

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D БИОПЕЧАТИ

© 2021 г. Д. В. Леонов¹, Ю. А. Спирина¹, А. А. Яценко¹, В. А. Кушнарев²,
Е. М. Устинов¹, С. В. Баранников¹

¹Амурская государственная медицинская академия Министерства здравоохранения Российской Федерации,
Благовещенск, 675006 Россия

²Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Петрова Министерства здравоохранения
Российской Федерации, Санкт-Петербург, Песочный, 191124 Россия

*E-mail: d.leonov1998@gmail.com

Поступила в редакцию 13.03.2021 г.

После доработки 12.04.2021 г.

Принята к публикации 13.04.2021 г.

В обзоре рассмотрены семь наиболее перспективных для тканевой инженерии технологий трехмерной печати: струйная, экструзионная, лазерная, стереолитографическая, 4D-печать, томографическая печать, цифровая световая печать (digital light processing). Проанализированы возможности и недостатки методик, механизмы их работы. Приведены примеры успешных тканеинженерных разработок, выполненных этими методами биопечати.

Ключевые слова: тканевая инженерия, 3D-биопечать, 3D-печать

DOI: 10.31857/S0041377121040064

В настоящее время во всем мире существует острая проблема нехватки органов для трансплантологии. По данным Федерального научного центра трансплантологии и искусственных органов им. академика В.И. Шумакова (Москва) в 2019 г. было выполнено 1473 пересадки почек, 584 пересадки печени, 25 трансплантации легких, 337 пересадок сердца. При этом в листе ожидания в настоящее время находятся 9500 пациентов (<https://vademec.ru/news/2020/03/19/kolichestvo-transplantatsiy-organov-v-2019-vyroslo-na-11/>).

По данным Министерства здравоохранения и социальных служб США (MoHSS) за 2019 г. было проведено около 11900 трансплантаций. Этот показатель является одним из самых высоких по числу трансплантаций во всем мире, однако потребность составляет около 113000 трансплантаций (<https://optn.transplant.hrsa.gov/news/organ-donation-again-sets-record-in-2019/>). Для операции по трансплантации характерна проблема совместимости, например, необходимо учитывать гистосовместимость тканей, а для непарных органов трудно найти донора. Одним из решений этих проблем является 3D-биопечать.

Биопечать – технология аддитивного производства, которая позволяет создавать сложные трехмерные тканеинженерные конструкции, используя биоматериалы в качестве микросреды для живых клеток, за короткое время. Одним из наиболее важных составляющих биопечати являются биочернила. Биочернила – это комбинация из биополимерных

гелей (жидкой фазы) и живых клеток, используемая для печати трехмерных тканевых структур. Они содержат как малодифференцированные мультипотентные мезенхимные стромальные клетки (ММСК), так и дифференцированные, например, фибробласты, кератиноциты, гепатоциты и т.д. (Ong et al., 2018; Hong et al., 2018). В качестве жидкой фазы используют биополимеры, такие как желатин, коллаген, агароза и др. (Xia et al., 2018). Выбор метода печати базируется не только на скорости и выживаемости клеток, а также на разрешающей способности. Разрешающая способность представляет собой размер самой маленькой детали, которую может напечатать принтер в одном слое.

В настоящее время существуют различные технологии биопечати. Самая простая из них – экструзионная печать (Lee, Yeong, 2016), при которой создание объекта происходит послойно снизу-вверх с помощью одной печатающей головки.

К более сложным технологиям относятся томографическая печать (Kelly et al., 2017), когда объект печатается с помощью луча света определенной длины волны, который полимеризует фотополимер; при этом объект воссоздается без разделения на слои, что позволяет создавать более сложные и в то же время более прочные трехмерные конструкции (Bernal et al., 2019). Эта биотехнология имеет большие перспективы в фармацевтической промышленности, поскольку является одним из наиболее быстрых сегодня способов создания клеточного продукта