



Научная статья

DOI: 10.15593/RZhBiomech/2023.4.17

УДК 531/534: [57+61]

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА «УГЛЕКОН-МЯ» ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

В.Д. Онискив¹, А.В. Сотин¹, В.Ю. Столбов¹, С.М. Никулин², Е.В. Южакова³

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

² Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов, Пермь, Россия

³ Пермский государственный медицинский университет им академика Е.А. Вагнера, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 11 октября 2023

Одобрена: 10 декабря 2023

Принята к публикации: 12 декабря 2023

Ключевые слова:

имплантат, высокопористый композиционный материал, радиационный метод стерилизации, микроорганизмы, микробиологический контроль стерилизации, механические испытания на сжатие

АННОТАЦИЯ

Исследуется процесс объемной стерилизации с помощью гамма-облучения композиционного ячеистого материала, активно используемого для замещения костных дефектов в медицине. Целью настоящего исследования является обоснование необходимых доз гамма-облучения при стерилизации высокопористого углеродного материала «Углекон-МЯ» без снижения его механических характеристик. Описывается методика объемной стерилизации исследуемого материала и проверки его на микробиологическую стерильность. Приводятся результаты механических испытаний образцов до и после гамма-облучения. Даются рекомендации по выбору доз ионизирующего излучения, обеспечивающие микробицидный эффект без снижения прочностных свойств при сжатии исследуемого материала.

© ПНИПУ

Введение

На сегодняшний день композиционные материалы широко используются в ортопедии, травматологии, челюстно-лицевой и офтальмо-хирургии [1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 17, 20, 21, 24]. Одним из углеродных композиционных материалов, используемых при замещении костных дефектов, является «Углекон-МЯ» [5, 8, 24]. Данный материал имеет неупорядоченную мелкоячеистую структуру

(рис.1), стенки ячеек которой состоят из композиции пироуглерода.

Высокопористый ячеистый углерод инертен для человеческого организма, что обеспечивает безопасность его применения с точки зрения возможных аутоиммунных и аллергических реакций [3, 5, 8, 24, 27]. Биосовместимость и высокая пористость «Углекон-МЯ» обеспечивают надежную интеграцию имплантата с окружающими тканями и формирование устойчивого костного блока [2, 16, 24].

© Онискив Владимир Дмитриевич – к.т.н., доцент кафедры, e-mail: oniskivf@gmail.com,

ID: 0000-0002-9455-0446

© Сотин Александр Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры, e-mail: sotin@mail.ru, ID: 0000-0003-3889-8023

© Столбов Валерий Юрьевич – д.т.н., заведующий кафедрой, профессор, e-mail: valeriy.stolbov@gmail.com,

ID: 0000-0003-3259-8660

© Никулин Сергей Михайлович – начальник НТО АО «УНИИКМ», e-mail: nikulin_sm@uniikm.ru,

ID: 0009-0007-9306-081X

© Южакова Екатерина Владимировна – к.м.н., доцент кафедры, e-mail: uzkaty@mail.ru,

ID: 0000-0001-5262-9378



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

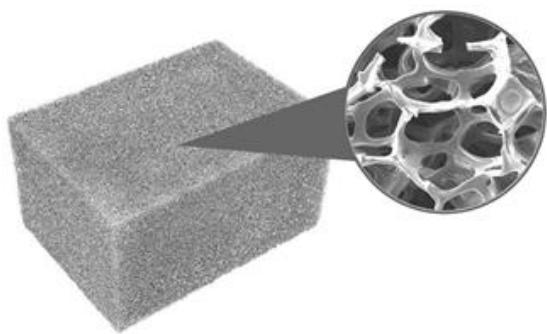


Рис. 1. Внутренняя структура материала «Углекон-МЯ»

