

Характеристики поверхностей, применяемых в биомедицинской инженерии

Автор: Dr. Udo Ohlerich (Krüss GmbH, Germany)

Основной задачей биомедицинской инженерии в настоящее время является получение искусственных материалов для внедрения в человеческий организм. Такие материалы могут применяться для протезирования костей или их частей, суставов, зубов, кожи, волос, сухожилий и мышечной ткани, а так же для создания внутренних органов.

К таким материалам предъявляются серьезные требования относительно их прочности и способности проводить химические и электрические сигналы. В зависимости от области применения, материал должен быть биосовместимым, биовыносливым, либо биоинертным.

Простым, но наглядным примером использования искусственных материалов в медицинских целях, является протезирование зубов. В первую очередь, зуб должен сохранять прочность от поверхности к корню, для того чтобы справиться с нагрузками, возникающими в процессе пережевывания. Это механическая задача. Поверхность зуба должна быть не смачиваемой для предотвращения появления многочисленных микроорганизмов. Это уже является задачей поверхностного натяжения. Центральная часть должна быть биофильна к живым тканям, но оставаться биофобной к микроорганизмам.



Модификация поверхности искусственных материалов, контактирующих с жидкими компонентами организма, с помощью коронного разряда, плазмы или пламени способствует снижению накопления белков и ферментов на материалах. Как правило, альбумин и фибриноген имеют склонность адсорбироваться на фильтрующих материалах из полиэстера; обработка таких фильтров плазмой (плазменное нанесение гидроксиэтилметакрелата) позволяет существенно снизить показатели адсорбции. Такой эффект объясняет теория, разработанная ван Оссом, Гудом и Гаудгури: при увеличении основной составляющей поверхностного натяжения воды (σ^0) при относительно высоком содержании кислой части ($\sigma^+ = 25,5$), уменьшается адсорбция белков на поверхности.

Другим примером является увеличение поверхностного натяжения полимерных материалов (PTFE, PS) в аммиачной плазме (результат=44-48 мН/м) для интенсификации отложения клеток эндотел. Эндотел входит в состав поверхности кровяных сосудов. В результате адсорбции эндотел на поверхности полимера, получают поверхность, схожую по своим свойствам с естественным материалом.

Для предотвращения адгезии клеток бактерий на поверхности полимеров, значение поверхностного натяжения материала должно быть максимально возможным. Вода и бактериальные клетки (например, *Staphylococcus epidermi*) конкурируют в процессе адсорбции. Поверхностное натяжение воды значительно выше поверхностного натяжения клеток микроорганизмов. Увеличение поверхностного натяжения твердой поверхности снижает способность бактерий адсорбироваться.

Выше приведенные примеры демонстрируют всю важность свойств поверхности раздела между искусственным и биологическим материалами. Изменение поверхности самого имплантата может оптимизировать межфазное натяжение только до определенного предела. Специальное поверхностное покрытие позволяет достигнуть необходимых показателей вне зависимости от механических свойств. Благодаря низким температурам процесса и отсутствию влаги, широко применяется метод модификации поверхности с помощью нанесения полимерного слоя в потоке плазмы. Данные, приведенные в табл.1 демонстрируют такие покрытия, которые благодаря своим механическим свойствам больше похожи на сталь чем на полимеры, но, тем ни менее, обладают низкими значениями поверхностного натяжения. Введение гетероатомов B, N, Si, или F значительно изменяет поверхностное натяжение.



Табл.1 Сравнительная характеристика свойств полимерных покрытий, стали (100 Cr6) и тефлона

	Микро-прочность ГПа	Е-модуль ГПа	Коэффициент сжимаемости (отн. стали)	Расход (отн. Al ₂ O ₃) 10 ⁻⁵ м ³ /Нм	Температурная устойчивость °С	γ _s мН/м
тефлон	0,3	0,35	0,12	-	260	18,5
Сталь	5	210	0,7	222	-	>1000
АПП	20-30	250	0,2	1	350	42,4
F-АПП	2	40	-	-	-	19,9
Si-АПП 2	7	50	0,4	40	400	25,2
Si-АПП 1	11	90	0,12	16	400	31,2
BN-АПП	20	230	0,2	7	-	54,2

АПП- алмазоподобное покрытие

В качестве примера механической прочности материалов обработанных потоком плазмы, можно привести искусственные суставы, технология изготовления которых основана на алмазоподобных покрытиях (АПП). Такие имплантаты показывают меньший износ, чем аналогичные без АПП.

Другим методом увеличения значения поверхностного натяжения является осаждение паров на поверхность полимера. Таким способом осаждают, например, оксиды (табл.2).

Табл.2 Свободная энергия поверхности (СЭП), мН/м, фольги различной степени обработки

	γ _s	γ ^d _s	γ ^p _s	γ _s	γ ^{LW} _s	γ ^{AB} _s	γ ⁺ _s	γ ⁻ _s
Не обработанный	29,1	25,5	3,6	30,9	28,6	2,3	0,14	9,5
Обработка пламенем	36,9	26,0	10,9	37,2	32,6	4,6	0,48	11,4
Обработка пламенем и оксидом кремния	51,3	23,2	28,1	49,3	33,3	16,0	2,2	29,7

Слева: по Ф.Фоуксу

Справа: по ван Оссу, Гуду и Гаудгурри

Материалы для микромеханики обычно изготавливаются из боросиликатного стекла и кремния. Все имплантируемые части и медицинские аппликаторы также изготовлены из этого материала. Но следует помнить, что при контакте искусственных материалов с биологическими системами наблюдаются:

- отложения на твердой поверхности при контакте с кровью или ее составляющими;
- уменьшение поверхности при статическом и динамическом напряжении во время контакта с жидкостями.

В частности, отложения белков и клеток на керамике легко определить с помощью измерения краевого угла. А для определения биосовместимости материала, определяют величины свободной поверхностной энергии (СЭП):

Табл.3 Свободная энергия поверхности, мН/м, некоторых биосовместимых материалов

материал	СЭП (дисперсная часть)	СЭП (полярная часть)	СЭП (общая)
Кремний	24,9	23,2	48,1
Боросиликатное стекло TEMPAX	21,1	33,0	54,1
Стеклокерамика BIOVERIT	8,0	58,4	66,4
Силиконовая резина HV50	11,2	3,6	14,8
Полиуретан CV35	19,4	12,0	31,4

Стеклокерамика является признанным биосовместимым материалом, применяемым для имплантации и диализа. СЭП боросиликатного стекла и кремния достаточно близки, следовательно, можно сделать вывод, что и они являются биосовместимыми. Эти выводы согласуются с результатами, полученными при биологическом тестировании.

