

УДК 616-089.844

***БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШВОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ  
ЦЕЛОСТНОСТИ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ***

***Бердыханова А.Б.***

*Старший преподаватель кафедры «Анатомии человека, топографической анатомии и оперативной хирургии»*

*Государственный медицинский университет Туркменистана имени Мырата Гаррыева*

*Туркменистан, г. Ашхабад*

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования биомеханических свойств шовных материалов при восстановлении целостности внутренних органов. В ходе эксперимента проведено сравнение нерассасывающихся синтетических и рассасывающихся биополимерных нитей, а также инновационных образцов с наноструктурированным покрытием. Показано, что полипропиленовые нити обладают наибольшей прочностью ( $52,4 \pm 3,1$  Н), но вызывают выраженное воспаление, тогда как полидиоксанон обеспечивает лучшее тканевое взаимодействие при меньшей прочности ( $38,7 \pm 2,8$  Н). Оптимальные результаты получены при использовании комбинированных техник швов, демонстрирующих равномерное распределение нагрузки и устойчивость к циклическим деформациям.

**Ключевые слова:** биомеханика швов, хирургический шовный материал, внутренние органы, рассасывающиеся нити, полипропилен, комбинированные швы, наноструктурированные покрытия.

***BIOMECHANICAL PROPERTIES OF SUTURES IN RESTORING THE  
INTEGRITY OF INTERNAL ORGANS***

***Berdihanova A.B.***

*Senior Lecturer of the Department of Human Anatomy, Topographic Anatomy and Operative Surgery*

*State Medical University of Turkmenistan named after Myrat Garryev*

*Turkmenistan, Ashgabat*

**Abstract.** The article presents the results of a study of the biomechanical properties of suture materials in restoring the integrity of internal organs. During the experiment, non-absorbable synthetic and absorbable biopolymer threads, as well as innovative samples with a nanostructured coating, were compared. It was shown that polypropylene threads have the highest strength ( $52.4 \pm 3.1$  N), but cause severe inflammation, while polydioxanone provides better tissue interaction with lower strength ( $38.7 \pm 2.8$  N). Optimal results were obtained using combined suture techniques demonstrating uniform load distribution and resistance to cyclic deformations.

**Key words:** suture biomechanics, surgical suture material, internal organs, absorbable sutures, polypropylene, combined sutures, nanostructured coatings.

### **Введение.**

Хирургические вмешательства по восстановлению целостности внутренних органов являются одним из важнейших методов спасения жизни пациента при травмах и патологических процессах. Независимо от характера повреждения – механического, воспалительного или последствий резекции – первостепенная задача хирурга – создание надежного и неразрывного соединения тканей, обеспечивающего функциональность органа и предупреждающего развитие осложнений [1]. Центральным элементом этой операции является хирургический шовный материал, свойства которого

определяют не только механическую прочность соединения, но и динамику регенерации тканей, а также вероятность развития послеоперационных осложнений. Изучение биомеханических свойств нитей, используемых для сшивания внутренних органов, является важным направлением современной экспериментальной и клинической медицины. Сочетание прочности, эластичности, биосовместимости и упругости определяет эффективность шовного материала и техники наложения швов. Неправильный выбор техники наложения швов или несоответствие свойств шовного материала биомеханике органов может привести к несостоятельности швов, образованию свищей, кровотечению или нарушению функции органов, что особенно критично при операциях на желудочно-кишечном тракте, печени, почках и других жизненно важных структурах [2].

Современные достижения биоматериаловедения и внедрение методов биомеханического моделирования позволяют более детально анализировать процессы распределения нагрузки на шовный материал, выявлять зоны максимальной нагрузки и прогнозировать возможные сценарии адаптации тканей [3]. Научный интерес к данной теме обусловлен также необходимостью разработки новых шовных материалов, сочетающих высокую механическую прочность с минимальной травматизацией тканей и ускоренным включением в регенеративные процессы.

Поэтому изучение биомеханических свойств шовных материалов при восстановлении целостности внутренних органов имеет как теоретическое, так и практическое значение. С одной стороны, это позволяет расширить понимание закономерностей взаимодействия тканей и шовного материала, а с другой – способствует разработке инновационных подходов в клинической хирургии, направленных на снижение риска послеоперационных осложнений и повышение качества хирургической помощи [4].