Достигнутые клинические результаты говорят об эффективности использования материала «Углекон-МЯ» для замещения обширных диафизарных, метафизарных или метадиафизарных костных дефектов [3]. Однако при внедрении в лечебную практику новых композиционных материалов возникает проблема надежного обеззараживания имплантатов. К примеру, в челюстно-лицевой хирургии имплантаты из углерода стерилизуют сухим жаром при 180°C в течение одного часа [22]. Однако при использовании этой технологии высокая температура процесса вполне может привести к изменению структуры материала, снизить его механические характеристики. Некоторые эндопротезы, как и материалы, заполняющие объемные костные полости, в отличие от имплантатов челюстно-лицевой области, в процессе физиологической эксплуатации могут испытывать продолжительную значительную циклическую нагрузку. В связи с этим, использование для их стерилизации таких высоких температур не всегда целесообразно. Иные способы стерилизации, такие как автоклавирование, химическая стерилизация (использование растворов, газов и т. д.) не всегда благоприятны для окружающей среды и также могут ухудшить механические свойства углеродного материала. Немаловажно отметить и то обстоятельство, что «Углекон-МЯ» содержит поры, временно недоступные для внешней атмосферы, что зачастую делает химические методы малоэффективными.

Как правило, трансплантаты из углеродного материала являются одноразовыми и должны быть стерильны в целях снижения риска инфекционных осложнений. В последние годы объемное обеззараживание изделий медицинского назначения достигается с использованием технологии радиационной стерилизации [26, 29]. Стерилизующий эффект отмеченной технологии обусловлен проникающим гамма-излучением с использованием источников ^{60}Co (Кобальт 60). В настоящее время радиационная стерилизация является практически единственным способом объемной стерилизации для объектов,

содержащих закрытые (недоступные) полости, либо для изделий, чувствительных к высокой температуре.

Как известно, стерилизация должна обеспечивать полное уничтожение вегетативных и споровых форм микроорганизмов. При этом важно подобрать максимально эффективную дозу облучения, которая не оказывала бы существенного влияния на физико-механические характеристики имплантата, обеспечивая при этом объемную стерильность материала.

Отметим, что несмотря на очевидные достоинства исследуемого материала, низкая механическая прочность ограничивает его использование для замещения костных дефектов опорных сегментов, так как при эксплуатационных нагрузках возникает риск разрушения имплантата. Клиническое применение «Углекон-МЯ» для замещения дефектов нижней конечности требует решения ряда инженерно-медицинских задач. Учитывая тот факт, что сегменты нижней конечности подвержены значительным функциональным нагрузкам, важно уже на предоперационном этапе оценить биомеханические последствия использования данного материала для заполнения костного дефекта.

Перспективным путем решения данной задачи, на наш взгляд, является использование методов инженерно-компьютерного моделирования [4, 7, 14, 18, 19]. С помощью цифрового двойника интересующего нас костного фрагмента можно на этапе предоперационного планирования провести вычислительный эксперимент, рассчитать поля напряжений и деформаций, выявить наиболее нагруженные участки и оценить прочность конструкции кость-имплантат. Результаты компьютерного моделирования позволяют оперирующему специалисту дать количественную оценку рискованных клинических ситуаций, обосновать необходимость удаления патологического очага, а также принять решение о применении дополнительных фиксаторов при восстановлении костного дефекта с помощью «Углекон-МЯ».

Для корректного математического описания механического поведения системы кость-имплантат необходимо учитывать актуальные технические характеристики «Углекон-МЯ», а также их изменение под действием эндогенных и экзогенных факторов. Одним из внешних факторов, возможно, оказывающих деструктивное влияние на механические свойства имплантата, является лучевая нагрузка, которой подвергается имплантат при объемной стерилизации гамма-лучами и при проведении контрольных рентгенологических исследований на этапе послеоперационного сопровождения пациента.

Целью настоящего исследования является изучение влияния различных доз гамма-излучения при радиационной обработке на микробиологическую стерильность и

механические свойства высокопористого углерод-углеродного композиционного материала «Углекон-МЯ».

