

УДК 576.54

**3D БИОПЕЧАТЬ КЛЕТОЧНОГО ИМПЛАНТАТА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ  
ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА**

**Егорова В.В.** (Университет ИТМО), **Лаврентьева М.П.** (Университет ИТМО),  
**Косьмин В.Л.**

(Институт цитологии российской академии наук)  
**Научный руководитель – д.х.н. Кривошапкина Е.Ф.**  
(Университет ИТМО)

**Введение.** С точки зрения медицины, задача инвазивного восстановления гиалинового хряща не решена по сей [1] день по причинам отторжения материала импланта, затрудненной передачи сигналов, недостатка прямого кровоснабжения и низкой плотности популяции хондроцитов по отношению к внеклеточному матриксу (ВКМ). Клеточная инженерия [3] с подходом 3D биопечати представляют многообещающий путь решения поставленной проблемы, поскольку обеспечивает равномерное заселение имплантов клетками, контролируемые и автоматизированные условия, стерильность процесса, а также адаптивную архитектуру имплантов и модуляцию их механических свойств [2].

**Основная часть.** Была разработана серия гидрогелевых композиций биомиметического назначения, призванных обеспечивать прикрепление клеток, активируя их рост и пролиферацию. Биомиметической составляющей гидрогелей выступают желатин и коллаген I типа, сшитых агентами на основе химически модифицированных биополимеров-полисахаридов. Композиции демонстрируют золь-гель переход и pH-специфичность, зависящие от температуры инкубации и сшивки гидрогеля, а также массового соотношения компонентов.

Реологические исследования показали, что характеристика компрессионного модуля Юнга (9,91...809,8 Па) модулируется в зависимости от соотношения компонентов и степени сшивки желатиновых и коллагеновых нитей. Полученные гидрогели демонстрируют тиксотропные свойства, являясь псевдопластичными жидкостями с ярко выраженным пределом текучести (2,24...62,38 Па), который соответствует минимальному давлению, необходимому для текучести вязкоэластичной жидкости. Такое поведение обеспечивает возможность включения в гидрогель линии клеток, получая «биочернила», в которых в процессе 3D гель-экструзионной печати клетки эффективно сохраняют жизнеспособность.

В результирующие гидрогели были включены клетки линии фибробластов DF-2. Полученными биочернилами методом гель-экструзионной 3D печати были сконструированы импланты. Жизнеспособность клеток после инкубирования имплантов была оценена методом Live/Dead флюоресцентной микроскопии гистологических срезов, и составила более 75% живых клеток по истечении 3 суток инкубации имплантов.

**Выводы.** Полученные результаты имеют перспективы к расширению исследований в области аддитивных технологий в клеточной и тканевой инженерии для медицинских приложений. Полученный имплант и технология его получения могут быть зарегистрированными в патентной базе и являются вакантными и доступными к применению в малоинвазивных методах восстановления гиалинового хряща.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования России (проект №075-15-2019-1896). Донорная культура клеток была предоставлена Институт цитологии Российской академии наук.

**Список использованных источников:**

1. Li, M., Yin, H., et al. (2022). The immune microenvironment in cartilage injury and repair.

Acta Biomaterial, 140, 23–42. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.12.006>

2. Sun, B. (2021). The mechanics of fibrillar collagen extracellular matrix. Cell Reports Physical Science, 2(8), 100515. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100515>

3. Prince, E., Kumacheva, E. (2019). Design and applications of man-made biomimetic fibrillar hydrogels. Nature Reviews Materials, 4(2), 99–115. <https://doi.org/10.1038/s41578-018-0077-9>