

УДК 007: 57 + 007:573

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ И КОРРЕКЦИЙ В ГЕРНИОЛОГИИ

П. И. Бегун,

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

С. М. Лазарев,

доктор мед. наук, профессор

Санкт-Петербургская государственная медицинская академия им. И. И. Мечникова

Е. А. Лебедева,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Построены расчетные схемы и компьютерные модели для вычисления напряжений и перемещений в герниосистемах. Проведены исследования зависимости напряжений и перемещений при развитии патологического образования в белой линии живота, при ущемлении грыжевых ворот и после проведения операции.

Theoretical schemes and computer-based models of calculation of the voltage and displacements in herniasystems are constructed. The dependence of voltage and displacement are studied during the development of pathological forming in the white line of a stomach and the infringement of the hernial gate.

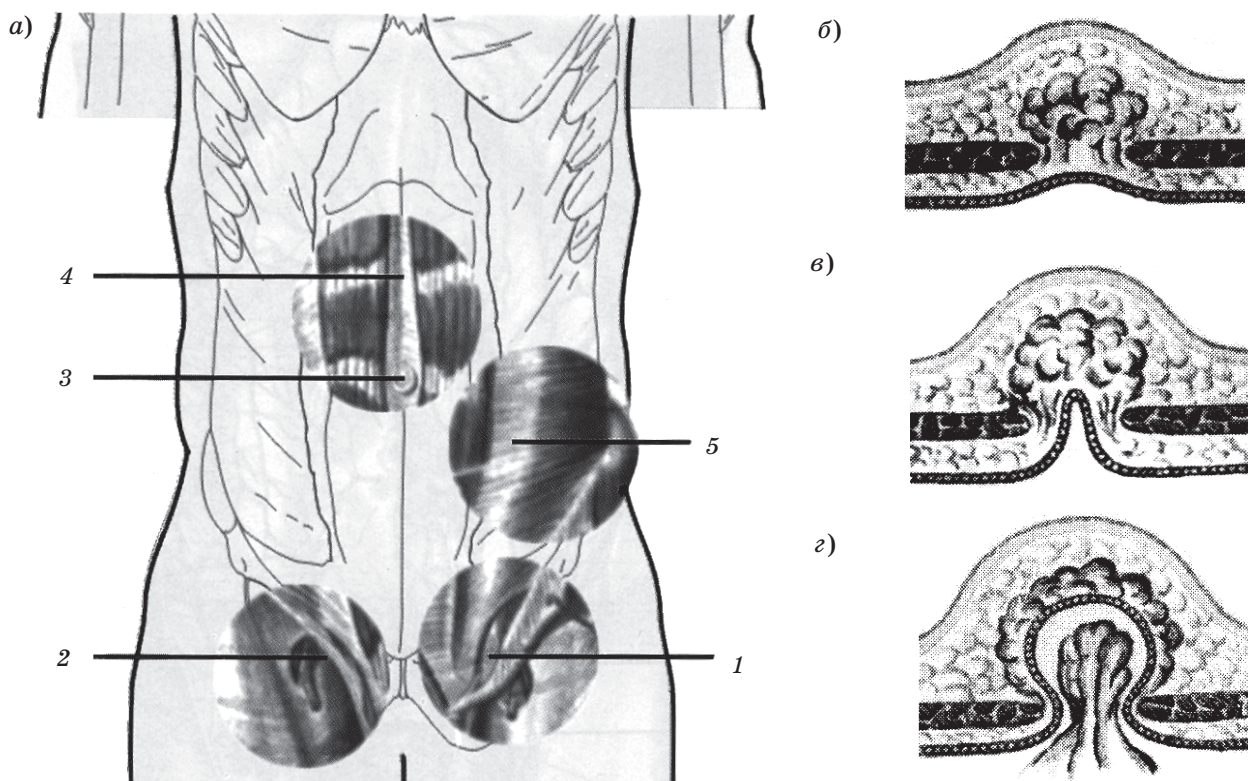
Герниология – раздел хирургии, изучающий этиологию, патогенез и локализацию грыж живота и разрабатывающий методы их лечения и профилактики. Грыжи живота – выхождение органов брюшной полости за ее пределы под кожу или в другие ткани и полости. Грыжи передней брюшной стенки – одно из самых распространенных заболеваний человека, они наблюдаются у 30% населения планеты. Основные признаки этой патологии: 1) грыжевые ворота – расширение естественных щелей в брюшной стенке или образование новых (искусственных); 2) грыжевый мешок – выпячивание пристеночной брюшины через грыжевые ворота с выхождением в грыжевой мешок части внутренностей живота.