Материалы и методы

Исследуется высокопористый материал «Углекон-МЯ», который по химическому составу является практически чистым углеродом. Его зольность минимальна и включает (мас. %): калий – 0,0031, водород – 0,0280, натрий – 0,7500, кальций – 0,0200, серу – 0,0060, железо – 0,0070. Для увеличения рентгеноконтрастности материала в него могут быть введены в количестве до 1 мас. % окислы титана или циркония. Особенностью «Углекона-МЯ» является способность углерода образовывать при имплантации прямой контакт с костной тканью (без соединительнотканной прослойки). Это обеспечивает его биофиксацию в случае неровной поверхности имплантата. В связи с устойчивостью материала к циклическим нагрузкам образующиеся трещины не распространяются на весь имплантат, как в металле или керамике, а обрываются, дойдя до ближайшего углеродного волокна [23]. Электропроводность «Углекона-МЯ» близка к электропроводности костной ткани. Величины предельной деформации имплантатов из него и костной ткани также близки. Это позволило предположить, что с точки зрения биомеханики система кость-имплантат будет работать как единое целое [23]. Плотность материала может изменяться в широких пределах от 0,1 до 1,0 г/см³ при различных размерах ячейки от 0,3 до 5,0 мм. Для проведения исследований сотрудниками УНИИКМ были изготовлены различные образцы из «Углекона-МЯ», которые подвергались бактериологическому заражению, радиационному воздействию при различных дозах облучения и механическим испытаниям на сжатие. Облучение осуществлялось на предприятии АО «Кобальт» с помощью источников ионизирующего излучения ⁶⁰Co. Готовые образцы углеродного композита облучали гамма-квантами в открытой атмосфере. Средняя энергия квантов этого излучения составляет 1,25 МэВ. Время радиационного воздействия, безусловно, зависело от дозы и мощности источников и составляло около 3 дней для максимальной дозы 10 Мрад. Реализация методики контроля стерильности проводилась в соответствии с международными стандартами на биологический контроль медицинских изделий.

С целью определения бактерицидной дозы гамма-излучения 12 образцов углеродного композиционного материала «Углекон-МЯ», каждый из которых представлял собой сдвоенные пластины размерами 70x40x10 мм (рис. 2), были контаминированы различными штаммами микроорганизмов.

Все образцы, в зависимости от контаминации и дозы облучения, были разделены на четыре партии. Первая

партия включала 2 образца: первый контаминирован штаммами спорообразующих бактерий (*Bacillus subtilis* ATCC** 6633), второй – грибами рода *Mucor*. Вторая, третья и четвертая партии включали по 3 образца, один из них контаминирован грамотрицательными (*Escherichiacoli* M-17 ГКПМ* № 240418) и грамположительными (*Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (FDA 209P); ГКПМ 201108) микроорганизмами; второй – штаммами спорообразующих бактерий (*Bacillus subtilis* ATCC** 6633) и третий – грибами рода *Mucor*. Здесь: *Государственная коллекция патогенных микроорганизмов, **American Type Culture Collection. Первая партия облучалась дозой 2,5 Мрад, вторая, третья и четвертая – дозами 5, 7,5 и 10 Мрад соответственно.

Контрольный образец был контаминирован всеми типами микроорганизмов и не подлежал облучению. Загрязнение образцов проводилось со стороны соприкасающихся поверхностей пластин.

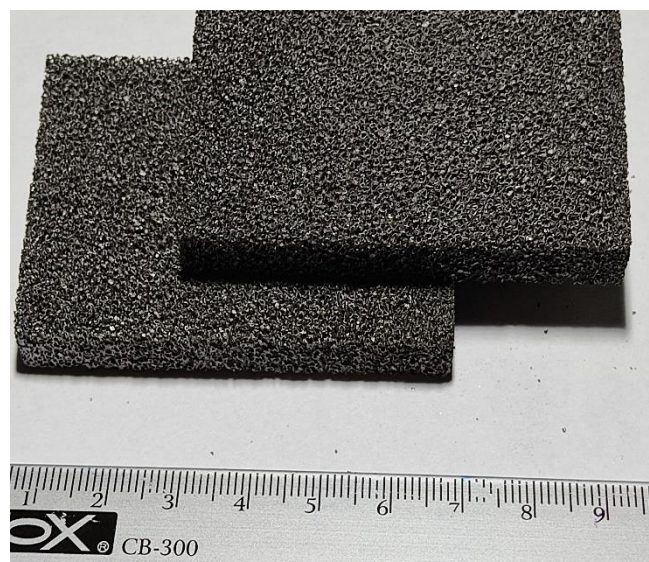


Рис. 2. Образец углеродно-композиционного материала «Углекон-МЯ»



