

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА АНГИОГЕННОЙ ОПУХОЛИ С УЧЁТОМ БАЛАНСА КИСЛОРОДА И ГЛЮКОЗЫ

Кузнецов М.Б., Колобов А.В.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский проспект 53, Москва 119991,
Россия, postmaster@lebedev.ru

Хорошо известно, что рост злокачественной опухоли сопровождается ангиогенезом, то есть формированием новых кровеносных сосудов, что увеличивает поступление питательных веществ к опухоли. Этот процесс может быть заблокирован с помощью антиангиогенной терапии (ААТ), которая начала применяться в клинической практике чуть более десятилетия назад. ААТ не останавливает приток питательных веществ к опухоли полностью, а только уменьшает его, поэтому целесообразность ее применения в каждом конкретном случае зависит от значимости ангиогенеза для опухоли, на что в свою очередь влияет множество факторов различной природы. Заранее оценить противоопухолевую эффективность ААТ можно с помощью математического моделирования. Мы разработали пространственно распределённую многокомпонентную модель опухолевой прогрессии с учетом ААТ типа «реакция-диффузия-конвекция», в которой в качестве переменных используются концентрации веществ, плотности клеток, а также плотность микроциркуляторной сети. В модели учитываются два ключевых метаболита – глюкоза и кислород, что позволяет рассматривать как гликолиз, так и окислительное фосфорилирование в метаболизме опухолевых клеток. Для установления взаимосвязи между плотностью капиллярной сети и притоком кислорода разработана и исследована отдельная модель стационарного кровотока внутри капиллярной сети. Численное исследование модели опухолевой прогрессии показало, что антиангиогенная терапия опухолей диффузного типа уменьшает общее число их клеток, но практически не влияет на скорость их инвазии в нормальную ткань. Обнаружено, что рост компактных опухолей в достаточно широком диапазоне параметров может носить немонотонный характер. Показано, что в этом случае ААТ стабилизирует и существенно замедляет рост опухоли, а её локальная во времени эффективность существенно зависит от момента её начала.