Появление грыжи обуславливается причинами общего и местного характера (возраст, пол, особенности телосложения; повышение внутрибрюшного давления вследствие запоров, кашля; ослабление брюшной стенки в результате ее растяжения и истончения при повторных беременностях, травмах; снижение мышечного тонуса при параличах, в старческом возрасте и т. д.). По месту выхода (рис. 1, а) грыжи разделяют на паховые, пупочные, грыжи белой линии и сухожильных перемычек прямых мышц живота, по-

ясничные, запираательные, седалищные, промежуточные.

Со временем грыжа становится больше в размерах, увеличивая риск опасных для жизни осложнений – ущемления в грыжевых воротах внутренних органов. Грыжи живота требуют обязательного хирургического лечения и являются самыми распространенными случаями, требующими хирургического вмешательства (10–21% всех оперативных вмешательств). Для хирургического лечения различных грыж живота в настоящее время уже предложено свыше 300 оперативных способов и модификаций [1]. С целью устранения грыжевого дефекта разработаны многочисленные методики – от простых аутопластических способов за счет собственных тканей больного до сложных реконструктивных операций с использованием биологических и искусственных материалов. Однако, как показывает клинический опыт, ни один из предложенных способов не дает гарантии от рецидивов грыж [2, 3].

Проблема заключается в выборе обоснованных методов лечения при различных видах грыж, с одной стороны, доступных для населения, с другой стороны, порождающих минималь-



■ **Рис. 1.** Схемы локализации, образования и развития грыж: а – места выхода грыж (1 – паховые, 2 – бедренные; 3 – пупочные; 4 – белой линии; 5 – спигелиевой линии); б – в – образование грыжи белой линии живота (б – предбрюшинная липома; в – образование грыжевого мешка; г – сформировавшаяся грыжа)

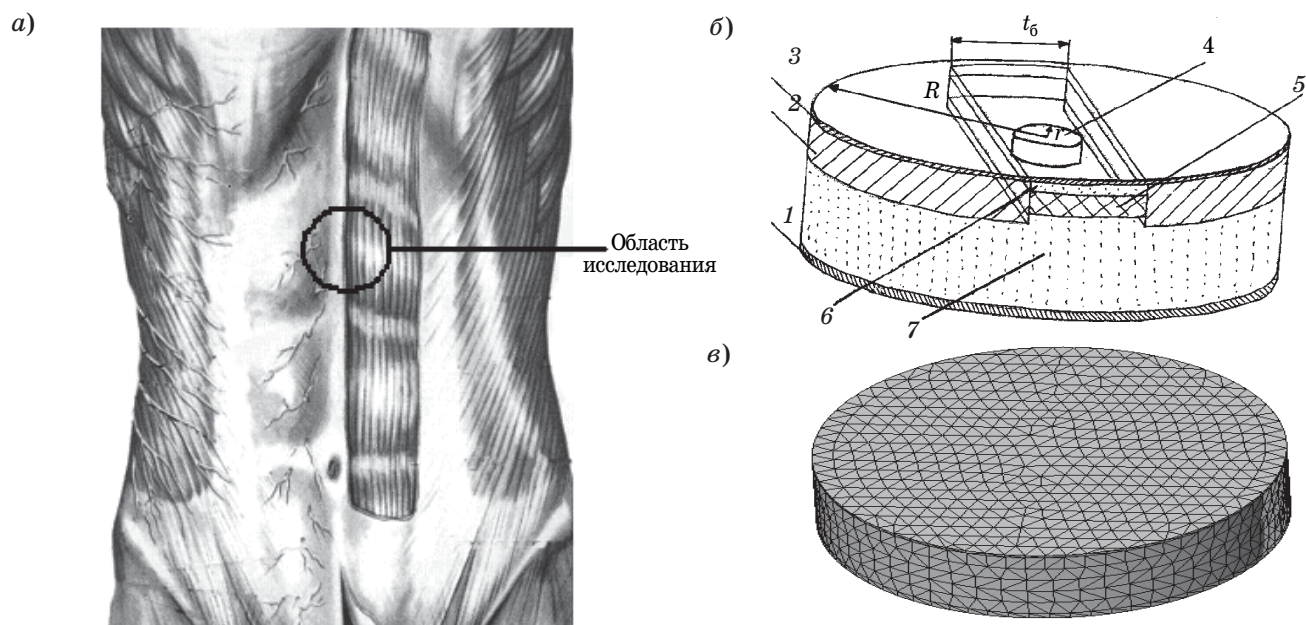
ную частоту рецидивов. Создание новых надежных оперативных методик, выбор технологии хирургического вмешательства в каждом конкретном случае невозможно осуществить без применения методов предоперационной диагностики результатов операций.