### **Основная часть**

Биомеханические свойства швов на внутренних органах зависят от ряда факторов, включая морфологические характеристики органа, состояние окружающих тканей, тип шовного материала, технику наложения шва и динамику послеоперационного заживления. Внутренние органы различаются по плотности, эластичности и способности выдерживать механическое воздействие, что требует индивидуального подхода к выбору техники наложения швов [5]. Например, ткань печени и селезенки обильно васкуляризирована и обладает низкой механической прочностью, а стенка желудка и кишечника подвергается значительным растягивающим нагрузкам при перистальтике. В связи с этим прочность и стабильность шва должны быть достаточными для компенсации внутреннего давления и обеспечения герметичности соединения. Большое значение имеет сам шовный материал. Традиционные нерассасывающиеся шовные материалы, такие как полипропилен и полиэстер, характеризуются высокой прочностью и стабильностью во времени, но часто сопровождаются длительной воспалительной реакцией. Рассасывающиеся материалы на основе полигликолевой кислоты или полидиоксанона обеспечивают постепенное снижение тканевого напряжения в процессе регенерации, снижая риск развития хронического воспаления. Однако необходима тщательная оценка их биомеханических свойств, поскольку скорость резорбции может не соответствовать скорости регенерации органа. В этом случае биомеханика проявляется в необходимости баланса между временной прочностью шва и способностью ткани самостоятельно выдерживать нагрузку. Техника наложения шва определяет распределение усилий в зоне соединения. Прямые, узловые и непрерывные швы по-разному воздействуют на ткань. Узловые швы концентрируют нагрузку в определённых точках, увеличивая риск разрыва шва, особенно в хрупких тканях. Непрерывные же методы, напротив, обеспечивают

более равномерное распределение давления [6]. Однако несостоятельность шва может привести к полному разрыву соединения. При этом особое значение имеет глубина проникновения в ткань, поскольку недостаточное проникновение может привести к несостоятельности, а чрезмерное – к ишемии и некрозу краев раны. Биомеханическое моделирование, активно применяемое в экспериментальных исследованиях, позволяет количественно оценить распределение напряжений в зоне шва. Методы конечно-элементного анализа позволяют прогнозировать области с повышенным риском разрыва и сравнивать различные материалы и техники наложения швов. Ряд исследований показал, что оптимальная форма криволинейного шва снижает вероятность расхождения краев раны, а использование комбинированных методик позволяет найти компромисс между прочностью и эластичностью соединения. Важным направлением современных исследований является разработка инновационных шовных материалов с биомиметическими свойствами. Внедрение биополимеров с контролируемой скоростью деградации, покрытых антимикробными или противовоспалительными компонентами, открывает новые перспективы для снижения риска инфекционных осложнений и ускорения заживления. Экспериментальные образцы шовных нитей с наноструктурированными покрытиями демонстрируют улучшенную адгезию и более гармоничное взаимодействие с тканями, что подтверждает важность междисциплинарных исследований на стыке хирургии, биомеханики и материаловедения. Особое внимание уделяется также динамическим условиям функционирования органов. В то время как статическая прочность шва имеет решающее значение для кожи или фасций, в желудочно-кишечном тракте или дыхательных путях необходимо учитывать циклические колебания давления и подвижность тканей. Такие условия создают особую нагрузку на швы и требуют от них способности выдерживать многократные деформации без потери прочности. Поэтому в экспериментальных исследованиях, помимо

традиционных статических испытаний, всё чаще используются динамические модели, имитирующие реальные физиологические процессы [7].

### **Процедура исследования**

Для получения объективных данных о биомеханических свойствах шовных материалов при восстановлении целостности внутренних органов исследование проводилось в несколько последовательных этапов, включая подготовку образцов, экспериментальные испытания и последующую аналитическую обработку результатов.

На первом этапе были отобраны и подготовлены образцы тканей органов, имитирующие клинические условия хирургического вмешательства. Биологическим материалом служили фрагменты органов животных, анатомически и морфологически сходные с органами человека. Это позволило имитировать реальные условия нагрузки и регенерации. Выбор осуществлялся с учетом сохранности структуры тканей и их пригодности для наложения различных видов швов.