Рис. 3. Упаковка одного из образцов «Углекон-МЯ»

Затем пластины фиксировались металлическими клипсами и помещались в стерильные пластиковые пакеты (рис. 3).

Облучение подготовленных образцов производилось на установке ГУД 300М. При этом использовались радиоактивные источники ГИК-7-4 с радионуклидом ^{60}Co .

После облучения образцов проводился контроль стерильности в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р ИСО 11737-1-2022 (Межгосударственный стандарт. Стерилизация медицинских изделий. Микробиологические методы). В ходе микробиологического эксперимента рост микроорганизмов был выявлен лишь в посевах из смыва, взятого из необлученного (контрольного) образца. Следовательно, несмотря на литературные данные о присущих углеродным материалам цитотоксичным свойствам [30], исследуемый углерод-углеродный композиционный материал является благоприятной средой для роста и размножения различных микроорганизмов. Во всех облученных образцах, рост микроорганизмов оценивался ежедневно в течение семидневного периода и не был зафиксирован как на жидких, так и на питательных средах за весь период наблюдения даже при выбранной нами минимальной дозе гамма-облучения. Из этого следует, что все изученные дозы гамма-облучения, в том числе и минимальная, обладали бактерицидным эффектом, обеспечивая стерильность исследуемого материала.

Для исследования влияния радиационного воз-

действия на механические свойства композиционного материала «Углекон-МЯ» были проведены испытания на сжатие на оборудовании УНИИКМ в соответствии с принятыми отраслевыми требованиями. С этой целью 45 новых образцов в форме параллелепипеда размерами $30 \times 20 \times 10$ мм с различной плотностью (0,20; 0,35 и 0,47 $\text{г}/\text{см}^3$) были разбиты на 3 группы по 15 штук в каждой. Группы были разбиты на партии по 5 образцов, две из которых подвергались гамма-облучению различными дозами: 2,5 и 5,0 Мрад. Соответственно одна из партий образцов осталась необлученной. Образцы после облучения и без облучения затем подвергались механическим испытаниям на сжатие.

Результаты и их обсуждение

Полученные результаты были статистически обработаны. Определены средние значения и оценки дисперсии предельного сжимающего напряжения. При этом исключены результаты экспериментальных измерений, лежащих за интервалом, равным 3 сигма. Полученные осредненные напряжения по каждой партии приведены на рис. 4 и 5.

Как показали испытания, наиболее значимым фактором для предела прочности на сжатие является плотность материала. Несложно заметить, что падение показателя плотности вдвое, приводит практически к такому же падению показателя прочности на сжатие (см. рис. 4). При этом полученная оценка не зависит от поглощенной дозы облучения.

