

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛИЯНИЯ ТКАНЕВЫХ СФЕРОИДОВ ДЛЯ 3D-БИОПЕЧАТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Пахомова Е.А.

Сколковский институт науки и технологий, Москва, Большой бульвар, 30, 121205,  
*catherine.pakhomova@skoltech.ru*

Современное состояние зарождающейся индустрии биопечати, в отличие от довольно развитой 3D-печати, характеризуется направленностью на исследование технологии с целью устранения имеющихся недостатков для создания жизнеспособных органных конструктов. Ключевым фактором, отвечающим за такую жизнеспособность, является точность в значении fidelity (англ.), подразумевающая отклонение желаемого результата от действительного и приводящая, в случае её недостаточности, к финансовым потерям и затягиванию эксперимента. Во избежание указанных проблем, уровень точности должен быть определен заранее с помощью математического моделирования и симуляции, т.е. посредством создания цифрового двойника печатного органа. Достижение заданного уровня точности на этапе моделирования позволит добиться большей эффективности в научных исследованиях и, следовательно, в индустрии биопечати.

Одна из проблем, усложняющая процесс биопечати, связана с тем, что природное явление слияния сфероидов (основа для 3D-процессов биопечати конструкций органов и тканей), для обеспечения которого в настоящее время существуют рабочие проекты по его улучшению, имеет обратную сторону: более крупные сфероиды часто имеют некротический процесс в центре из-за низкой концентрации кислорода и питательных веществ, а потому не могут быть использованы в биопечати [1]. Компромиссом является моделирование фактической ситуации с концентрацией питательных веществ в определенном диаметре сфероидов, а затем слияния этих сфероидов с фактическим уровнем точности, при условии отсутствия в них некроза. Для лучших результатов оба процесса моделируются в одном исследовании на стадии предварительной обработки в экспериментах по биопечати.

Для моделирования и симуляции был выбран подход FRep (Function Representation), используемый в твердотельном и объемном моделировании, компьютерной графике, а также был успешно использован для моделирования роста колонии клеток млекопитающих, т.е. "обратной задачи" слияния сфероидов тканей [2]. С применением этого подхода проведено моделирование зависимости наличия некротических процессов в центре от диаметра сфероидов, решена задача реакции-диффузии. Проведенное исследование показало, что в модели необходимо учесть фактор компактизации клеток, диффузию питательных веществ из среды, а вопрос слияния сфероидов нужно рассматривать комплексно: как с геометрической точки зрения, учитывая возможные отклонения от желаемого результата, так и с точки зрения решения уравнения «реакция-диффузия» для выяснения наличия/отсутствия в центре тканевых сфероидов некроза, делающего конструкт нежизнеспособным.

## Литература

1. *Pakhomova, Catherine, et al. "Software for Bioprinting." International Journal of Bioprinting 6.3 (2020).*
2. *Pasko, Alexander, et al. "Function representation in geometric modeling: concepts, implementation and applications." The visual computer 11.8 (1995): 429-446.*