

УДК 616-77;539.4

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЛЬТРА-ЛОВУШКИ

Савченко А. Л.¹, Шумская А. П.²

¹Белорусский национальный технический университет

²ООО «Точная механика»

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе приведены результаты теоретического исследования нагрузок при извлечении фильтра-ловушки из вены. Рассмотрены расчеты усилия извлечения и прочности зацепа тубулярного фильтра. Результаты расчетов могут быть использованы при проектировании эндопротезов сосудов.

Ключевые слова: фильтр-ловушка, извлечение, усилие, прочность, проектирование.

ON THE QUESTION OF DESIGNING CAVA-FILTER ELEMENTS

Savchenko A., Shumskaya A.

¹Belarusian National Technical University

²«Mechanica»

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper presents the results of a theoretical study of loads during extraction of a cava-filter from a vein. Calculations of the extraction force and the strength of the tubular filter hook are considered. The calculation results can be used in designing vascular endoprotheses.

Key words: cava-filter, extraction, effort, strength, design.

Адрес для переписки: Савченко А. Л., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: alsavchenko@bntu.by

Фильтр-ловушка (cava-фильтр) – проволочная конструкция, устанавливаемая в просвет кровеносного сосуда (вены) и предназначенная для улавливания сгустков крови.

Фильтры ловушки должны иметь в конструкции зацепы для фиксации в сосуде, поэтому их получение из цельного куска проволоки гибкой или плетением затруднительно.

Тубулярные фильтры-ловушки вырезают целиком из нитиноловой трубки и раскрывают на манер китайского фонарика. Полученную форму фиксируют в печи. Примером может служить фильтр-ловушка Optease Retrieable Vena-cava-Filter (Cordis, USA), показанный на рисунке 1 [1].

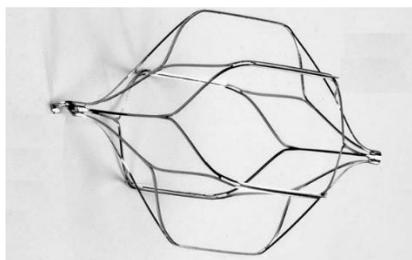


Рисунок 1 – Тубулярный фильтр-ловушка

Сборные фильтры-ловушки имеют достаточно много разновидностей, при этом у них вполне однотипная конфигурация – расходящийся пучок проволочек.

Фильтр находится в вене до трех месяцев, после чего должен быть удален. Для удаления в яремную вену на шее вставляется специальная трубочка. Используя рентгеноскопию, врач проводит специальную самозатягивающуюся петлю, которая набрасывается на крючок кава-фильтра.

После успешного захвата петля втягивается в трубку, кава-фильтр складывается как зонтик и извлекается наружу. При этом прочность крючка должны быть достаточна для преодоления усилия, необходимого для извлечения без разрушения.

В материале приводятся результаты теоретического исследования нагрузки для извлечения фильтра-ловушки и прочности крючка-зацепа для тубулярного фильтра, изготавливаемого резкой из нитиноловой трубки в условиях Научно-технологического парка БНТУ «Политехник». На рисунке 2 показана заготовка фильтра после лазерной резки, на рисунке 3 – фильтр в раскрытом состоянии [2].



Рисунок 2 – Заготовка после лазерной резки

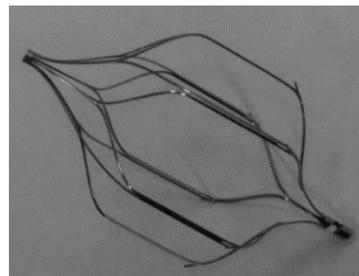


Рисунок 3 – Раскрытый фильтр-ловушка

Усилие, требуемое для извлечения фильтра из вены складывается из следующих составляющих:

- отделение фиксирующих элементов от стенок вены;
- деформация элементов фильтра при стягивании в трубку;
- трение фильтра о стенки трубки.

Отделение фиксирующих элементов от стенок вены в некоторых случаях может стать достаточно затруднительным и выполняется специальными инструментами в ходе операции [3]. В случае проектного расчета можно ввести коэффициент, определяемый анализом статистических данных, которые предстоит набрать при выполнении операций.

