

*Е. В. Макаренко*

## МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЭНДОПРОТЕЗА КОЛЕННОГО СУСТАВА

*В ходе исследований проведены экспериментальные работы по созданию композиционного фуллеренсодержащего материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, предназначенного для работы в составе узла трения эндопротеза. Предложен состав полимерного композиционного материала, отработаны технологические режимы его формирования, изучено влияние поляризуемости на смачивание поверхности и оценены трибологические характеристики композита.*

Коленный сустав (*articulatio genus*) – самый крупный сустав человека образуется суставной поверхностью мыщелков бедренной и большеберцовой костей. Биомеханика сустава в целом сложна и состоит из одновременного взаимного перемещения в нескольких плоскостях. Так разгибание в пределах 90–180 градусов сопровождается наружной ротацией и передним смещением большеберцовой кости. Сочленяющиеся мыщелки бедренной и большеберцовой костей неконгруэнтны, что позволяет добиться значительной свободы движений в суставе. При этом большая стабилизирующая роль принадлежит мягкотканым структурам, к коим относятся мениски, капсульно-связочный аппарат и мышечно-сухожильные комплексы.

Современная медицина достигла многих результатов в диагностике и лечении ревматических заболеваний, которые были предсказаны на рубеже 20 и 21 веков и касаются расшифровки этиологии некоторых аутоиммунных заболеваний, коррекции факторов запуска ревматических процессов, использования методов генной инженерии. Несмотря на это, эндопротезирование остается в большой мере востребованным, во многих случаях безальтернативным и достаточно эффективным методом лечения суставов. В связи с этим актуально направление на усовершенствование коленного сустава.

Синовиальные суставы представляют собой чрезвычайно эффективные авторегулируемые подшипники, работающие при очень разнообразных условиях нагружения [1]. Характерными признаками сустава являются наличие суставных поверхностей, суставной полости, синовиальной жидкости и капсулы. Суставные поверхности или поверхности трения костей покрыты гиалиновым хрящом. Суставная полость содержит в небольшом количестве синовиальную жидкость. Одно из самых привлекательных свойств хряща – нелинейность его механических свойств. Верхний слой хряща толщиной 1000 Å представляет собой коллагеновый материал, состоящий из матрицы (прочный нерастяжимый волокнистый протеин – коллаген, биосовместимости разрабатываемых конструкций, волокна которого образуют мелкую сетку) и вязкого коллоидного раствора, который заполняет промежутки между волокнами. В его состав входят комплексные протеин – полисахаридные соединения, в значительной степени электроотрицательные. Способность к деформации этого слоя хряща сильно зависит от ионного окружения, в котором он находится. Следующий слой толщиной 6000 Å состоит из случайным образом расположенных спиральных коллагеновых волокон, плотность которых меньше, чем в верхнем слое. Еще ниже в слое толщиной порядка 14000 Å располагается хрящевая ткань, соприкасающаяся с костью [2]. Повторение природной структуры хряща вызывает большие трудности, однако попытки создания материалов для изготовления медицинских имплантатов продолжают.

Слабым звеном в эндопротезах коленного сустава является полимерная деталь, усовершенствование которой является одним из путей повышения ресурса всего имплантата.

Цель нашей работы состояла в исследовании композиционного фуллеренсодержащего материала на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена, предназначенного для работы в составе узла трения эндопротеза.

Непрекращающиеся попытки улучшения структуры и свойств полимерного материала коленного сустава привели к появлению нового материала – полиэтилена с поперечными связями WIAM, облученного потоком электронов. WIAM обладает повышенной устойчивостью к износу, способностью абсорбировать воду, по иному протекает процесс его окисления, в сравнении с обычным СВМПЭ. [3].

Разработаны углеродные материалы типа ИНТОСТ. Высокие прочность и пористость, самосмазываемость, уникальная биосовместимость, длительная работоспособность в условиях биологической среды, высокая усталостная прочность, тромборезистентность, отсутствие нежелательных реакций тканей организма на имплантаты и продукты их износа – отличительные особенности ИНТОСТ материалов для эндопротезирования.