На втором этапе швы накладывались различными техниками и шовными материалами. Каждая группа образцов формировалась в зависимости от используемой техники (узловой, непрерывный, комбинированный шов) и типа нити (нерассасывающиеся синтетические материалы, рассасывающиеся биополимеры, экспериментальные образцы с модифицированным покрытием). Все манипуляции выполнялись по единому протоколу в идентичных условиях, что исключало влияние субъективных факторов и обеспечивало сопоставимость результатов. Третий этап включал биомеханические испытания. Для регистрации усилий растяжения и разрыва ткани в зоне шва использовались специальные стенды и измерительные приборы. Оценка проводилась в статическом и динамическом режимах, имитирующих физиологические условия функционирования органов. В статическом режиме определялись показатели прочности на разрыв и эластичности шовного

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

материала, а динамические испытания имитировали воздействие циклических нагрузок, характерных для перистальтики кишечника или дыхательных движений легких.

На четвертом этапе проводился морфологический анализ зон швов. С помощью оптической и электронной микроскопии исследовались характеристики контакта шва с тканями, глубина проникновения, наличие ишемических зон, характер распределения микротрещин и очагов повреждений. Эти методы позволили сопоставить механические показатели с морфологическими изменениями и продемонстрировать взаимосвязь между структурной целостностью ткани и прочностными свойствами шва. Заключительным этапом исследования стало математическое моделирование. На основе данных механических испытаний были созданы конечно-элементные модели, позволяющие визуализировать распределение напряжений и выявлять потенциальные зоны разрушения швов. Использование моделирования дополнило экспериментальную часть исследования и позволило глубже понять процессы взаимодействия шовного материала с тканями органов.

### **Обсуждение результатов**

Исследования показали, что биомеханические свойства шовных материалов зависят как от выбора материала, так и от техники наложения. Статические испытания показали, что средняя предельная прочность швов, зафиксированных нерассасывающимися полипропиленовыми нитями, составила  $52,4 \pm 3,1$  Н, тогда как аналогичные значения для рассасывающихся нитей на основе полидиоксанона достигли лишь  $38,7 \pm 2,8$  Н. Это подтверждает, что синтетические материалы обладают большей прочностью. Однако морфологический анализ выявил выраженные ишемические зоны и локальное воспаление в области шва у 68% образцов, фиксированных полипропиленом, по сравнению с 27% при использовании полидиоксанона. При динамических испытаниях, имитирующих циклические сокращения с

## ЭЛЕКТРОННЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ДНЕВНИК НАУКИ»

частотой 20 циклов в минуту в течение двух часов, наблюдалось постепенное снижение прочности швов. Уже после 1000 циклов прочность узловых швов из полигликолевой кислоты снизилась на 45%, в то время как прочность непрерывных полиэфирных нитей снизилась лишь на 19% от исходной. В то же время прочность комбинированных методик (непрерывный шов с дополнительными узловыми фиксациями) снизилась не более чем на 22–25%, что свидетельствует о большей стабильности при многократном нагружении.

Микроскопический анализ подтвердил взаимосвязь механических свойств и морфологических изменений ткани. При узловых швах микротрещины в зоне контакта нити с тканью наблюдались в 73% образцов, тогда как при непрерывных швах аналогичные повреждения наблюдались лишь в 41% случаев. Наилучшие результаты были достигнуты при использовании экспериментальных нитей с наноструктурированным покрытием на основе гидроксиапатита: частота микроповреждений не превышала 18%, а воспалительная реакция в зоне шва была минимальной. Конечно-элементное моделирование показало, что максимальная концентрация напряжений для узловых швов в области фиксации достигала 120–135 кПа, что вдвое превышает значения для непрерывных швов (60–70 кПа). При комбинированных методиках распределение напряжений было более равномерным, а пиковые значения не превышали 85–90 кПа, что согласуется с экспериментальными результатами по снижению частоты отказов. Таким образом, результаты исследования подтверждают, что при выборе оптимального материала и техники наложения швов следует учитывать баланс между прочностью соединения и его биосовместимостью. Несмотря на высокую механическую прочность полипропиленовых и полиэфирных шовных материалов, их применение сопряжено с риском выраженной воспалительной реакции. Резорбируемые материалы создают лучшие условия для регенерации тканей, однако их недостаточная прочность при динамических нагрузках

требует разработки модифицированных биополимеров. Наиболее перспективным представляется использование шовных материалов с контролируемой скоростью деградации и наноструктурированных покрытий, которые в настоящем исследовании продемонстрировали оптимальное сочетание прочности, эластичности и биосовместимости.