Сила, вызванная деформацией элементов фильтра при стягивании в трубку определяется размерами трубки и элементов фильтра. Расчетная схема показана на рисунке 4.

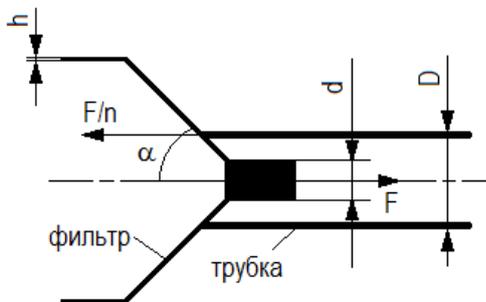


Рисунок 4 – Схема расчета усилия втягивания

Величину деформации можно определить по формуле:

$$f = \frac{nPl^3}{3EJ}, l = \frac{D-d}{2\sin\alpha}, J = \frac{bh^3}{12},$$

где $P = F\cos\alpha/n$ – усилие, приходящееся на один изгибный элемент фильтра, n – число изгибных элементов, F – усилие, приложенное к фильтру при его удалении; l – длина плеча приложения нагрузки при изгибе; E – модуль упругости нитинола в состоянии сверхупругости, J – момент инерции поперечного сечения изгибного элемента, b – ширина изгибного элемента, h – толщина изгибного элемента. При расчете максимального усилия все геометрические размеры следует задавать для начального (недеформированного) состояния, требуемая деформация, очевидно, принимается как $f = (D-d)/2$. Для учета возможного смещения фильтра в пределах зазора в трубке выражение для длины плеча может быть принято как:

$$l = \frac{H}{2\sin\alpha},$$

где H – толщина стенки трубки.

Сила трения фильтра о стенки трубки определяется как $F_{тр} = nP\mu$, где μ – коэффициент трения в контакте нитинолового фильтра и трубки из нержавеющей стали.

Суммарное усилие втягивания фильтра в трубку

$$F_c = (F + F_{тр} + KF),$$

где K – коэффициент, учитывающий силу отделения фильтра от стенок кровеносного сосуда (вены).

Величина суммарного усилия может быть рассчитана для проверки прочности крючка-зацепа при проектировании фильтра.

Крючок при удалении фильтра должен быть проверен на разрыв и срез в месте контакта с петлей для извлечения. Так как форма крючка обеспечивает симметричное нагружение, а цилиндрическая форма имеет высокую изгибную жесткость, проверка на изгиб может не выполняться. Условие прочности на разрыв

$$\sigma = \frac{F_c}{A_p} \leq [\sigma], A_p = \frac{\pi(d - d_1)^2}{4},$$

где A_p – площадь разрыва, равная площади поперечного сечения трубки-заготовки для фильтра; d_1 – внутренний диаметр трубки-заготовки.

Условие прочности на срез

$$\tau = \frac{F_c}{A_c} \leq [\tau], A_c = d_n(d - d_1),$$

где A_c – площадь среза, равная площади контакта петли с трубкой-заготовкой для фильтра; d_n – диаметр проволоки петли.

Полученные расчетные формулы могут быть использованы в расчетах при проектировании фильтров-ловушек.

Литература

1. Hoppe, H. Optional Vena Cava Filters. Indications, Management, and Results / H. Hoppe // Dtsch Arztebl Int. – 2009. – № 106 (24). – P. 395–491.
2. Разработка и исследование конструктивных и технологических параметров формообразования изделий медицинского назначения из никелида титана в рамках задания 4.1.08 "Разработка и исследование технологии задания формы материалам на основе никелида титана для получения изделий медицинского назначения" [Электронный ресурс]: отчет о НИР (заключительный) : ГБ 14-91 / Белорусский национальный технический университет (Минск); рук. В. Т. Минченя; исполн. А. Л. Савченко, Н. Т. Минченя, А. Ю. Королев, М. И. Филонова. – Электрон. дан. – Минск: [б. и.], 2015. – N ГР 20141055.
3. Однопросветная унилатеральная техника удаления кавы-фильтра / А. Г. Виллер [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова. – 2018. – Т. 13, № 3. – С. 141–143.