Решение проблемы – предоперационный анализ напряженно-деформированного состояния структур тканей в герниосистемах и структур, задействованных в герниопластике при различных способах и методах операций. Для проведения анализа необходимо построить расчетные схемы для биологических структур, сопрягаемых при операциях, и применяемого шовного материала, построить математические и компьютерные модели, учитывающие реальную геометрию и механические характеристики структур, и провести вычисления.

На примерах патологий белой линии живота проиллюстрируем возможности компьютерного моделирования при: 1) анализе условий развития грыжи; 2) определении критического состояния при развитии грыжи; 3) сравнительном предоперационном анализе результатов герниопластик, выполненных по разным технологиям.

Белая линия представляет собой фиброзную пластинку, простирающуюся по передней срединной линии от мечевидного отростка до лобкового симфиза. Белая линия отличается большой прочностью. Она содержит лишь тонкие ветви кровеносных сосудов, поэтому при проведении разрезов вдоль белой линии во время операции почти не отмечается кровотечения. Этим пользуются хирурги, когда необходимо создать широкий доступ к органам брюшной полости и таза.

Первопричиной образования срединных грыж является расширение белой линии живота. При этом в белой линии может возникать «анатомическое неустройство» в виде щелей, образующихся перекрещивающимися волокнами апоневрозов. Эти щели обычно заполнены жировой тканью. Вначале грыжи не имеют грыжевого мешка и представляют собой выпячивания предбрюшинного жира, которые называют предбрюшинными липомами (рис. 1, б). Такие грыжи называют скрытыми. В дальнейшем в грыжевые ворота вместе с жировой тканью втягивается в виде конуса прилежащий отдел париетальной брюшины (рис. 1, в). Если грыжа продолжает увеличиваться, то образуется уже настоящий гры-



■ **Рис. 2.** Моделирование и исследование развития патологического образования в белой линии живота: а – строение передней брюшной стенки (ОИ – область исследования); б – расчетная схема (1 – кожа; 2 – мышцы; 3 – брюшина; 4 – патологическое отверстие; 5 – белая линия живота; 6 – предбрюшинно-жировая клетчатка; 7 – подкожно-жировая клетчатка; R – радиус рассматриваемой области; t_6 – ширина белой линии); в – конечно-элементная модель

