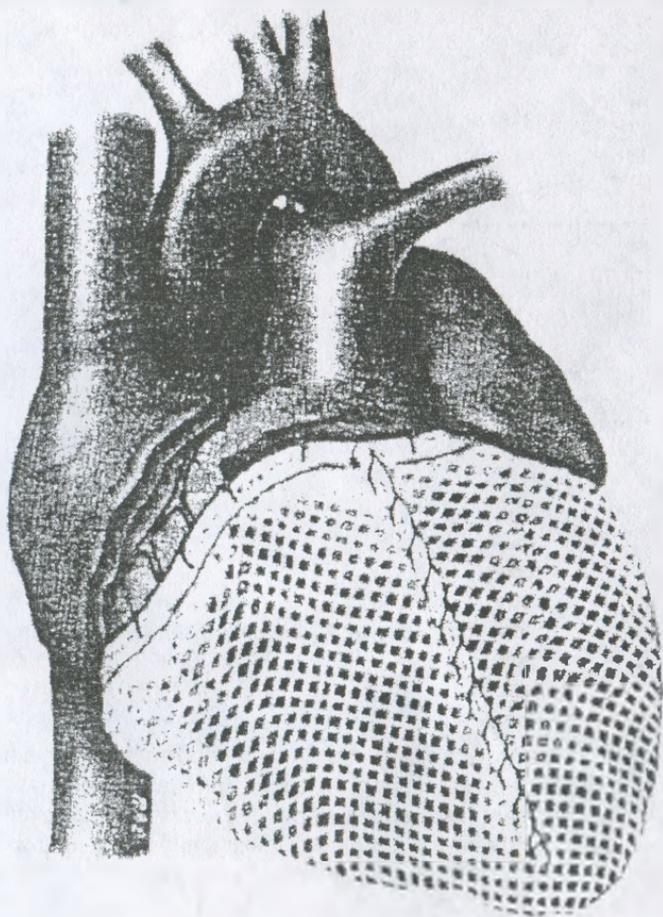
Оболочка сконструирована таким образом, чтобы максимально быть адаптированной к сердцу и придать ему эллипсоидную форму (форма здорового сердца (рис.1)). Благодаря высокой упругой и эластической деформации и низкой пластической (3%) трикотажа, из которого изготовлена оболочка, размещение ее на сердце приводит к уменьшению размеров желудочков сердца и частично уменьшает механический стресс на миокард.

В работе была выведена общая формула для вычисления напряжений, возникающих в оболочке, находящейся под внутренним давлением.

Для этого оболочку на сердце рассматривали при следующих прочих равных условиях:

- оболочка является *тонкостенной*, т.к. отношение толщины стенки оболочки к радиусу кривизны ее поверхности < 1 ;
- форма оболочки *осесимметричная*, имеющая форму *эллипсоида вращения*;

Рис.2 – Сетчатая оболочка на сердце



- напряжения, возникающие в оболочке *постоянные* по толщине и, следовательно, изгиб отсутствует;

- оболочка подвергается только *растяжению*.

Для тонкостенной оболочки, имеющей форму эллипсоида вращения и находящейся под внутренним давлением p , распределенным симметрично относительно оси вращения выделяли элемент $ABCD$ двумя смежными меридианными сечениями и двумя сечениями, нормальными к меридиану (рис.3).

Размеры элемента по меридиану и по перпендикулярному к нему

направлению обозначим соответственно dS_m и dS_t , размеры кривизны меридиана и перпендикулярного к нему окружного (кольцевого) сечения обозначим r_m и r_t , толщину стенки сосуда назовем t .

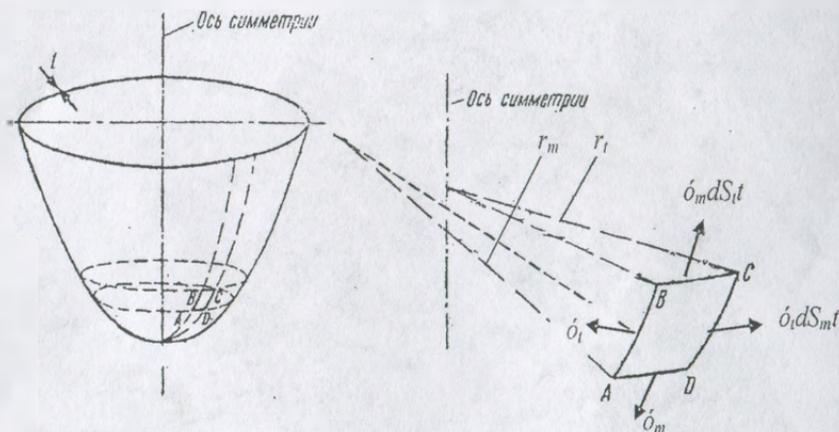


Рис.3 – Эллипсоид вращения

По симметрии по граням выделенного элемента будут действовать только нормальные напряжения y_m в меридиальном направлении и y_t в направлении перпендикулярном к меридиану. Соответствующие усилия, приложенные к граням элемента, будут $y_m dS_t t$ и $y_t dS_m t$. Так как тонкая оболочка сопротивляется только растяжению, подобно гибкой нити, то эти усилия будут направлены по касательной к меридиану и к сечению, нормальному к меридиану.

