

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СМАЧИВАЕМОСТИ ОБРАБОТАННЫХ ЛАЗЕРОМ ТИТАНОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОДОЙ И СРЕДОЙ DMEM

Маннинен А.С.¹, Белик П.А.¹, Афанасьев Н.А.¹

Научный руководитель – канд. биол. наук, доцент Прилепский А.Ю.¹

¹Университет ИТМО

amanninen@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР № 645122 «ИИ-морфометрия: от изображения клеточных сфероидов к прогнозированию цитотоксичности».

Введение

Гидрофобные поверхности, созданные за счет нанесения микропаттерна, интересны своими функциональными свойствами, в частности самоочищением, биосовместимостью и др. [1]. Например, такие поверхности полезны для создания металлических имплантатов, обладающих широким кругом достоинств, включающих биосовместимость, бактерицидное действие и улучшение регенерации тканей [2].

Для изучения того, как клетки организма будут взаимодействовать с различными поверхностями, необходимо проводить предварительные эксперименты *in vitro*, для чего необходимы питательные среды, которые способны поддерживать жизнедеятельность клеток. Одной из распространенных искусственных питательных сред для животных клеток является DMEM (Dulbecco's modified Minimum essential medium). Среда DMEM была разработана как модифицированная для разнообразных типов клеток среда, содержащая минимальный необходимый набор питательных веществ. DMEM содержит заменимые аминокислоты для снижения биосинтетической нагрузки на клетки, и также может содержать повышенное количество глюкозы для обеспечения потребностей клеток с высокими требованиями к питательным веществам [3].

В нашем исследовании используется среда DMEM с высоким содержанием глюкозы (Thermo Fisher Scientific, № 11965).

Основная часть

В качестве объекта исследования были использованы круглые пластины из титанового сплава ВТ1-0, диаметром 14 мм и толщиной 1,7 мм. Перед дальнейшей обработкой лазером пластины были последовательно отполированы шлифовальной бумагой зернистостью от P200 до P2000.

Титановые пластины были обработаны сфокусированным лазерным излучением (диаметр пятна – 50 мкм, длина волны $\lambda=1064$ нм, поле обработки 110×110 мм с фокусным расстоянием 160 мм) при помощи системы лазерной обработки «ТурбоМаркер» (ООО «Лазерный Центр») на базе импульсного лазерного источника YPLN-1-4x200-20-20 («IPG Photonics»). Обработка осуществлялась процессом последовательного сканирования образца по 10 проходов на каждый образец со средней мощностью $P=20$ Вт, частота следования импульсов $f=999$ кГц, длительность импульса $\tau=100$ нс, разрешением 20 линий/мм. Для каждого образца (1-10) варьировалась скорость сканирования в диапазоне от 100 до 550 мм/с с шагом 50 мм/с.

Перед проведением измерений титановые пластины были очищены в ультразвуковой ванне («Химсоник») и промыты в изопропиловом спирте и деионизированной воде.

Одним из самых распространенных методов описания смачиваемости поверхности является измерение краевого контактного угла [4]. Контактный угол (КУ) –

это угол со стороны жидкости между касательной к поверхности и касательной к поверхности жидкости в месте контакта жидкости, твердой поверхности и воздуха [5].

Для измерения статического краевого контактного угла использовался анализатор формы капли (KRUSS DSA-25). На исследуемый образец из шприца размещалась капля объемом 1,1-1,2 мкл. Изображение капли фиксировалось камерой, определялся контур капли и аппроксимировался на основе уравнения Юнга-Лапласа. После чего измерялся КУ [6].

Результат представляет из себя значения КУ капель DMEM-а и воды на различных подложках. Для каждого образца было проведено по 10 измерений угла, после чего подсчитывалось среднее арифметическое значение и абсолютная погрешность. Абсолютная погрешность подсчитывалась путем вычисления оценки среднеквадратичного отклонения, для которого рассчитывался доверительный интервал (случайная погрешность), и после этого находилась абсолютная погрешность. При этом за значение инструментальной погрешности было взято число $0,05^\circ$ [7].

Для измеренной величины КУ на обработанных лазером образцах наблюдаются значения в диапазоне от $94,3^\circ$ до $98,2^\circ$ для DMEM и от $89,7^\circ$ до $97,2^\circ$ для воды. При этом следует отметить, что для большинства образцов наблюдаются более высокие значения КУ для клеточной среды, чем для воды. На необработанных лазером поверхностях углы для DMEM и воды были меньше, чем на обработанных, и составляли $86,6^\circ$ и $71,6^\circ$ соответственно.

Выводы

В нашем исследовании обработанные лазером титановые поверхности демонстрируют КУ от $94,3^\circ$ до $98,2^\circ$ для DMEM и от $89,7^\circ$ до $97,2^\circ$ для воды, что позволяет сказать, что полученные поверхности являются гидрофобными ($KU \geq 90^\circ$) [6]. Таким образом полученные методы можно использовать для создания функциональных поверхностей, которые можно использовать в лабораторных условиях для исследования роста клеток в определенных условиях, например имитирующих контакт с металлическим имплантом, а гидрофобность можно использовать для создания определённого паттерна роста клеток [8].

Литература

1. Goharshenas Moghadam S., Parsimehr H., Ehsani A. Multifunctional superhydrophobic surfaces // *Advances in Colloid and Interface Science*. 2021. Vol. 290. P. 102397.
2. Clainche TL, Linklater D, Wong S, Le P, Juodkazis S, Guével XL, Coll JL, Ivanova EP, Martel-Frchet V. Mechano-Bactericidal Titanium Surfaces for Bone Tissue Engineering // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2020. Vol. 12, no. 43. P. 48272–48283.
3. Yao T., Asayama Y. Animal-cell culture media: History, characteristics, and current issues // *Reprod Medicine & Biology*. 2017. Vol. 16, no. 2. P. 99–117.
4. Anderson W. Wettability Literature Survey- Part 2: Wettability Measurement // *Journal of Petroleum Technology*. 1986. Vol. 38, no. 11. P. 1246–1262.
5. Marmur A., Volpe C., Siboni S., Amirfazli A., Drelich J. Contact angles and wettability: towards common and accurate terminology // *Surface Innovations*. 2017. Vol. 5, no. 1. P. 3–8.
6. Glossary Kruss [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kruss-scientific.com/en/know-how/glossary> (дата обращения: 12.02.2026).
7. Курепин В. В., Баранов И. В. Обработка экспериментальных данных: учебно-метод. пособие. - СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ. 2012. 57 с.
8. D. D. Kartsev, A. Y. Prilepskii, I. M. Lukyanov, E. G. Sharapenkov, A. V. Klaving, A. Goltaev, A. Mozharov, L. Dvoretckaia, I. Mukhin, P. A. Levkin Fabrication of Omniphobic-Omniphilic Micropatterns using GPOSS-PDMS Coating // *Adv Materials Inter*. 2023. Vol. 10, no. 16. P. 2300156.