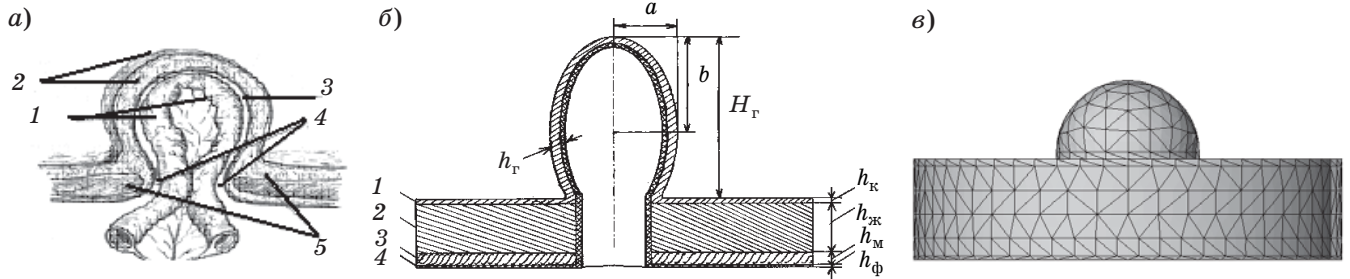
жевой мешок (рис. 1, з) [4]. Диагностика при скрытых грыжах белой линии живота затруднительна, так как грыжевое выпячивание не определяется, и правильный диагноз может быть установлен лишь во время оперативного вмешательства [2].

Расчетные схемы для исследования напряженно-деформированного состояния в патологически измененном участке белой линии живота построены при следующих допущениях: 1) материалы мышечно-апоневротических структур и имплантатов – однородны и изотропны; 2) среда сплошная; 3) начальные напряжения в структурах и имплантатах отсутствуют; 4) белая линия жестко закреплена по торцам; 5) усилия прикладываются к мышцам; 6) размеры исследуемой области выбраны такими, что условия закрепления не оказывают влияние на напряженно-деформированное состояние структур в области патологии. Математическая модель строится в рамках механики трехмерного тела при использовании численного метода – метода конечных элементов (КЭ). Для анализа используются линейные тетраэдральные элементы. Компьютерные модели биологических структур в герниосистемах и при герниопластике реализованы в среде геометрической программы SolidWorks и программы Cosmos для расчета напряжений в телах сложной формы. При расчете биологической структуры как трехмерного тела рассматривается неоднородное напряженное состояние. При оценке предельных состояний ис-

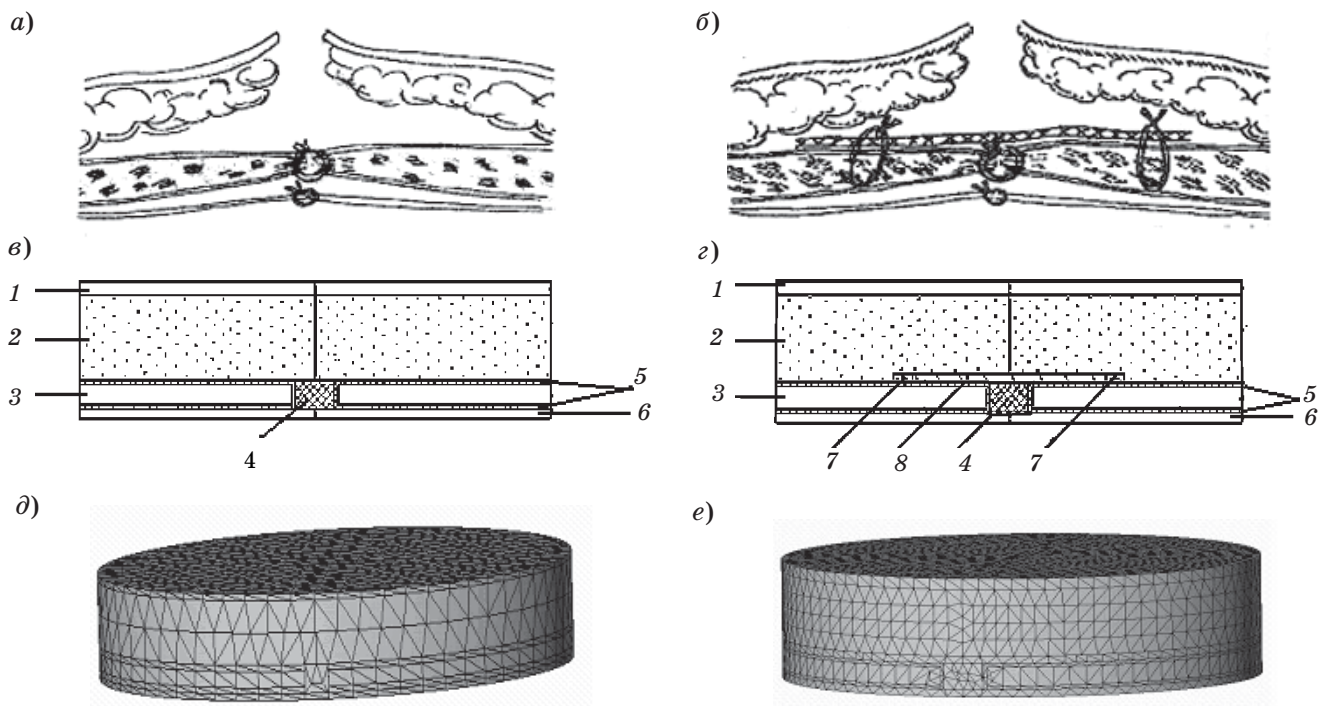
пользуем гипотезу энергоформообразования (критерий Мизеса).