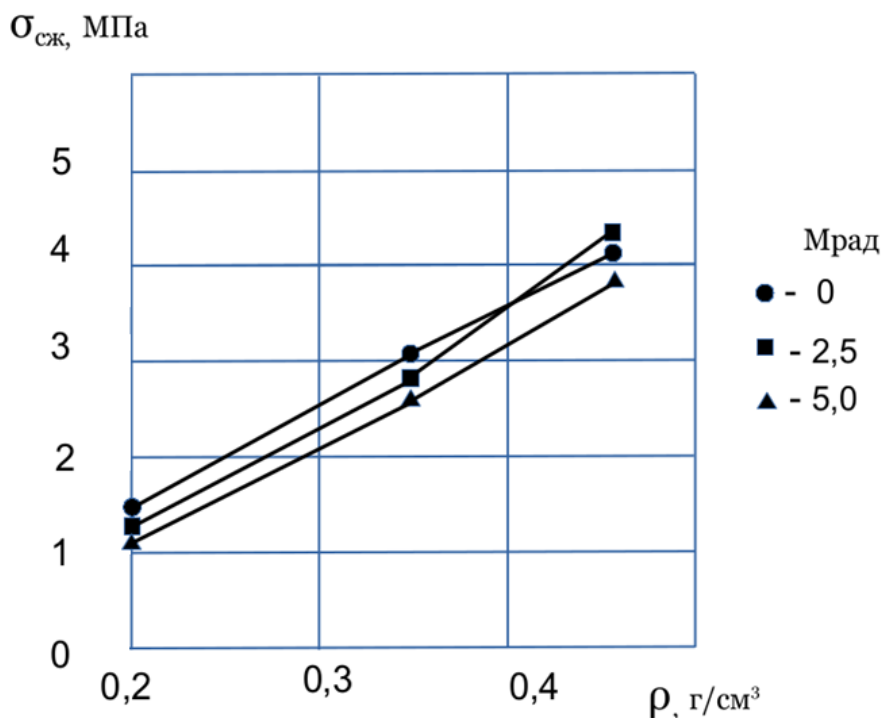


Рис. 4. Зависимости предельного напряжения на сжатие от плотности материала при различных дозах гамма-облучения

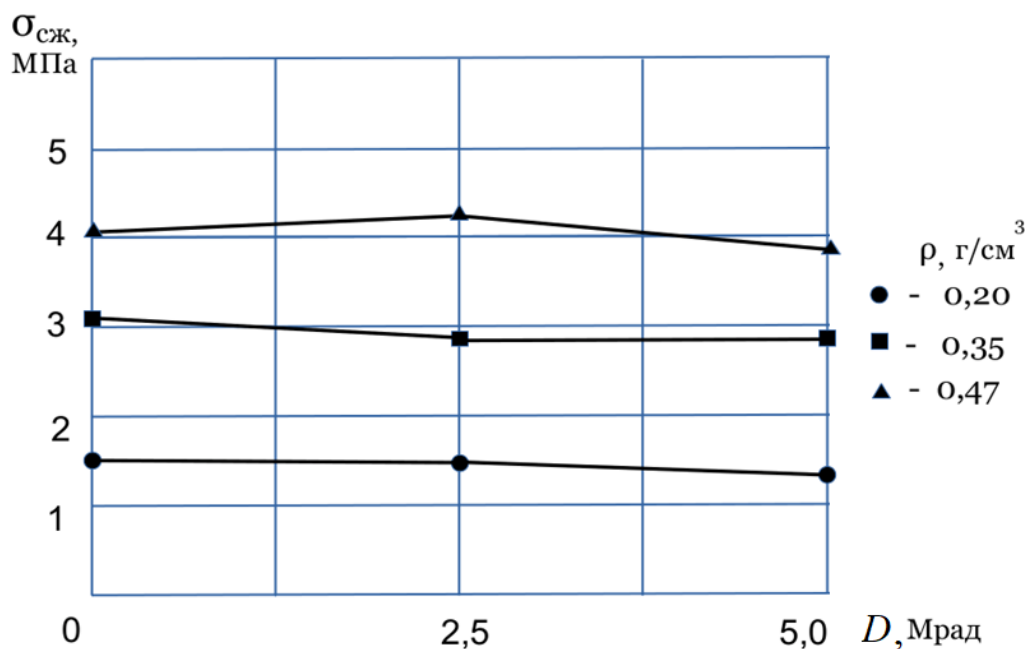


Рис. 5. Зависимости предельного напряжения на сжатие от дозы гамма-облучения при различной плотности материала

