

УДК 532.5.54.03

DOI: 10.17223/00213411/64/3/40

Н.Н. НАЗАРЕНКО, А.Г. КНЯЗЕВА

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ НА ФИЛЬТРАЦИЮ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ДВУХСЛОЙНУЮ СТЕНКУ КАПИЛЛЯРА *

На основе предложенной новой модели фильтрации изучены особенности распределения концентрации компонента, переносимого двухкомпонентной биологической жидкостью, и скорости жидкости в капилляре с двухслойными пористыми стенками в стационарном режиме. Математическая модель учитывает такие важные явления, как концентрационное расширение и зависимость вязкости от концентрации. Течение жидкости соответствует модели Бринкмана. Выделены безразмерные комплексы, связывающие между собой характерные физические масштабы разных явлений. Проанализировано влияние параметров модели на процесс фильтрации биологической жидкости для слоев стенки капилляра с разной пористостью. Выявлены особенности режима течения и распределения концентрации компонента для разных характеристик внутреннего пористого слоя (пористости, подвижности фаз, размера).

Ключевые слова: фильтрация, диффузия, пористость, капилляр.

Введение

Проблема течения жидкостей в пористых средах имеет отношение ко многим природным и промышленным системам, таким, как сушка пищевых продуктов, синтез строительных материалов, химическая технология, создание различных лекарственных форм и теплозащитных материалов. С течением в нанопорах неразрывно связано высвобождение инкапсулированных лекарственных средств [1, 2]. Течению жидкостей сопутствуют адсорбция компонентов на поверхностях пор; химические реакции, зависящие от свойств каталитических поверхностей, различных продуктов; проникание влаги в строительные материалы, порошки, таблетки, биомедицинские материалы, что приводит к изменению функциональных свойств материалов; закупорка пор, разрушение, связанное с избыточным давлением в порах и т.д. Пористые структуры отличаются большим разнообразием как в искусственных, так и в естественных материалах и живых системах. Фильтрация биожидкостей присутствует почти во всем организме человека. Имеется достаточно много работ, посвященных течению крови и других биологических жидкостей в капиллярах. Например, в [3, 4] предложена двухфазная модель течения крови в капиллярах, в [5] изучается влияние геометрии и строения капилляра на течение жидкости, авторы работы [6] анализируют роль патологического искривления капилляра в характере течения; работа [7] посвящена исследованию динамики транспорта кислорода в капиллярах.

В работах, посвященных переносу жидкости в пористых биологических материалах, в том числе течению крови в артериях и капиллярах, подчеркивается, что обмен веществ через капиллярную стенку регулируется фильтрацией, диффузией и абсорбцией. Эти процессы неразрывно связаны с разницей гидростатического давления крови в капилляре. На транспорт крови оказывает сильное влияние структура капиллярной стенки [5].

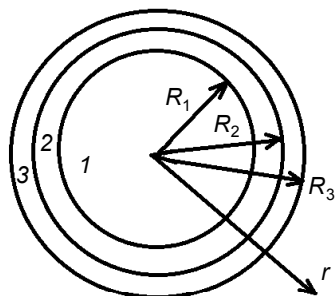


Рис. 1. Схема поперечного сечения капилляра: 1 – макропора, пористые слои: 2 – эндотелиальные клетки (эндотелий), 3 – базальная мембрана

Изменения свойств стенки играют важную роль в возникновении и развитии ряда серьезных заболеваний. Так, повышенная проницаемость капилляра, развивающаяся при диабете и отеке сердца, ведет к развитию остеоартрита. Стенки капилляров, являющихся частью сердечно-сосудистой системы, состоят из двух слоев: базальной мембраны и эндотелиальных клеток (рис. 1). Эндотелий – это однослойный пласт клеток, выстилающих внутреннюю поверхность кровеносных сосудов. Базальная мембрана – тонкий бесклеточный слой, отделяющий соединительную ткань от эпителия или эндотелия. В зависимости от местоположения капилляры подразделяются на три ти-

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0007.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>