Расчетная схема для исследования развития грыжи белой линии живота (рис. 2, а) приведена на рис. 2, б. Приняты следующие обозначения: r – радиус патологического образования; h_k – толщина кожи; $h_{жк}$ – толщина подкожно-жировой клетчатки; h_m – толщина мышц; h_6 – толщина белой линии; h_ϕ – толщина фасции. Число конечных элементов (рис. 2, в) оказывает влияние на результаты вычислений до значения 35 тыс. элементов, далее влияние на точность не значительно, а время расчета существенно увеличивается. Поэтому для достижения максимальной точности при минимальных затратах времени на расчеты было выбрано разбиение на 35 тыс. тетраэдральных элементов.

По результатам вычислений построены зависимости экстремальных значений напряжений по Мизесу и перемещений в окрестности патологического образования ($R = 60$ мм; $h_k = 3$ мм; $h_{жк} = 15$ мм; $h_m = 5$ мм; $h_\phi = 1$ мм; $d_\pi = 10$ мм; $t_6 = 20$ мм; $h_6 = 5$ мм; $E_6 = 0,8$ МПа; $E_k = 25$ МПа; $E_{жк} = 10^3$ Па; $E_m = 0,5$ МПа; $E_\phi = 3$ МПа; коэффициенты Пуассона материала биологических структур $\nu_6 = 0,4$) при изменении величин модуля нормальной упругости белой линии и растягивающих мышечных усилий на развитие грыжи. Из полученных зависимостей видно, что при увеличении модуля нормальной упругости белой линии в 2 раза значения напряжений и перемещений увеличиваются в 1,5



■ **Рис. 3.** Исследование состояния грыжи белой линии живота: а – схема грыжи живота; (1 – грыжевое содержимое; 2 – наружные грыжевые оболочки: кожа, подкожно-жировая клетчатка, фасция; 3 – грыжевый мешок; 4 – грыжевые ворота; 5 – мышцы); б – расчетная схема; в – конечно-элементная модель



