В. Н. ЗУБЦОВСКИЙ, О. Н. БУШМАРИН, П. И. ОРЛОВСКИЙ

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ВИЗУАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ
ЗАПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННЫХ
КЛАПАНОВ СЕРДЦА

Целью настоящей работы является сравнительное визуальное исследование стационарного и нестационарного обтекания различных конструкций искусственных сердечных клапанов в форме шара (МКЧ-3-16), полушария (МКЧ-3-27), чечевицы (МКЧ-3-29). Для визуализации потоков использовался метод электрофореза, имеющий следующие преимущества: а) получение видимой картины потока в желаемой плоскости; б) малое возмущение потока при окрашивании; в) возможность применения теллурических электродов разнообразной формы. Установка состояла из напорного бака с электролитом КОН. Теллурический катод в форме гребенки помещался перед клапаном, а анодом служил титановый каркас протеза. Картина обтекания клапанов снималась кинокамерой (24 кадра в секунду). Запорный элемент с помощью тонкой нити подтягивался к седлу клапана. Включался источник питания—УИП-1 и струйки краски начинали медленно стекать с гребенки катода. При работающей кинокамере открывалось одно из калиброванных отверстий, одновременно отпускалась нить, и запорный элемент устремлялся к ограничительным стопам. Так фиксировалась картина нестационарного обтекания. Исследовались и стационарные потоки, при этом опыт проводился при заранее открытом клапане. Известно, что в начале открытия клапана митральной или аортальной позиции канал желудочка и аорты приближается по форме к цилиндру, в заключительной же стадии представляет собой диффузор со значительным углом расширения. Форма канала значительно сказывается на величине коэффициента сопротивления клапанов, поэтому визуализация была проведена в канале, имеющем форму как цилиндра, так и диффузора с углом раствора $\alpha = 65^\circ$.

К основным источникам гидродинамического сопротивления клапана следует отнести внезапное сужение перед входом в гидравлическое отверстие, внезапное расширение после выхода из отверстия, отрыв потока в кольцевом диффузоре, образованном стенкой канала и кормовой частью запорного элемента. При внезапном сужении возникает застойная зона с вращательным движением жидкости, что является причиной потери механической энергии. При внезапном расширении также возникает завихрение. Причина отрыва пограничного слоя с поверхности запорных элементов клапанов кроется в возрастании давления вниз по потоку в кормовой области запорного элемента. Траектории частиц жидкости при обтекании запорного элемента значительно искривлены и расположены выпуклостью в сторону стенки канала. Жидкость течет вначале по суживающемуся, а затем по расширяющемуся искривленному каналу, на внешней стенке которого давление также повышается вследствие возникновения центробежной силы. Данное обстоятельство приводит к отрыву пограничного слоя не только в кормовой области запорного элемента, но и на стенке канала несколько ниже по потоку. При обтекании шарового клапана, вследствие возникновения зоны отрыва на стенке канала, линии тока оттесняются в сторону шара и поэтому точка отрыва на шаре смещается вниз по потоку, т. е. расположена не в окрестности миделевого сечения, а значительно ближе к норме. В диффузоре из-за расширения канала изгиб линий тока меньше, чем в цилиндре, поэтому отрыв на его стенках слабее. В кормовой же части запорного элемента отрыв в диффузоре значительно интенсивнее, чем в цилиндре. Образование отрывных зон и турбулизация потока являются главной причиной сопротивления при работе искусственных клапанов.

Обтекание клапанов в сердце является нестационарным, т. е. изменяющимся во времени. В начале диастолы шар отходит от седла и, двигаясь вместе с потоком крови, достигает ограничительных стоп каркаса. Скорость крови по отношению к шару в

этом движении весьма незначительна, поэтому, когда шар внезапно останавливается, а кровь продолжает двигаться, возникает так называемое импульсивное обтекание, при котором в первый момент шар обтекается плавно, а затем на его поверхности зарождается пограничный слой и, начиная с кормовой точки, развивается отрыв. В заключительном периоде диастолы шар обтекается с развитым отрывом, как это имеет место в установившемся, стационарном режиме. Хотя движение крови в течение всей диастолы является нестационарным, однако в определенный отрезок времени, начиная с момента возникновения развитого отрыва, обтекание шара можно считать близким к установившемуся. Период диастолы в среднем составляет $t_k = 0,50$ сек, а время II тон—«щелчок» открытия $t = 0,12$ сек. Время t_s , которое требуется от начала импульсивного движения до возникновения отрыва и время $t_{s,10,1}$ полного развития отрыва могут быть рассчитаны по формулам:

$$t_s = 0,39 \frac{a}{V} (1); \quad t_s \text{ полн.} = 1,5 \frac{a}{V} (2),$$

где a —радиус шара, V —скорость импульсивного движения жидкости. Проведенный расчет показал, что обтекание шара с развитым отрывом происходит в заключительный период диастолы, длительность которого составляет $\sim 0,16$ сек, т. е. приблизительно $1/3$ времени диастолы. Отметим, что на полушарии и чечевиче отрыв возникает практически сразу, с начала обтекания. В диффузоре образуются более интенсивные вихревые движения, чем в цилиндре, что и приводит к росту сопротивления клапанов. Поток перед чечевичей, расположенной в диффузоре, направлен так, что препятствует возникновению интенсивного отрыва в зоне внезапного расширения. Это обстоятельство, наряду с уменьшением потери на «удар», объясняет некоторое снижение сопротивления чечевичеобразного клапана, установленного в диффузоре, по сравнению с тем же клапаном в цилиндрическом канале.

И ЛОТКЗМИ им. акад. И. П. Павлова,
г. Ленинград

Поступило 22/X 1973 г.

Վ. Ն. ՉՈՒԲՏՈՎՍԿԻ, Օ. Ն. ԲՈՒՇՄԱՐԻՆ, Ա. Ի. ՕՐԼՈՎՍԿԻ

ՍՐԻՏԻ ԱՐԶԵՍՏԱԿԱՆ ԿԱՓՈՒՅՐԵՆԵՐԻ ՓԱԿԻԶ ՄԱՍԵՐԻ ՇՐՋԱՀՈՍՈՒԹՅԱՆ
ՀԱՄԵՄԱՏԱԿԱՆ ԱԿՆԱԴԻՏԱԿԱՆ (ՎԻԶՈՒԱ) ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ն փ ո լ մ

Առաջարկված է սրտի արհեստական կափույրների վիզուալ ըննության նոր մեթոդ: Սա տալիս է ակնառու պատկերացում սրտի տարբեր կառուցվածքների կափույրների շրջահոսության շարահատկությունների մասին:

V. N. SOUBTSOVSKY, O. N. BOSHMARIN, A. I. ORLOVSKY

THE COMPARATIVE VISUAL INVESTIGATION OF FLOWING OF
OCCLUSIVE ELEMENTS OF EXTRACORPORAL
CARDIAC VALVES

S u m m a r y

The new method of visual investigation of extracorporal cardiac valves was suggested. It allows to have a clear view of the peculiarities of the flowing of different constructions of cardiac valves.