

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
на диссертацию Антиповой Кристины Георгиевны  
на тему: «Полимерные и композиционные гидрогелевые материалы для  
биомедицины с регулируемыми механическими характеристиками»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.4.7. – Высокомолекулярные соединения

Композиты на основе синтетических и природных полимеров представляют собой весьма обширный класс материалов, которые находят применение во многих сферах человеческой деятельности. Особенно интересным представляется их использование в области медицины, фармацевтики и тканевой инженерии. Следует понимать, что к материалам, для которых подразумевается контакт с клетками и тканями живых организмов, предъявляют особенно жесткие требования. Необходимо, чтобы эти вещества не обладали токсичностью и не провоцировали иммунный отклик, не вызывали тромбозмболию или местное воспаление. При этом поверхность материала должна легко подвергаться биофункционализации, а физико-механические свойства клеточного каркаса, в идеале, должны полностью повторять характеристики нативной ткани.

Отдельно стоит подчеркнуть проблему корректной оценки механических свойств тканеинженерных конструкций на основе полимеров. К сожалению, большинство исследований, посвященных этой теме, не ставят своей задачей установление объективной истины, а лишь проводят сравнение единичных данных. Это сильно усложняет детальное изучение полимерных композитов для биомедицины и не позволяет экстраполировать выводы подобных научных изысканий на результаты, получаемые другими научными группами или на другом оборудовании. Особенно неоднозначны результаты, получаемые для гидрогелей и композитов на их основе, поскольку высокое содержание воды и связанная с этим «мягкость» материалов вносят дополнительные сложности при механических испытаниях.

Механические свойства являются едва ли не ключевым параметром

различных матриксов для создания искусственных тканей и культивирования клеток. Известно, что адгезия клеток на материал, их дальнейшая пролиферация и дифференцировка напрямую зависят от свойств поверхности и морфологии субстрата. Поэтому задача оценки и правильной интерпретации результатов механических испытаний весьма неоднозначна и требует не только разработки унифицированных условий для проведения экспериментов, но и разработки методики анализа и верификации полученных данных. Только так можно говорить о получении материалов, адаптированных для применения именно в области биомедицины.

В представленной диссертационной работе для решения вышеозначенных проблем впервые были разработаны методики проведения механических испытаний полимерных композиционных материалов с применением специальной оснастки, позволяющие получать достоверные результаты в серии независимых экспериментов. Кроме того, благодаря теоретико-математическому аппарату, примененному в работе, разработаны подходы, позволяющие не только оценивать, но и регулировать физико-механические свойства композиционных материалов в широком диапазоне, соответствующем спектру свойств биологических тканей. Также следует отметить, что в работе были получены ранее не исследованные волокнисто-губчатые материалы, биосовместимость которых была оценена по способности к сорбции микроводорослей, и полиакриламидные гидрогели, наполненные пористыми микрочастицами полилактида. Все это позволяет говорить о научной новизне и большой практической ценности разработанных в диссертации методик и полученных с их помощью результатов.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и выводов, списка сокращений, списка литературы (234 наименования), списка публикаций по теме диссертации и благодарностей. Она изложена на 157 страницах, содержит 31 рисунок и 16 таблиц.

Во введении сформулированы актуальность темы, цели и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе диссертации представлен литературный обзор, посвященный сравнению свойств синтетических материалов различного состава и морфологии – гидрогелей, губчатых и волокнистых материалов, а также композитов на их основе. Рассмотрены подходы к изучению механических характеристик нативных тканей живых организмов.

Во второй главе подробно описаны разработанные методики получения новых композиционных материалов, а также методы исследования их структуры, физико-химических и механических характеристик. Изложена предлагаемая комплексная методика исследования механических свойств гидрогелей, включающая одноосное растяжение, сжатие, кручение и бесконтактный метода определения коэффициента Пуассона с верификацией полученных значений упругих параметров в экспериментах на индентирование и с использованием аппроксимации деформационных кривых моделями гиперупругости.

В третьей главе диссертации содержатся результаты проведенных исследований. На основе разработанной методики автор определяет упруго-прочностные характеристики гидрогелей на основе полиакриламида, которые соответствуют значениям, известным для мягких тканей. Здесь бы обосновывается пригодность предложенной методики для определения механических характеристик композиционных гидрогелей на основе полиакриламида, наполненных пористыми полилактидными частицами. В этой главе описана методика получения губчато-волокнистых композиционных материалов на основе полилактидных волокон и природных наполнителей – коллагена и хитозана, рассмотрены их механические свойства и морфология. Показано, что подобные композиты, изготовленные из волокон перхлорвинила, наполненных хитозаном, эффективно сорбировать микроводоросли.

Данная работа является полноценным, законченным научным исследованием, обладающим всеми признаками актуальности, новизны, практической и теоретической значимости. Все выводы достоверны и хорошо обоснованы.

В качестве замечаний можно выделить:

1. Механические свойства гидрогелей во многом определяются степенью его набухания. В работе не представлены результаты измерения равновесной степени набухания для исследуемых гидрогелей и композитов на их основе. Эти данные необходимо было бы указать.
2. Было бы логичным дополнением привести данные биосовместимости и биологических исследований губчато-волоконистых материалов.
3. К сожалению, в работе присутствуют некоторые опечатки и неточности. Так, в подписи к рисунку 8 отсутствует уточнение обозначений 1-3, на рисунке 21 отсутствует индикация графиков, аналогичная рисункам 16 и 20. Также, следовало бы внимательнее отнестись к верстке текста. Например, рисунок 12 располагается на странице 76, а подпись к нему на странице 77. В целом, можно отметить слишком маленький кегль шрифта на рисунках, затрудняющий восприятие.

Вместе с тем, указанные замечания не снижают значимости диссертационного исследования, не влияют на новизну, практическую и теоретическую значимость полученных результатов. Выводы, представленные в работе не вызывают сомнений. Автореферат и опубликованные статьи отражают основное содержание диссертационной работы.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.7. – Высокомолекулярные соединения (физико-математические науки), удовлетворяет критериям, определенным в пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям п 3.1 этого Положения.

Таким образом, соискатель Антипова Кристина Георгиевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.7. – Высокомолекулярные соединения.

Официальный оппонент:

Профессор, доктор химических наук,  
заведующий лабораторией физико-химии композиций синтетических и природных полимеров Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля Российской академии наук (ИБХФ РАН)

ПОПОВ Анатолий Анатольевич

<

∩

11.06.2024

Контактные данные:

Тел.:

E-mail: a

Шифр и наименование специальности, по которой официальным оппонентом была защищена диссертация: 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения

Адрес места работы: 119334, РФ, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

Ученый секретарь ИБХФ РАН к.б.н. С