Для всех трех типов материалов, подвергшихся облучению, следует отметить определенную радиационную деструкцию, приводящую к снижению предела прочности на сжатие до 12% (см. рис. 5) в диапазоне рассмотренных экспериментальных доз гамма-облучения. Это объясняется тем, что эффекта возникновения новых межмолекулярных связей при гамма-облучении исследуемого углеродного материала в существенных размерах не происходит, в отличие от других композиционных материалов. Эффект упрочнения при обработке материала гамма-квантами обнаружен и объяснен в работе [28]. Главная причина его практического отсутствия в данных экспериментах - однородный атомный состав (99,9% – углерод) материала. Вероятно, возможна некоторая рекомбинация разрушенных связей и взаимодействие с незначительным количеством присутствующих атомов водорода. Однако это относится не ко всем межмолекулярным связям, определенная их часть не восстанавливается. Отметим, что облучение проводилось в закрытом объеме с нормальным давлением и обычным составом атмосферы. Поэтому не следует исключать возникновение окислительных реакций на поверхности материала, что также может приводить к снижению прочности на сжатие. Для возникновения какого-либо значимого числа ядерных реакций в данном случае, безусловно, не хватает легких элементов (например, достаточного количества атомов водорода), поэтому их и не следует ожидать.

Заключение

В ходе первого этапа эксперимента, установлено, что бактерицидная доза гамма-облучения в 2,5 Мрад обеспечивает полную стерилизацию пористого углеродного композиционного материала «Углекон-МЯ», предназначенного для изготовления имплантатов. Использование доз менее 2,5 Мрад в данных экспериментах не рассматривалось. Отмеченная доза радиационного воздействия была выбрана как минимальная из соображений существующего регламента для радиационной стерилизации костных аллотрансплантатов. Использование доз менее 2,5 Мрад представлялось нецелесообразным ввиду того, что в природе могут встречаться радиорезистентные штаммы микроорганизмов. Кроме того, вирусы могут быть более устойчивыми к радиации, чем спорообразующие бактерии [11, 25]. Необходимо отметить, что дозы облучения свыше 2,5 Мрад, как показали механические испытания, приводят к незначительному снижению (до 12%) прочности на сжатие, поэтому их также нежелательно применять на практике радиационной стерилизации имплантатов.

Таким образом, в целях объемной стерилизации трансплантатов, изготовленных из углеродного композиционного материала «Углекон-МЯ», допустимо использование дозы гамма-облучения в 2,5 Мрад, так как она обеспечивает требуемый уровень стерильности и практически не снижает механические характеристики исследуемого материала.