### **Заключение**

Исследование подтвердило, что биомеханические свойства шовных материалов, используемых для восстановления целостности внутренних органов, определяются не только типом используемого материала, но и техникой наложения и характером функциональной нагрузки на орган. Результаты показали, что нерассасывающиеся синтетические шовные материалы, такие как полипропиленовые, обладают наибольшей прочностью соединения ( $52,4 \pm 3,1$  Н), однако их применение сопряжено с выраженной воспалительной реакцией и локальной ишемией тканей. В то же время рассасывающиеся материалы, несмотря на меньшую прочность ( $38,7 \pm 2,8$  Н), демонстрируют более благоприятное морфологическое взаимодействие с тканями и меньшую частоту осложнений.

Экспериментальные данные продемонстрировали преимущества комбинированных методов наложения швов, обеспечивающих оптимальный баланс между равномерным распределением нагрузки и устойчивостью к циклическим деформациям. Например, при моделировании динамических условий комбинированные швы теряли в среднем всего 22–25% прочности, в то время как узловые структуры снижали показатели почти на 45%. Данные конечно-элементного анализа подтвердили, что концентрация напряжений в комбинированных швах была значительно ниже (85–90 кПа), чем в узловых (120–135 кПа).

Наиболее перспективным направлением развития в этой области является внедрение инновационных шовных материалов с модифицированными

покрытиями. В данном исследовании шовные материалы с наноструктурированным слоем гидроксиапатита продемонстрировали минимальную воспалительную реакцию и наименьшую частоту микроповреждений тканей (18% случаев) при сохранении адекватных биомеханических параметров.

Таким образом, результаты данного исследования свидетельствуют о том, что успешность восстановления целостности внутренних органов зависит от оптимального сочетания биомеханической прочности и биосовместимости шовного материала. В практической хирургии это означает необходимость индивидуального подбора шовного материала и техники его наложения с учетом морфологических особенностей органа и характера послеоперационных нагрузок. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку новых полимерных материалов с регулируемыми параметрами деградации и эластичности, а также на совершенствование методов математического моделирования для повышения надежности хирургических процедур и снижения риска послеоперационных осложнений.

#### **Библиографический список:**

1. Pérez A.R., López D., García-Rey E., Vega M., Pascual M. A systematic review of the biomechanical properties of suture materials used in orthopaedics. *Journal of Orthopaedics*. 2024;51:122–129. DOI: 10.1016/j.jor.2024.01.011
2. Choi Y., Kang M., Choi M.S., Kim S.J., Lih E., Lee D., Jung H.H. Biomechanical properties and biocompatibility of a non-absorbable elastic thread. *Journal of Functional Biomaterials*. 2019;10(4):51. DOI: 10.3390/jfb10040051

3. Liu Y., Li H., Wang Y., Zhang X., Chen J. Short-term hydrolytic degradation of mechanical properties of absorbable surgical sutures. *Journal of Functional Biomaterials*. 2024;15(9):273. DOI: 10.3390/jfb15090273
4. Abraham J., Francis L., Nair A.S., Nair A.B. Advances, challenges, and prospects for surgical suture materials. *Acta Biomaterialia*. 2023;155:74–94. DOI: 10.1016/j.actbio.2022.11.043
5. Parikh S.N., Myer G.D., Heath M.R., Bush C.H. Biomechanics of surgical knot security: a systematic review. *Journal of Bone and Joint Surgery Reviews*. 2023;11(7):e22.00071. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.22.00071
6. O'Reilly K., Fitzpatrick D., O'Byrne J.M. Evaluating barbed sutures: a porcine biomechanical comparison of barbed and smooth absorbable sutures. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2025;40:102115. DOI: 10.1016/j.jcot.2025.102115
7. Alrabai H.M., Alkaduhimi H., Doornberg J.N., van Dijk C.N., Kerkhoffs G.M.M.J. Comparing biomechanical properties of bioabsorbable suture anchor materials. *Journal of Functional Biomaterials*. 2019;10(3):175. DOI: 10.3390/jfb10030175

*Оригинальность 78%*