

# АНАЛИЗ ФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭНДОПРОТЕЗОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЕРЕДНЕЙ БРЮШНОЙ СТЕНКИ

## ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF ENDOPROSTHESES FOR RESTORATION OF THE ANTERIOR ABDOMINAL WALL

- **Объедков Евгений Геннадьевич**
- **Бородулин Вильям Павлович**
- **Бородулин Ричард Павлович**
- **Рашидбекова Аишат Магомедовна**
- **Курский государственный медицинский университет**

E-mail: [objedkoveg@kusksmu.net](mailto:objedkoveg@kusksmu.net)

- **Objedkov Evgeny Gennadievich**
- **Borodulin William Pavlovich**
- **Borodulin Richard Pavlovich**
- **Rashidbegova Aishat Magomedovna**
- **Kursk State Medical University**

### Резюме

Восстановление передней брюшной стенки — одно из ключевых направлений в абдоминальной и пластической хирургии, требующее подбора оптимальных эндопротезов с учётом их физических и механических свойств. В исследовании проведён сравнительный анализ пяти типов сетчатых эндопротезов: эсфил лёгкий, флексилен стандартный, форекс, флексилен лёгкий и эсфил стандартный. Испытания проводились методом одноосного растяжения при контролируемых условиях для определения предела прочности и поведения материалов при нагрузке. Результаты показали, что эсфил стандартный обладает наибольшей прочностью (до 73,99 Н) и стабильностью структуры, что делает его эффективным для восстановления крупных дефектов. Флексилен (стандартный и лёгкий) сочетает гибкость, мягкость и устойчивость формы, что снижает риск осложнений и повышает комфорт пациента. Форекс, обладая умеренной прочностью, отличается высокой эластичностью и надёжностью как шовный материал. Эсфил лёгкий показал оптимальный баланс прочности и мягкости при низком расходе материала.

Выводы подтверждают отсутствие универсального решения: выбор эндопротеза должен определяться клиническими задачами и особенностями пациента. Наиболее прочным оказался эсфил стандартный, наиболее гибким — флексилен, а форекс подтвердил эффективность в качестве вспомогательного материала.

**Ключевые слова:** эндопротез, передняя брюшная стенка, механические свойства, прочность, биосовместимость.

Restoration of the anterior abdominal wall is one of the key areas in abdominal and plastic surgery, requiring the selection of optimal endoprostheses, taking into account their physical and mechanical properties. The study conducted a comparative analysis of five types of mesh endoprostheses: esfil light, flexylene standard, ftx, flexylene light and esfil standard. The tests were carried out by uniaxial stretching under controlled conditions to determine the ultimate strength and behavior of materials under load.

The results showed that standard esfil has the highest strength (up to 73.99 N) and structural stability, which makes it effective for repairing large defects. Flexylene (standard and lightweight) combines flexibility, softness and stability of shape, which reduces the risk of complications and increases patient comfort. Ftx, having moderate strength, is characterized by high elasticity and reliability as a suture material. Esfil Light showed an optimal balance of strength and softness with low material consumption.

The conclusions confirm the lack of a universal solution: the choice of an endoprosthetic should be determined by the clinical objectives and characteristics of the patient. Standard esfilene turned out to be the most durable, flexylene was the most flexible, and ftx confirmed its effectiveness as an auxiliary material.

**Key words:** endoprosthetic, anterior abdominal wall, mechanical properties, strength, biocompatibility.

**Библиографическая ссылка на статью**

Объедков Е.Г., Бородулин В.П., Бородулин Р.П., Рашидбекова А.М. Анализ физических и механических характеристик эндопротезов для восстановления передней брюшной стенки // *Innova*. - 2025. - Т. 11. - № 3. - С.36-43.

**References to the article**

Objedkov E.G., Borodulin W.P., Borodulin R.P., Rashidbegova A.M. Analysis of physical and mechanical characteristics of endoprostheses for restoration of the anterior abdominal wall // *Innova*. - 2025. - Т. 11. - № 3. - P.36-43.