Например, материал ИНТОСТ-1, изготовленный из углеволокнистого наполнителя и связующего – полиамида, имеет модуль упругости в два раза ниже, чем у нативной кости, а прочность на изгиб – до 300 МПа. Низкий модуль упругости материала обеспечивает бесцементную фиксацию эндопротезов и имплантатов в костно-мозговом канале. Достоинством свойств материалов ИНТОСТ, наряду с высокой биосовместимостью, является возможность, при необходимости, проводить доработку размеров имплантатов непосредственно во время операции с использованием обычных хирургических инструментов (пила Джигли, скальпель, костная ножовка и др.). Более 10 лет наблюдаются пациенты с эндопротезами из углеродных материалов. В течение этого срока не было ни одного случая выхода из строя эндопротезов. Однако известно, что продукты изнашивания полиамидов вызывают воспалительную реакцию мягких тканей и осложнения после эндопротезирования.

Повторение природной структуры хряща вызывает большие трудности, однако попытки создания материалов для изготовления медицинских имплантатов продолжают. Состояние разработок по выращиванию биологических имплантатов (клонирование) [4] на сегодняшний день не позволяет реально рассчитывать на улучшение ситуации в эндопротезировании в ближайшее десятилетие.

На сегодняшний день в медицинской промышленности для изготовления эндопротезов, особенно протезов крупных суставов человека применяют СВМПЭ. Его применение обусловлено биологической инертностью и возможностью стерилизации.

Для изготовления эндоротезов применяют СВМПЭ повышенной степени чистоты, т.е. с наименьшим содержанием низкомолекулярных включений (олигомеров, примесей катализатора и растворителей).

Для изготовления полимерной детали (вкладыша) коленного сустава используют СВМПЭ марки Hostalen GUR фирмы «Hoechst» (Германия), отвечающий требованиям международного стандарта [5], который мы использовали для наших исследований.

Высокий уровень современной технологии композиционных материалов позволяет достичь гарантированной прочности композитных эндопротезов, не ниже прочности металлических. Композиты создают благоприятные предпосылки для применения в эндопротезах углеродных материалов, продукты изнашивания которых характеризуются наибольшей степенью биосовместимости из всех конструкционных материалов. Введение фуллереновых наполнителей в полимерную матрицу позволяет регулировать характеристики композиционного узла трения.

В работе [6] показано, что использование в качестве наполнителя ультрадисперсных материалов, среди которых все более заметную роль играют кластеры углерода – фуллерены, рассматриваются как основа для получения новых высокотехнологичных материалов и препаратов для медицины. Добавление фуллеренов обеспечивает

указанным веществам новые свойства, например, противовирусную и антираковую активности. Кроме того, фуллерены обладают высокими магнитными и сорбционными свойствами, а благодаря своему шарообразному строению, эти соединения являются идеальной смазкой.

При формировании композиций фуллерен – полимер происходят процессы диффузии молекул фуллерена и растворения кластеров фуллерена в полимерных матрицах [7]. Это свидетельствует о хорошей термодинамической совместимости выбранных компонентов для изготовления деталей. Физико-химическое взаимодействие СВМПЭ и фуллеренового наполнителя сопровождается образованием химических связей между макромолекулами связующего и поверхностью частиц наполнителя. Межфазный поверхностный слой отличается по ряду некоторых характеристик от связующего. При формировании адгезионных соединений происходит контактное окисление макромолекул СВМПЭ и частиц фуллерена. Образование межфазных слоев обуславливает электрическую поляризацию композита по механизму Максвелла-Вагнера, что влияет на физико-химические и трибологические характеристики композитов. На поверхности трения полимерной детали можно сформировать электрический поляризационный заряд с эффективной поверхностной плотностью  $10^{-8} - 10^{-5}$  Кл/см<sup>2</sup>. Придание электретных свойств полимерным деталям эндопротеза способствует решению проблемы их биосовместимости [1].