Список литературы

1. Ардашев И.П., Черников С.В., Подорожная В.Т., Кирилова И.Ю., Афонин Е.А., Веретельникова И.Ю. Биокмпозиционный и костнопластический материалы при формировании межпозвоночного костного блока // Гений ортопедии. – 2010. – № 1. – С. 12–18.
2. Асташина Н.Б., Рапекта С.И., Рогожников Г.И., Казаков С.В., Рогожников А.Г., Неменатов И.Г. Комплексный подход к лечению больных с дефектами нижней челюсти // Стоматология. – 2012. – № 5. – С. 21–23.
3. Белокрылов А.Н. Хирургические аспекты замещения доброкачественных кистозных дефектов костной ткани в детском возрасте: дис. ...канд. мед. наук. – Пермь, 2017. – 166 с.
4. Белокрылов Н.М., Сотин А.В., Демидов Ф.А., Белокрылов А.Н. Математическое моделирование деструктивных и кистозных опухолеподобных процессов в проксимальном отделе бедра // Пермский медицинский журнал. – 2014. – Т. 31, № 1. – С. 109–115.
5. Василюк В.П., Штраубе Г.И., Четвертных В.А. Свойства ячеистых структур в реконструкции костных дефектов // Пермский медицинский журнал. – 2016. – Т. 23, № 3. – С. 67–73.
6. Германов В.Г. Костно-пластическая хирургия: от костного трансплантата до современных биокмпозиционных материалов // Мед.помощь. – 2006. – № 4. – С. 16–19.
7. Гитман М.Б., Скрябин В.Л., Сотин А.В., Столбов В.Ю., Батин С.Е. Методика комплексного оценивания эксплуатационной долговечности функционального материала при эндопротезировании тазобедренного сустава // Российский журнал биомеханики. – 2017. – Т. 21, № 4. – С. 366–376. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2017.4.03
8. Денисов А.С., Скрябин В.Л., Булатов С.Б., Тихомиров Д.А., Камаева Е.С. Хирургическое лечение доброкачественных опухолей костной ткани с применением пористого углерода // Гений ортопедии. – 2009. – № 3. – С. 94–97.
9. Еловигов А.М. Пластика костных дефектов и полостей конструкциями, изготовленными из углерод-углеродного материала "Углекон-М" при хирургических вмешательствах на околоносовых пазухах: автореф. дис. ... канд. мед.наук. – Пермь, 2003. – 22 с.
10. Иванов С.Ю., Ларионов Е.В., Мураев А.А., Смешко Н.В. Современные тенденции в разработке костнопластических биокмпозиционных материалов // Нижегород. мед.журн. – 2008. – № 2. – С. 244–247.
11. Кобялко В.О., Пименов Е.П. Действие радиации на микроорганизмы и чувствительность разных таксономических групп к облучению // Актуальные вопросы сельскохозяйственной радиобиологии. – 2019. – С. 119–130.
12. Колбовский Д.А., Колесов С.В., Швец В.В., Рерих В.В., Вишневецкий А.А., Скорина И.В., Казьмин А.И., Морозова Н.С., Переверзев В.С., Хить М.А. Остеокондуктивные свойства углеродных имплантов, применяемых в хирургии повреждений и заболеваний позвоночника (случай из практики) // Гений ортопедии. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 229–233. DOI 10.18019/1028-4427-2018-24-2-229-233
13. Колесов С.В., Колбовский Д.А., Швец В.В., Рерих В.В., Вишневецкий А.В., Морозова Н.С., Скорина И.В., Горбатюк Д.С. Двухлетние результаты хирургического лечения переломов позвоночника с применением углеродных имплантатов (мультицентровое исследование) // Гений ортопедии. – 2019. – Т. 25, № 3. – С. 360–367. DOI 10.18019/1028-4427-2019-25-3-360-367
14. Минасов Т.Б., Скрябин В.Л., Сотин А.В., Минасов И.Б., Саубанов Р.А., Файзуллин А.А., Вахитов-Ковалевич Р.М. Механические свойства систем кость-имплантат в условиях различных способов фиксации // Российский журнал биомеханики. – 2020. – Т. 20, № 3. – С. 364–369.
15. Савинцев А.М., Сорокин И.В. Применение наноструктурных углеродных имплантатов в хирургическом лечении поперечного плоскостопия // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2020. – Т. 12, № 1. – С. 45–52. DOI 10.17816/mechnikov18534.
16. Синани И.Л., Шурик А.Г., Осоргин Ю.К., Бушуев В.М. Углерод-углеродные материалы для ортопедии и травматологии // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т.16, № 2. – С. 74–82.
17. Скрябин В.Л., Ладейщиков В.М., Денисов А.С. Применение гидроксиапатита и пористого углерода для замещения крупных дефектов губчатой кости // Казанский медицинский журнал. – 2010. – Т. 91. – С. 552–555.
18. Сотин А.В. Механика взаимодействия ножки эндопротеза тазобедренного сустава с кортикальным слоем бедренной кости. дис. ...канд. техн. наук: 01.02.04; ПГТУ. Пермь. – 2005. – 134 с.
19. Суфияров В.Ш., Орлов А.В., Попович А.А., Чуковенкова М.О., Сохлаков А.В., Михалюк Д.С. Расчетное исследование прочности эндопротеза из материала с градиентной ячеистой структурой // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 64–77.
20. Татаренко-Козмина Т.Ю. Роль современных биостабильных композитов в сочетании с клеточными технологиями в репарации костных дефектов // Фундамент. исследования. – 2006. – № 3. – С. 41–42.
21. Чернева С., Петков В., Войнарович С., Алексиев А., Кислица О., Масючок О. Механические свойства биосовместимых покрытий титан-стекло-углерод для применения в ортопедических имплантатах и деталях для остеосинтеза // Российский журнал биомеханики. – 2022. – Т. 26, № 1. – С. 49–59.
22. Штраубе Г.И. Применение имплантатов из углерода в челюстно-лицевой хирургии (клинико-экспериментальное исследование): автореф. дис. ...докт. мед. наук. – Пермь, 2001. – 33 с.
23. Щурак А.Г., Чунаев В.Ю., Кислых Ф.И., Штраубе Г.И. Высокопористый ячеистый углерод и его применение // Технология машиностроения. – 2001. – № 5. – С.76–84.
24. Belokrylov N.M., Sotin A.V., Belokrylov A.N., Antipova T.V. The Use Carbon Composite Material For Replacement of Postresection Bone Defects // Journal of Digital Science. – 2023. – Vol. 5, No. 2. ISSN 2686-8296.
25. Harrel C.R., Djonov V., Fellabaum C., Volarevic V. Risks of using sterilization by gamma radiation: the other side of the