Восстановление передней брюшной стенки занимает важное место в общей и пластической хирургии, особенно при лечении различных форм центральных и послеоперационных грыж. Процедура установки эндопротеза требует тщательной подготовки и обследования пациента. Эндопротезы для восстановления передней брюшной стенки широко применяются в абдоминальной хирургии при лечении грыж и дефектов, возникших после операций или травм. Основной целью их использования является обеспечение прочного закрытия грыжевых ворот и предотвращение рецидивов. Эндопротезы изготавливаются из синтетических материалов, таких как полипропилен, полиэстер или композитные структуры [5]. Эти материалы обладают высокой биосовместимостью и устойчивостью к инфекциям, что делает их идеальными для имплантации [7].

Их физические характеристики играют ключевую роль в обеспечении биосовместимости, функциональности и долговечности. Основными параметрами считаются прочность, жёсткость, эластичность, трение, износостойкость, плотность и масса. Механические характеристики эндопротезов играют ключевую роль в обеспечении их функциональности и долговечности [3,7]. Основные параметры, которые учитываются при проектировании и изготовлении эндопротезов, включают прочность, жесткость, упругость и износостойкость материалов. Эти характеристики должны быть максимально приближены к аналогичным показателям тканей и органов, которые эндопротезы заменяют.

Актуальность темы обусловлена необходимостью глубокого и объективного анализа физических и механических свойств различных видов эндопротезов, так как именно эти характеристики во многом определяют их поведение в организме: степень интеграции с тканями, вероятность осложнений, а также долговечность конструкции [4].

**Цель исследования** – провести анализ и сравнение физических и механических характеристик эндопротезов, используемых для восстановления передней брюшной стенки, с целью выявления оптимальных свойств, обеспечивающих наилучшие клинические результаты.

**Материалы и методы исследования.** В исследование были включены следующие сетки: эсфил лёгкий, флексилен стандартный, фторекс, флексилен легкий, эсфил стандартный. Для обеспечения воспроизводимости и точности испытаний каждая сетка была разделена на пять прямоугольных образцов размером 5 см × 1 см. Все образцы перед испытаниями были подвергнуты кондиционированию при контролируемых условиях: температуре 23 °C ± 2 °C и относительной влажности воздуха 50% в течение 24 часов. Механические свойства исследовались методом одноосного растяжения на универсальной испытательной машине, оснащённой тензодатчиком с максимальной нагрузкой 500 Н. Аппарат был откалиброван согласно требованиям стандарта, что обеспечивало точность измерений. Испытания проводились при скорости деформации 35 мм/мин вплоть до полного разрушения образца [2]. В процессе фиксировались следующие параметры: предел прочности при растяжении, смещение в точке разрушения (мм).

**Результаты исследования.** На рисунке 1 представлены результаты испытаний эндопротеза эсфил лёгкий. У эсфила лёгкого диапазон удлинения составил 30,07–33,55 мм, а максимальная сила разрушения — 39,25–49,86 Н. Средние значения  $L_u$  и прочности равны  $31,57 \pm 1,36$  мм и  $42,67 \pm 4,3$  Н соответственно. Вариация показателей удлинения минимальна (4,3 %), что говорит о стабильности волокон при нагрузке. Разница между минимальным и максимальным значениями прочности составляет 21,3 %, что указывает на высокую воспроизводимость результатов и качественное изготовление материала.

