

УДК 517.938

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ С КЛЕТОЧНОЙ МЕМБРАНОЙ С ВНЕДРЕННЫМИ В НЕЁ НАНОЧАСТИЦАМИ

Юрова Т.С. (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Попов И.Ю.

(федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Разрабатывается теоретическое обоснование эффективности лечения раковых опухолей с помощью ультразвукового метода и внедрения в клетки золотых наночастиц. С точки зрения акустики главное отличие раковой клетки от здоровой в негладкости ее поверхности, мембраны. Наночастицы играют роль вторичных источников звука в клетке. На основе этих фактов строятся модели клеток с гладкой и негладкой границами и исследуется распространение акустических волн вблизи границ. Для этого разрабатывается упрощенная математическая модель клетки как резонатора с полупрозрачной границей, проводятся исследования решения этой задачи вблизи неровностей границы с помощью теории потенциалов и теории рассеяния.

Введение. В человеческом обществе существует множество опасных и серьезных заболеваний, от которых до сих пор не найдены методы лечения. Одна из таких болезней – рак. Ученые всего мира проводят опыты и ставят эксперименты в попытках найти безопасное лекарство. В 2016 году Кошелева, Лай и другие в работе «Selective killing of cancer cells by nanoparticle-assisted ultrasound», Nanobiotechnology. - 2016, обнаружили, что при облучении ультразвуком раковых и здоровых клеток с внедренными в них наночастицами золота количество погибших раковых клеток значительно больше, чем погибших здоровых ($(50.6 \pm 15.1) \%$ раковых к $(7.4 \pm 2.9) \%$ здоровых). Такой метод лечения является более безопасным по сравнению со всеми существующими методами, так как оказывает минимальное воздействие на здоровые клетки. Однако, эти впечатляющие результаты были получены эмпирическим путем, строгой математической модели, которая обосновывала бы данное явление, пока не существует. Соответственно, невозможно говорить о разработке лекарства на основе данного метода, который не подтвержден теоретическими изысканиями.

Известно, что одним из отличий раковой клетки от здоровой является её поверхность: она характеризуется увеличением складчатости, появлением микровыростов, пузырьков и микроворсинок. На основании этого факта в работе рассматриваются модели клетки с гладкой и негладкой границами с внедренными наночастицами и исследуется поведение акустической волны вблизи этих границ. Численное моделирование такой клетки было проведено в работе Меликова и Попова «Model of cell membrane in ultrasonic field», Chinese Journal of Physics - 2020, и подтвердило экспериментальные результаты.

Основная часть. Основная цель работы - доказать с помощью методов математической физики, что при взаимодействии ультразвука с клеткой с внедренными в неё наночастицами раковые клетки уничтожаются эффективнее, чем здоровые. Таким образом, необходимо узнать, как взаимодействуют акустические волны и клетки с внедренными наночастицами. Модель: в первом приближении рассматриваем модель раковой клетки как клетки с негладкой границей, модель здоровой клетки как клетки с гладкой границей. В данной работе исследуется распространение акустической волны вблизи границ клеток, то есть поведение решения задачи с потенциалом, сосредоточенным на поверхности, в зависимости от гладкости границы. Наночастицы здесь выступают в роли источников вторичных волн

внутри клетки, что можно представить как точечные источники, расположенные вдоль границы.

Решения задачи для различных конфигураций гладких границ исследованы и известны, в отличие от решений для негладких границ. Используя теорию потенциалов, можно показать, что функция Грина поставленной задачи зависит от кривизны границы. Кроме того, используя теорию рассеяния, можно рассмотреть задачу рассеяния акустических волн и исследовать резонансы (в рамках подхода Лакса-Филлипса), то есть, нули матрицы рассеяния, и показать, что для границы с большей кривизной резонансы имеют меньшую по модулю мнимую часть, что означает, что такие состояния являются долгоживущими.

Выводы. После успешных теоретических исследований, создания более детальной модели клетки (например, рассмотреть мембрану (границу клетки) как вязкую пластину), эффективность рассматриваемого метода лечения раковых опухолей будет обоснована и экспериментально, и теоретически. Таким образом, можно продолжать более глубокие исследования, уже совместно с экспериментальными лабораториями и, возможно, говорить о разработке нового эффективного и безопасного метода лечения раковых опухолей.

Юрова Т.С. (автор)

Подпись

Попов И.Ю. (научный руководитель)

Подпись