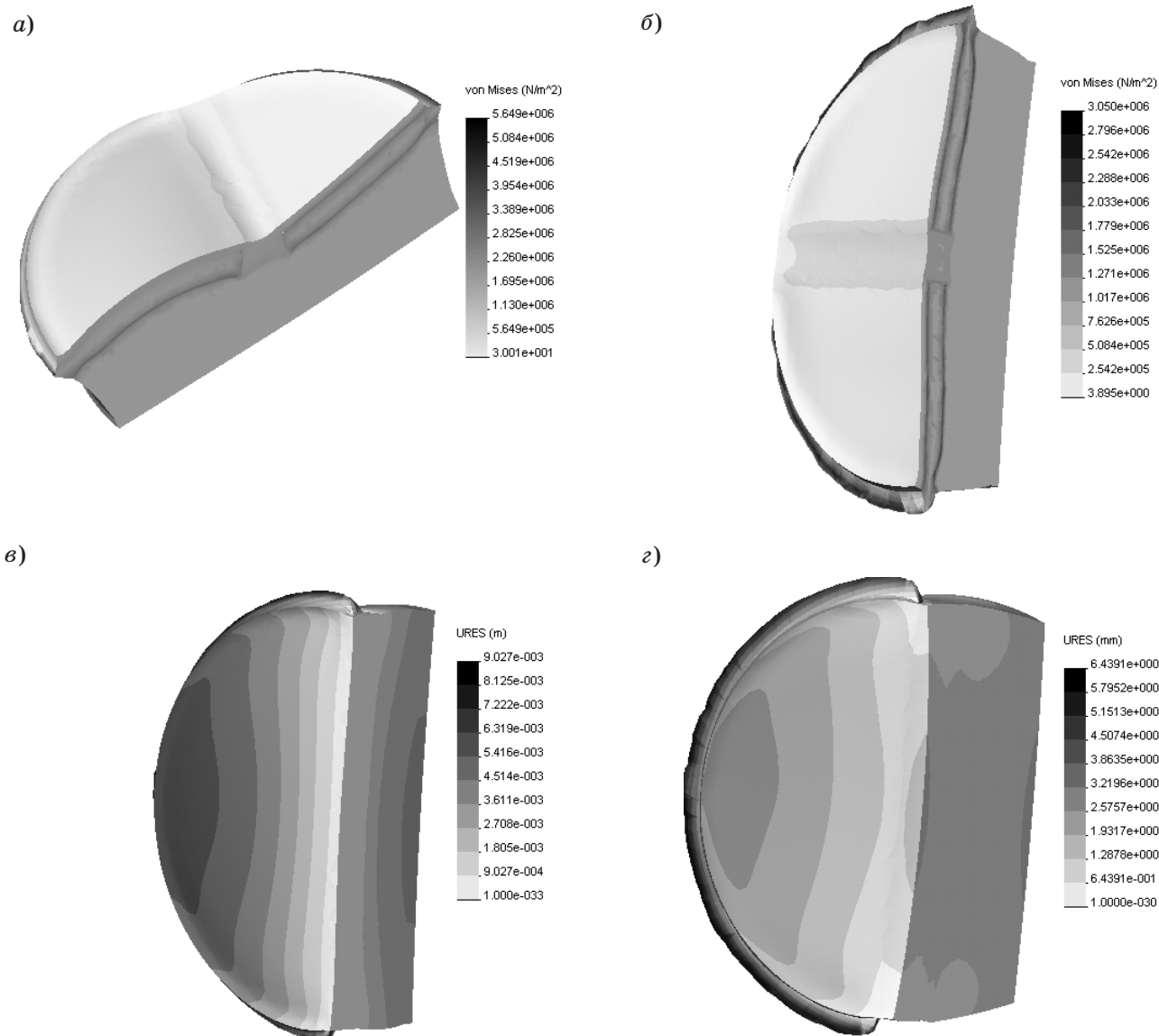
■ **Рис. 4.** Герниопластика с натяжением: а – местными тканями; б – местными тканями с применением сетчатого имплантата; в, г – расчетные схемы (1 – кожа; 2 – подкожно-жировая клетчатка; 3 – мышцы; 4 – шов белой линии; 5 – апоневротические футляры мышц; 6 – брюшина; 7 – швы сетчатого имплантата; 8 – сетчатый имплантат); д, е – конечноэлементные модели

раза. Подобные вычисления, учитывающие индивидуальные особенности пациента (геометрические параметры и механические свойства биологических структур) позволяют прогнозировать характер развития конкретного патологического образования.