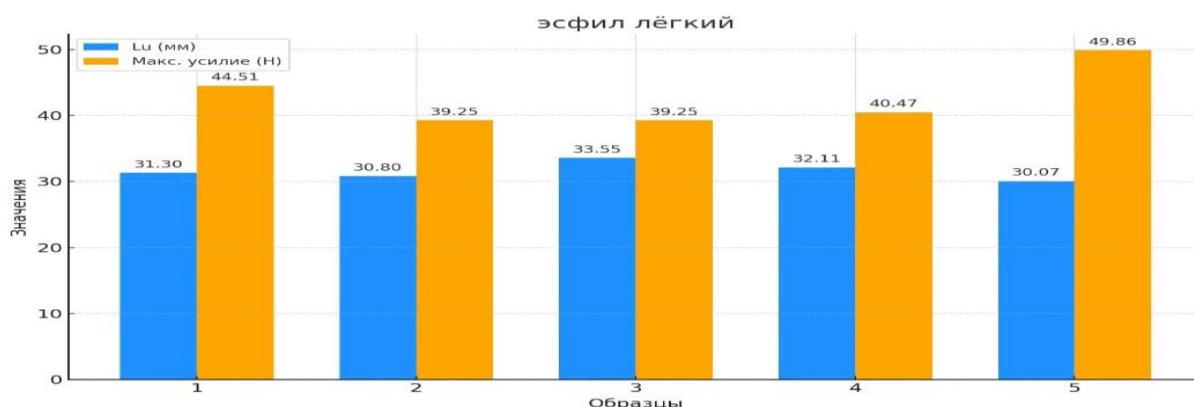


Рис. 1. Результаты тестов на эндопротез эсфил легкий

На рисунке 2 приведены данные по эндопротезу флексилен стандартный. Материал флексилен стандартный продемонстрировал наибольшую устойчивость показателей:  $Lu = 30,59 \pm 2,2$  мм, сила разрушения  $= 53,28 \pm 6,9$  Н. Разница между крайними значениями прочности составила 17,09 Н (около 32 % от среднего). Стандартное

отклонение по  $Lu$  не превышает 7 %, что отражает равномерность растяжения и высокое качество плетения волокон. Высокие значения прочности (до 64,88 Н) при умеренном удлинении подтверждают способность материала сохранять форму без потери целостности даже при интенсивной нагрузке.

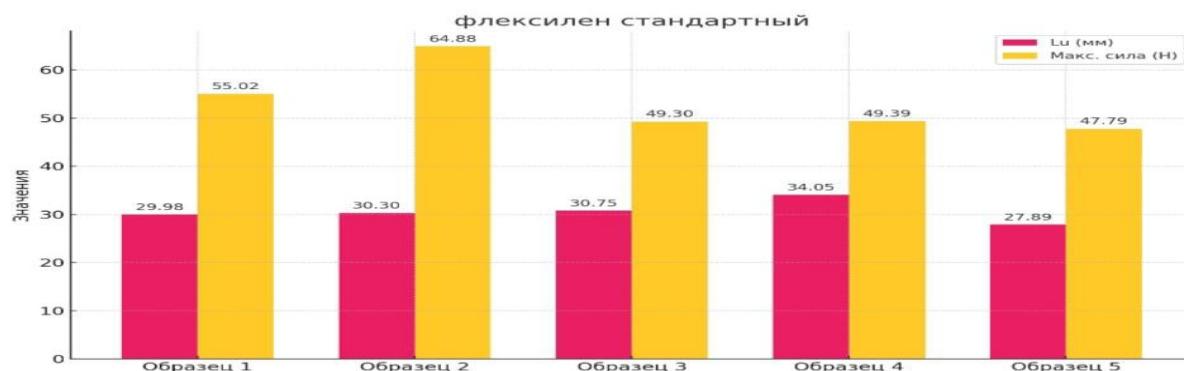


Рис. 2. Результаты тестов на эндопротез флексилен стандартный

На рисунке 3 представлены результаты испытаний материала форэркс. Эндопротез фторэркс характеризовался минимальной прочностью (10,33–19,44 Н), но высоким удлинением — 21,13–27,38 мм. Средние значения  $Lu$  и прочности составили  $23,82 \pm 2,2$  мм и  $14,73 \pm 3,4$  Н соответственно. Однако

заметный разброс результатов объясняется неоднородностью структуры плетения и разной ориентацией волокон при вырезании образцов. Несмотря на сравнительно низкую прочность, материал обладает высокой гибкостью и хорошо подходит в качестве вспомогательного или шовного материала.