- coin // Int. J. Med. Sci., – 2018, – Vol. 5, No 3, – P. 274–279. DOI:10.7150/ijms.22644.
26. Lerouge S., Simmons A. Sterilization of Biomaterials and medical devices // Woodhead Publishing LTD. – 2012. – P. 347. ISBN 978-1-84569-932-1
27. Magno L.M., Hinds D.T., Duffy P., Yadav R.B., Ward A.D., Botchway S.W., Colavita P.E., Quinn S.J. Porous carbon microparticles as vehicles for the intracellular delivery of molecules // Front. Chem. – 2020. – Vol. 8. DOI: 10.3389/fchem.2020.576175
28. Oniskiv V.D., Stolbov V.Yu., Makarevich Yu.L. Investigation of mechanical properties and structure of irradiated basalt composites using IR spectrometry // High Energy Chemistry. – 2023. – Vol. 57, No. 5. – P. 410–417.
29. Singh R., Singh D., Singh A. Radiation sterilization of tissue allografts: A review // World J. Radiol. – 2016. – Vol. 8, No 4. – P. 355–369. DOI: 10.4329/wjr.v8.i4.355
30. Yuan X., Zhang X., Sun L., Wei Y., Wei X. Cellular toxicity and immunological effects of carbon-based nanomaterials // Particle and Fibre Toxicology. – 2019. – Vol. 16, No. 18. DOI: 10.1186/s12989-019-0299-z

Финансирование. Исследование было проведено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы деятельности Пермского научно-образовательного центра "Рациональное недропользование" и проекта № FSNM- 2023-0003

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

BIOMECHANICAL ASPECTS OF RADIATION STERILIZATION OF COMPOSITE MATERIAL “CARBON-FC” FOR MEDICINE

V.D. Oniskiv¹, A.V. Sotin¹, V.Yu. Stolbov¹, S.M. Nikulin², E.V. Yuzhakova³

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² Ural Research Institute of Composite Materials, Perm, Russian Federation

³ Perm State Medical University named after academic E. A. Vagner, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 11 October 2023
Approved: 10 December 2023
Accepted for publication: 12 December 2023

Key words:

implant, highly porous composite material, radiation sterilization method, microorganisms, microbiological control of sterilization, mechanical compression tests

ABSTRACT

The process of volumetric sterilization by gamma-irradiation of composite cellular material actively used for bone defect replacement in medicine is studied. The purpose of this study is to substantiate the necessary doses of gamma-irradiation for sterilization of highly porous carbon material "Uglekon-MYA" without reducing its mechanical characteristics. The technique of volumetric sterilization of the material under study and its testing for microbiological sterility is described. The results of mechanical tests of samples before and after gamma-irradiation are given. Recommendations on selection of ionizing radiation doses providing microbicidal effect without reduction of strength properties during compression of the material under study are given.

© PNRPU