Число пациентов с ущемленными грыжами достигает 15–18% от общего количества грыжесителей. Послеоперационная летальность при этом неотложном состоянии составляет 3–8%, а для больных старше 60 лет она возрастает до 16–20% [1, 2]. В дополнение к схематизации, принятой для расчетной схемы, отражающей раскрытие

грыжи (см. рис. 2, б), для исследования критического состояния при ущемлении грыжи (рис. 3, а) введены следующие допущения: 1) купол грыжи – эллипсоид с полуосями a и b ; 2) толщина стенки грыжевого мешка h_r , высота H_r (рис. 3, б). Разбиение проводилось на 50 тыс. конечных элементов.

Построены зависимости экстремальных значений напряжений по Мизесу и перемещений в окрестности ущемляемой грыжи при $a = 20$ мм; $b = 40$ мм; $h_r = 5$ мм; $H_r = 80$ мм. Из полученных результатов видно, что при увеличении модуля нормальной упругости белой линии в 2 раза значения напряжений и перемещений уменьшаются на 10%.



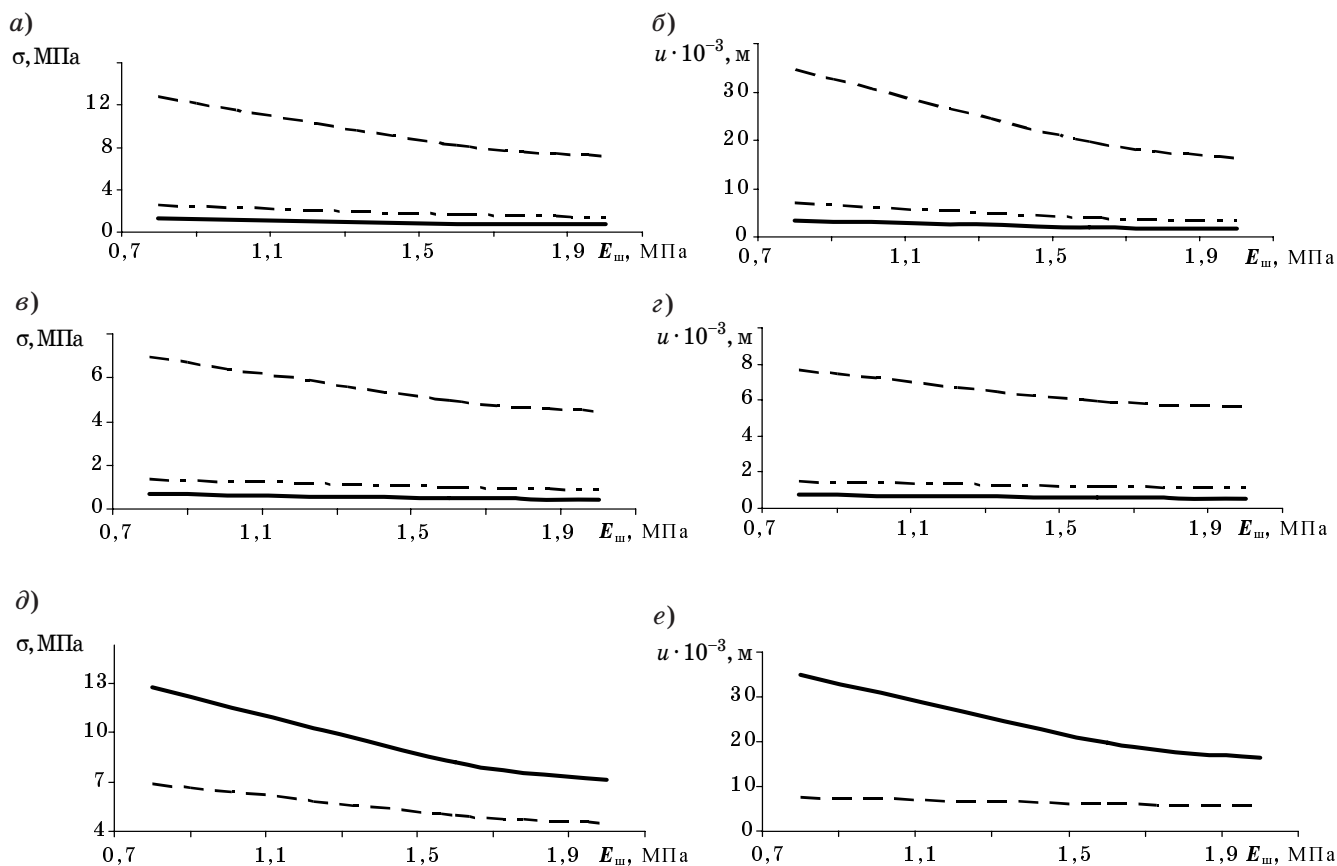
■ Рис. 5. Эпюры напряжений (а, б) и перемещений (в, г) в биологических структурах при герниопластике с натяжением тканей (а, в) и при герниопластике с натяжением тканей при дополнительном усилении синтетическим протезом (б, г)