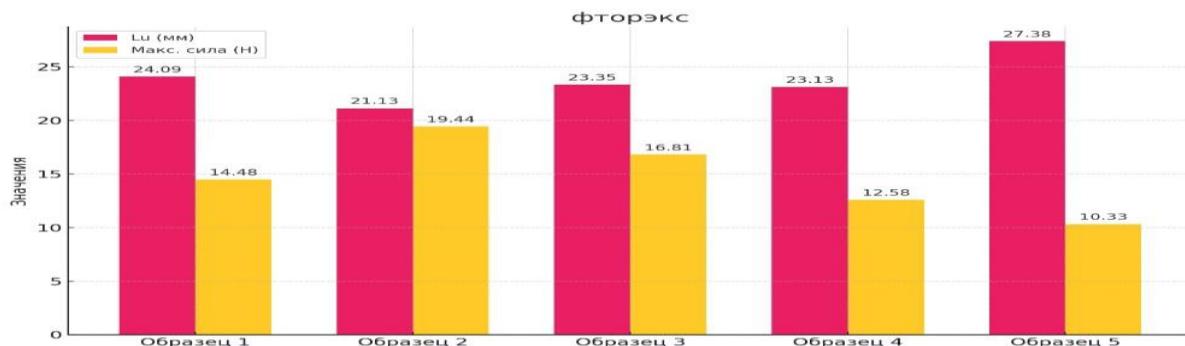


Рис. 3. Результаты тестов на эндопротез фторэкс

На рисунке 4 показаны данные испытаний эндопротеза флексилен лёгкий. Для эндопротеза флексилен лёгкий значения Lu варьировали от 8,57 до 31,62 мм, в то время как максимальная сила разрушения составила от 25,75 до 42,63 Н. Средние значения удлинения и прочности составили соответственно  $24,15 \pm 8,9$  мм и  $33,87 \pm 6,1$  Н. Подобные расхождения внутри одной группы обусловлены структурной анизотропией

материала, то есть зависимостью его механических свойств от направления волокон. Дополнительное влияние: различная плотность плетения в отдельных участках сетки, микродефекты материала, а также незначительные погрешности при фиксации образцов в зажимах. Таким образом, материал демонстрирует умеренную прочность при сохранении гибкости и низкой жёсткости.

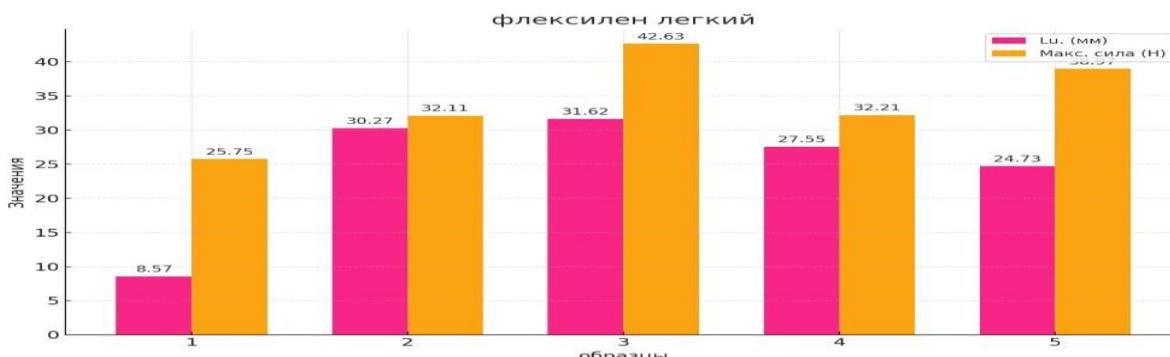


Рис. 4. Результаты тестов на эндопротез флексилен легкий

На рисунке 5 отражены результаты для эндопротеза эсфил стандартный. Наибольшие значения прочности зафиксированы у эсфила стандартного — от 43,76 до 73,99 Н, при удлинении 29,06–34,99 мм. Средние значения составили  $Lu = 31,36 \pm 2,2$  мм и сила разрушения  $= 56,20 \pm 11,3$  Н. Диапазон прочности варьирует

на 41 %, что отражает различие в плотности волокон и толщине нитей по образцам. Материал обладает высокой жёсткостью и устойчивостью к нагрузкам, что делает его оптимальным для применения в условиях повышенного натяжения тканей.