Усилия $y_t dS_m t = ac = bc$ (рис.4) дают в нормальном к поверхности элемента направлении равнодействующую ab , равную

$$a\bar{b} = bc * dQ_t = \sigma_t dS_m t \frac{dS_t}{r_t}$$

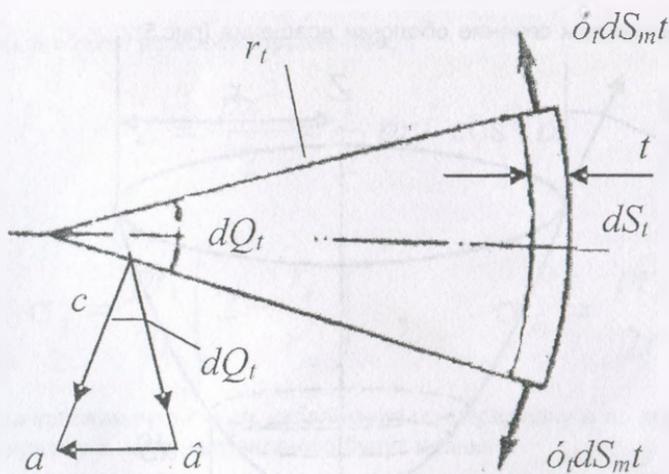


Рис.4

Подобным же образом усилия $y_m dS_t t$ дают в том же направлении равнодействующую

$$\sigma_m dS_t dS_m \frac{t}{r_m}$$

Сумма этих усилий уравнивает нормальное давление, приложенное к элементу

$$p dS_m dS_t = \sigma_m dS_t dS_m \frac{t}{r_m} + \sigma_t dS_m dS_t \frac{t}{r_t}$$

отсюда

$$\frac{\sigma_m}{r_m} + \frac{\sigma_t}{r_t} = \frac{p}{t} \quad 1)$$

где p – интенсивность внутреннего давления, являющегося функцией только координаты z ;

Уравнение 1 является основным уравнением, связывающим напряжения y_m и y_t для тонкостенных оболочек вращения – уравнение Лапласа [2,3].

Рассмотрим сечение оболочки вращения (рис.5).

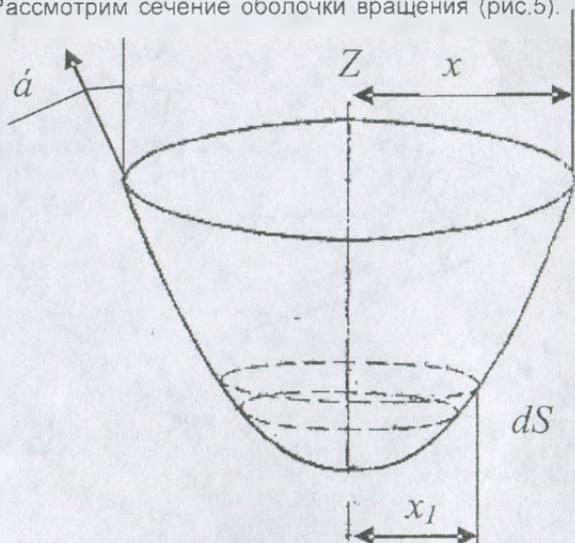


Рис.5

Из условия равновесия части сосуда, отделенной сечениями, перпендикулярными меридианам на уровне рассматриваемой точки, получается уравнение

$$\sigma_m * t * x * \cos \alpha = Z \quad 2)$$

где α – угол между осью z и касательной к меридиану на рассматриваемом уровне;

x – радиус окружности кольцевого сечения на том же уровне;

Z – сумма проекций на ось z сил, действующих на отсеченную часть сосуда, равная

$$Z = \int_0^x p x_1 dx_1$$

здесь x_1 – текущий радиус окружности кольцевого сечения сосуда.

Решение уравнений 1 и 2 дает следующие значения напряжений

$$\sigma_t = \frac{pr_i}{t} - \frac{Z}{tr_m \cos^2 \alpha}, \quad \sigma_m = \frac{Z}{tr_i \cos^2 \alpha}$$

Так как $p = const$ во всех направлениях,

$$Z = \frac{px^2}{2} = \frac{1}{2} pr_i^2 \cos^2 \alpha$$

Тогда

$$\sigma_t = \frac{pr_t}{2t} \left(2 - \frac{r_t}{r_m} \right), \quad \sigma_m = \frac{pr_t}{2t}$$

При условии, что $r_t = r_m = r$ напряжения по меридиану и по перпендикулярному к нему направлению будут равны

$$\sigma_t = \sigma_m = \frac{pr}{2t}$$

Литература

1. Островский, Ю.П. Стакан, И.Н. Сферическое ремоделирование левого желудочка сердца / Здоровоохранение, № 7. – Минск, 2005. – С. 13-19.
2. Новожилов, В.В. Черных, К.Ф. Михайловский, Е.И. Линейная теория тонких оболочек. – Л.: Политехника, 1991. – 656с.
3. Дарков, А.В. Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. Изд. 3-е. – М.: «Высшая школа», 1969. – 734с.