Все методы хирургического лечения грыж могут быть разделены на два типа. При операциях первого типа соединение тканей происходит с их натяжением – стягиванием краев отверстия; при втором типе операций натяжение тканей отсутствует – отверстие закрывают имплантатом сверху или снизу. Разработано несколько методов герниопластики с натяжением тканей и множество модификаций этих методов. Пластика сопровождается довольно значительным натяжением сшитых тканей. В дальнейшем это может привести к растяжению рубцовой ткани и образованию рецидива грыжи.

Приведены схемы герниопластик с натяжением (рис. 4, а–е) и эпюры напряжений и перемеще-

ний биологических структур для этих методов (рис. 5, а–г).

В дополнение к ранее рассмотренным расчетным схемам (см. рис. 2, 3) введены следующие допущения: 1) материалы шва и сетчатого синтетического имплантата – изотропные и однородные с конструктивными модулями нормальной упругости соответственно $E_{\text{ш}} = 1,6$ МПа; $E_{\text{и}} = 1$ МПа; 2) коэффициенты Пуассона материала шва и синтетического имплантата соответственно $\nu_{\text{ш}} = 0,4$; $\nu_{\text{и}} = 0,35$; 3) толщина и ширина прямоугольной сетки соответственно $h_c = 2$ мм; $b_c = 10$ мм; ширина шва $b_{\text{ш}} = 10$ мм; 4) усилие натяжения трансплантата $p_{\text{ат}} = 5 \cdot 10^5$ Па.



■ Рис. 6. Зависимости экстремальных значений напряжений σ (а, в, д) и перемещений u (б, г, е) в коррегируемых биологических структурах белой линии живота от модуля нормальной упругости шва $E_{ш}$ для двух методов пластики при заданных мышечных усилиях (а-г — при $p = 5 \cdot 10^4$ Па; — — — при $p = 5 \cdot 10^5$ Па; - - - при $p = 10^5$ Па) и сравнение этих методов пластики при $p = 5 \cdot 10^5$ Па (д, е — — — — встык; - - - — onlay)

Зависимости экстремальных значений напряжений и перемещений в коррегируемых биологических структурах белой линии живота от модуля нормальной упругости шва, построенные для двух методов пластики (рис. 6), наглядно иллюстрируют значительное снижение напряженно-деформированного состояния в области шва при пластике с использованием сетчатого синтетического имплантата.

Следовательно, проведение герниопластики с применением сетчатых синтетических имплантатов снижает не только травматичность операции, но и вероятность возникновения рецидива, тем самым повышая ее надежность.

Литература

1. Тоскин К. Д., Жебровский В. В. Грыжи брюшной стенки. М.: Медицина, 1990. 245 с.
2. Натяжная герниопластика / Под ред. В. Н. Егиева. М.: Медпрактика-М, 2002. 146 с.
3. Основные грыжесечения / В. И. Ороховский, И. Гастингер, И. Хорнтрих, Ш. Шваниц. Ганновер; Донецк; Коттбус: МУНЦЭХ, КИТИС, 2000. 328 с.
4. Послеоперационные вентральные грыжи / А. И. Мариев, Н. Д. Ушаков, В. А. Шорников, А. М. Иванова / ПетрГУ. Петрозаводск, 2003. 282 с.