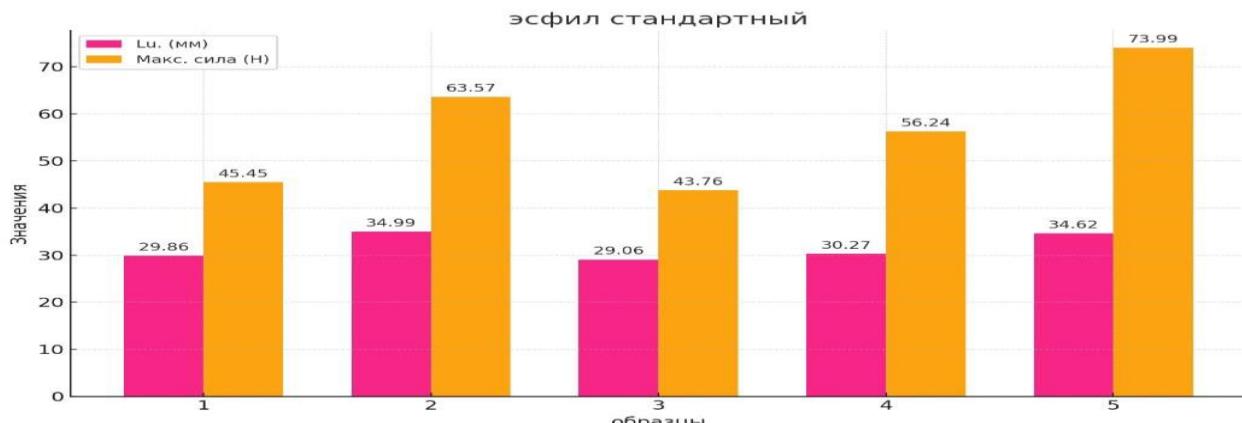


Рис. 5. Результаты тестов на эндопротез эсфил стандартный

В целом наблюдаемые расхождения между образцами внутри групп связаны с рядом объективных факторов: анизотропией сетчатой структуры (разным направлением волокон в продольном и поперечном сечениях), технологическими допусками при производстве, микродефектами нитей и влиянием условий испытания (температуры, влажности и точности закрепления образца). Следует подчеркнуть, что такие колебания характерны для большинства полимерных сетчатых материалов и не свидетельствуют о низком качестве, а отражают их структурную неоднородность.

**Выводы.** Анализ показал, что максимальные значения прочности наблюдались у эндопротеза эсфил стандартный (до 73,99 Н), при этом средняя сила разрушения превышала аналогичные показатели других материалов на 32–60 %. Флексилен стандартный и эсфил лёгкий продемонстрировали устойчивое соотношение прочности и удлинения, что делает их универсальными для большинства хирургических задач. Фторэкс характеризуется наименьшей прочностью (в среднем 14,7 Н), но максимальной эластичностью, что позволяет применять его как вспомогательный материал. Флексилен лёгкий имеет выраженную вариабельность показателей, особенно по удлинению (до 65 %), что ограничивает его использование при пластике с высоким натяжением тканей.

#### Литература.

1. Анализ использования современных хирургических технологий при устраниении грыж живота / Д. Б. Чистяков, К. Н. Мовчан, А. С. Ященко, П. С. Дуткинский // Альманах Института хирургии им. А.В.Вишневского. – 2017. – № S1. – С. 1348-1349.
2. Важные аспекты хирургической тактики при ущемленных паховых грыжах / Б. В. Сигуа, С. В. Петров, В. П. Земляной [и др.] // Альманах Института хирургии им. А.В.Вишневского. – 2017. – № S1. – С. 610-612.

3. Левин, Л. А. Дидактические аспекты эндохирургии: вчера, сегодня, завтра / Л. А. Левин, В. Г. Акимов // Альманах Института хирургии им. А.В.Вишневского. – 2017. – № S1. – С. 1076-1077.

4. Объедков, Е. Г. Исследование термостойкости костных имплантов из PLA-пластика / Е. Г. Объедков, В. П. Бородулин, Р. П. Бородулин // Эксперимент в хирургии и онкологии : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Курск, 13 сентября 2024 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 33-35.

5. Объедков, Е. Г. Модель экспериментальной интраабдоминальной пластики брюшной стенки у крысы / Е. Г. Объедков, В. П. Бородулин, Р. П. Бородулин // Вопросы диагностики и лечения больных с грыжами вентральной стенки : Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора С.В. Иванова, Курск, 29 ноября 2024 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 26-29.

6. Объедкова, Н. Ю. Эволюция техники герниопластики / Н. Ю. Объедкова, Р. П. Бородулин, В. П. Бородулин // Вопросы диагностики и лечения больных с грыжами вентральной стенки : Сборник научных трудов по материалам II Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора С.В. Иванова, Курск, 29 ноября 2024 года. – Курск: Курский государственный медицинский университет, 2024. – С. 22-25.

7. Эндоваскулярные и эндоскопические вмешательства в лечении кровоточащей гастродуodenальной язвы / К. Г. Кубачев, Э. Ю. Качесов, О. А. Петропавловская, Д. А. Творогов // Альманах Института хирургии им. А.В.Вишневского. – 2017. – № S1. – С. 623-624.