Экспериментальные образцы деталей эндопротезов изготавливали из порошковой смеси СВМПЭ и молекулярного наполнителя при различных процентных соотношениях компонентов (от 0,01 до 10 % масс УДДД-СФ). Образцы формировали методом «горячего» прессования при температуре 170 °С и выдержкой под давлением 10–12 МПа до полного остывания. Затем образцы подвергали методам физического модифицирования: термополяризации при напряженности поля  $E = 10$  кВ/см,  $T_n = 110$  °С,  $t_n = 1,5$  ч или обработке поверхности трения коронным разрядом при  $E = 5-10$  кВ/см,  $T_n = 60-65$  °С,  $t_n = 5$  мин. Поляризация образцов решает задачу снижения гидрофобности СВМПЭ. Это позволит кардинально улучшить смазку подвижных сопряжений синовиальной жидкостью и повысить технический ресурс имплантированных эндопротезов суставов. В работах [2] показано, что полимерные пленки и покрытия, обработанные коронным разрядом, лучше смачиваются водой, чем исходные образцы. Вне зависимости от знака поверхностного поляризационного заряда краевые углы смачивания водой, обработанных коронным разрядом полимерных образцов, уменьшаются с ростом плотности поверхностного заряда. В таблице приведены значения краевого угла смачивания ( $\theta$ ) для образцов материалов, содержащих различные значения концентрации наполнителя при различных значениях разности потенциалов.

Результаты трибологических исследований показали, что при увеличении концентрации наполнителя (до 0,03 % масс) в матрице СВМПЭ наблюдается повышение коэффициента трения до 0,29, затем при содержании наполнителя 1,0 % масс наблюдается снижение  $f$  до 0,17. Причем на первых 200-ых циклах происходит обработка поверхностей трения образцов и далее  $f$  не изменяется. Низкое значение коэффициента трения в этом случае объясняется значительным по содержанию и равномерно распределенными в полимерной матрице частицами УДА, содержащих фуллерены.

В ходе проведенных исследований подтверждается научная идея, состоящая в том, что создание композитов на основе СВМПЭ, содержащих углеродные нанонаполнители, позволяет повысить износостойкость и биосовместимость материала трения для эндопротезов суставов.

Таблица – Значения краевого угла смачивания ( $\theta$ ) образцов при различных значениях разности потенциалов

Концентрация УДА, % масс	Краевой угол смачивания, $\theta$ , °		
	Без заряда	5 кВ	8 кВ
0,01	47	19	22
0,03	56	24	33
0,05	59	35	40
0,1	45	25	26
0,5	59	34	34
1,0	47	35	27

### Литература

1 Pinchuk, L. S. Tribology and Biophysics of Artificial Joints / L. S. Pinchuk, V. I. Nikolaev, E. A. Tsvetkova, V. A. Goldade. – Kidlington, Oxford Joints: Elsevier Ltd., 2006. – 350 p.

2 Пинчук, Л. С. Эндопротезирование суставов: технические и медико-биологические аспекты / Л. С. Пинчук, В. И. Николаев, Е. А. Цветкова. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2003. – 308 с.

3. Цветкова, Е. А. Полимеры в узлах трения эндопротезов суставов / Е. А. Цветкова // Пластические массы. – 2003. – № 4. – С. 40–42.

4. Generation of artificial cartilage in a multicell perfusion reactor / R. Pörtner, C. Göpfert, P. Adamietz, N. M. Meenen // 11-th Int. Biotechnology Symp. and Exhibition: Abstracts of papers. – Berlin, 2000. – № 1. – P. 261–262.

5. Рекламный проспект разработок НИИГРАФИТ, Россия, 2002.

6 Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. – 344 с.

7. Шпилевский М. Э., Шпилевский Э. М., Стельмах В. Ф. Фуллерены и фуллереноподобные структуры – основа перспективных материалов // ИФЖ. – 2001. – Т. 74, № 6.

УДК 630\*411

*Е. С. Наварич*

### **ЗИМНЯЯ ПЯДЕНИЦА (*OPEROPHTHERA BRUMATA* L.) В НАСАЖДЕНИЯХ ГИКУ «ГОМЕЛЬСКИЙ ДВОРЦОВО-ПАРКОВЫЙ АНСАМБЛЬ» И МЕТОДЫ ОГРАНИЧЕНИЯ ЕЕ ЧИСЛЕННОСТИ**

*Изучена динамика численности зимней пяденицы (*Operophtera brumata* L.) и ее пространственное распределение на территории ГИКУ «Гомельский дворцово-парковый ансамбль» в течение 2012–2014 годов. Проведен сравнительный анализ трех методов ограничения численности этого вредителя: метод «клеевых колец», метод создания «самцового вакуума» и комбинированный метод. Лучшим методом ограничения численности зимней пяденицы оказался комбинированный, сочетающий наклеивание клеевых колец на наиболее объедаемые породы деревьев с дополнительным отловом самцов феромонными ловушками.*