

и устремляем $n \rightarrow \infty$. В результате находим простое уравнение для величины, определяющей возможные радиусы сходимости:

$$R = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{C_n}{C_{n-1}} = R, \quad R + R^2 = 0 \Rightarrow R_{conv} = \frac{1}{|R|} = 1, \infty.$$

Напоминаем, что полная функция строится в виде

$$\bar{G}(r) = r^c (r-1)^a e^{br} g(r) \Rightarrow \bar{G}(x) = (1+x)^c x^a e^{b(1+x)} g(x);$$

$$c = 0, 2; \quad a = -i\varepsilon, +i\varepsilon; \quad b = -i\varepsilon, +i\varepsilon; \quad x \in (0, +\infty).$$

Ниже перечислены 8 вариантов (они разбиты в пары комплексно сопряженных, и значит, линейно независимых решений):

$$\begin{aligned} c = 0, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_1 &= x^{+i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_1(x), \\ c = 0, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_1^* &= x^{-i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_1^*(x); \\ c = 0, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_2 &= x^{+i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_2(x), \\ c = 0, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_2^* &= x^{-i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_2^*(x); \\ c = 2, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_3 &= (1+x)^2 x^{+i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_3(x), \\ c = 2, \quad a = +i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_4 &= (1+x)^2 x^{+i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_4(x); \\ c = 2, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = +i\varepsilon, \quad \bar{G}_4^* &= (1+x)^2 x^{-i\varepsilon} e^{+i\varepsilon(1+x)} g_4^*(x), \\ c = 2, \quad a = -i\varepsilon, \quad b = -i\varepsilon, \quad \bar{G}_3^* &= (1+x)^2 x^{-i\varepsilon} e^{-i\varepsilon(1+x)} g_3^*(x). \end{aligned}$$

Литература

1. Редьков, В.М. Тетрадный формализм, сферическая симметрия и базис Шредингера / В.М. Редьков. – Белорусская наука: Минск, 2011. – 339 с.

Е. В. Каленчак (БГУИР, Минск)

Науч. рук. **А. В. Чураков**, канд. мед. наук, доцент

ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ МАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА ЛЕКАРСТВ

Цель технологии таргентной доставки лекарств через сеть сосудов различного диаметра обеспечить в месте поражения необходимую концентрацию препарата, связанного с магнитными наночастицами, которыми управляют при помощи внешних магнитных полей.

Магнитные наночастицы отлично подходят для различных применений благодаря следующим особенностям: они являются нетоксичными и хорошо воспринимаются живыми организмами; могут быть

требуемого размерах; возможно воздействовать магнитными полями для адресной доставки.

Далее рассмотрим, какие именно силы воздействуют на частицу в кровеносном русле.

Наиболее детально действие магнитных полей при моделировании транспорта рассматривают и описывают в своих исследованиях Furlani E. J. и Furlani E. P.

Для возможности прогнозирования магнитной силы требуется создать модель магнитного поведения частицы носителя [1]. Для этого предполагаем, что в частицу носителя встроено N -ое количество одинаковых невзаимодействующих магнитных наночастиц. Каждая из этих частиц магнитная частица имеет радиус и объем. Для возможности предсказать силу, действующую на магнитную частицу, частицу заменяют «эквивалентным» точечным диполем, который расположен в ее центре [2]. Таким образом, сила зависит от величины магнитного поля в месте расположения диполя. Также важно магнитное поле магнита, которое будет зависеть, в том числе и от формы магнита. Достаточно подробно этот момент рассматривается в работе [3].

Для упрощенного описания силы, с которой кровь действует на магнитные частицы, считают, что сосуд имеет цилиндрическую форму, в котором наблюдается ламинарный поток, параллельный оси. Для более точных расчетов требуется также учитывать диаметр сосуда, его проницаемость, а также форму и пористость частицы-носителя.

Важно отметить, что в небольших сосудах, чей диаметр составляет менее 500 мкм, кажущаяся вязкость крови значительно уменьшается. Это эффект продолжают наблюдать до диаметра приблизительно 10 мкм. Это явление принято называть эффектом Фарсеуса-Линдквиста в честь первооткрывателей. Уменьшение кажущейся вязкости крови происходит главным образом из-за вращения и смещения деформируемых клеток (в основном красных кровяных клеток) в направлении оси трубки, так что возле стенки образуется обедненная клетками область (в основном, плазма). Влияние обедненной клетками области не оказывает существенного влияния на кажущуюся вязкость крови для крупных сосудов ($d > 500$ мкм), поскольку ширина обедненной клетками слоя намного меньше диаметра сосуда. Это оказывает свое влияние и на транспорт частиц.

Так как для доставки используют наночастицы, требуется также учитывать и силу Саффмана, действующие на небольшие частицы в области сдвига. Подъемная сила Саффмана, представляет собой подь-

емную силу, появляющаяся из-за эффекта инерции в вязком потоке вокруг частицы, и перпендикулярную направлению потока.

При моделировании движения частиц в сосудах с достаточно большим диаметром требуется учитывать силу инерции. В данных условиях умножения массы несущей частицы и ускорение частиц носителя (который совпадает с ускорением кровотока в сосуде) не является пренебрежимо малым, и это дает значительное влияние на магнитное нацеливание препарата.

Важно понимать, что не всегда магнитная фиксация и доставка лекарств будут иметь 100% успех, поэтому некоторые частицы будут теряться на протяжении всего пути от места инъекции к целевому органу. На сегодняшний день проблема заключается в увеличении числа частиц, достигающих цели, а также сделать их придерживаться в течение длительного времени.

Литература

1. Furlani, E.J. A model for predicting magnetic targeting of multifunctional particles in the microvasculature [Текст] / E.J. Furlani, E.P. Furlani // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2007. – Vol. 312, iss. 1. – P. 187-193.
2. Furlani, E.P. Analytical model of magnetic nanoparticle transport and capture in the microvasculature [Текст] / E.P. Furlani, K. C. Ng // Physical Review. – 2006. – Vol. 73, iss. 6. – P. 1-10 – 061919.
3. Shaw, S. Mathematical Model on Magnetic Drug Targeting in Microvessel [Текст] / S. Shaw // IntechOpen / Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – Vol. 5 – P. 1-27.

В. А. Климович (ГГТУ имени П.О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **И. А. Концевой**, ст. преподаватель

ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-НЕОДНОРОДНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

В настоящей работе рассматриваются закономерности формирования температурных полей в однокомпонентной теплофизической системе с объемным источником энергии. В динамической теории неравновесных состояний вещества эти задачи важны [1]. Цель рабо-