

УДК 532.135+533.583.2:615

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИМФЫ И КРОВИ В ПРОЦЕДУРАХ ДЕТОКСИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ НАНОСОРБЕНТОВ

© 2011 г. *Н.А. Семёнов¹, В.И. Карандин², А.Г. Рожков², А.Д. Шалашилин¹,
А.Н. Данилин¹, С.М. Никитин¹*

¹Институт прикладной механики РАН, Москва

²3-й Центральный военный клинический госпиталь им. А.А. Вишневого, Красноярск

iam@ipsun.ras.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Предлагаются новые подходы к аттестации структурных и реологических свойств лимфы и крови (в норме и патологии) и методы коррекции их состава с использованием наноразмерных магнитоуправляемых адсорбентов. Предлагаются новые технологии химического синтеза магниточувствительных частиц-носителей – наночастиц, нанотрубок и их комбинаций в качестве адсорбентов метаболитов и токсинов, а также технологии придания поверхности нанообъектов селективных сорбционных свойств. Функциональность сорбентов демонстрируется на примерах элиминации липопротеинов различной плотности из лимфы и крови человека.

Ключевые слова: лимфа, кровь, структурно-реологические свойства, экстракорпоральная детоксикация, избирательная сорбция, липопротеины, атеросклероз, наносорбенты.

Эффективность очищения внутренней биологической среды организма от «биологического мусора», накапливаемого при нарушениях жирового (липидного) обмена, определяет успех лечения такой социально значимой болезни, как атеросклероз. В настоящее время эффективных способов очищения внутренней биологической среды, согласно литературным данным, не существует. Ключевым фактором в решении этой проблемы является проведение комплексных биохимических, медицинских и физико-механических исследований, например изучение путей перемещения атерогенных липидных комплексов, накопления их в тканях организма и условий взаимоотношения с белками у больных с атерогенными дислипидемиями; изучение дренирующей и детоксицирующей функции лимфатической системы, а также возможностей их усиления при использовании различных лимфогенных методов. Важен анализ токсических свойств выделяемой лимфы при лечении различных форм дислипидемий, возможностей очищения лимфы и крови от биологических патогенов, в том числе с использованием современных нанотехнологических методов.

Основная цель настоящего исследования – разработка методов экспериментальной аттестации структурных и реологических свойств лимфы и крови (в норме и патологии) и методов кор-

рекции их состава с применением наноразмерных магнитоуправляемых адсорбентов.

Авторами предложена комплексная методика аттестации свойств лимфы и крови с применением современной экспериментальной техники. Распределения по плотности и размерам липидных фракций строились с использованием аналитической центрифуги CPS (США), а также лазерного анализатора Zetatrac (США). Последний прибор использовался также для определения зета-потенциала липидно-белковых комплексов с целью анализа стабильности биологических жидкостей. Для оценки реодинамических параметров лимфы и крови в статическом и динамическом режимах испытаний применялся реовискозиметр RheoStress-150 (Германия). В качестве примера на рис. 1 показано изменение неньютоновской вязкости лимфы в зависимости от скорости сдвига в рабочем зазоре между цилиндрами реовискозиметра. Образцы 1 и 1' соответствуют одному человеку, образцы 2 и 2' – другому человеку до и после их излечения лимфогенными методами.

Следующая важная задача – разработка технологий химического синтеза магниточувствительных носителей нового поколения – наночастиц, нанотрубок и их комбинаций в качестве адсорбентов липидов. Разработана технология придания поверхности нанообъектов селективных сорбционных свойств. В ходе исследования были

также разработаны методы аттестации свойств получаемых нанообъектов; начаты исследования по тестированию их функциональности в процедурах элиминации различных фракций липопротеинов (ЛПНП, ЛПОНП, м-ЛП – липопротеинов низкой, очень низкой плотности и модифицированных).

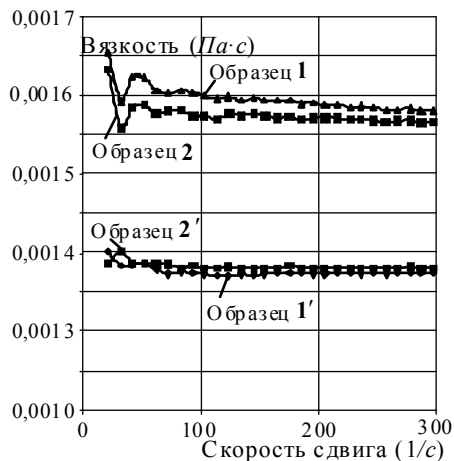


Рис. 1

Авторами разработаны оригинальные методы синтеза нано- и микроразмерных частиц такого магнитовосприимчивого материала, как магнетит, а также способы и приемы модификации их поверхности функциональными покрытиями с целью придания сорбционной селективности для дальнейшего использования в качестве адсорбента в устройствах экстракорпоральной детоксикации биологических сред организма [1, 2].

Частицы магнетита были получены по авторской технологии путем окисления сульфата железа с помощью нитрата калия. Обнаружена зависимость получаемых наночастиц среднего размера от ряда параметров проводимой реакции. Аттестация размеров и полидисперсности получаемых частиц проводилась с помощью аналитической дисковой центрифуги CPS.

Технология модификации поверхности получаемых частиц с целью придания им избирательной сорбции базировалась на оригинальной методике нанесения нанооболочки с использованием бифункциональных соединений. Одна функциональная группа образует прочную связь с частицей магнетита, а вторая – с поверхностно-активными модифицирующими группами, придающими свойства селективности. Использовались квантово-механические методы компьютерного моделирования технологии синтеза и процессов модификации поверхности магнитных частиц, позволяющие прогнозировать и оптимизировать структурные, энергетические и механические

свойства модифицированных магнитных частиц [3]. Это позволило значительно сократить число натуральных экспериментов. Анализ вычислительных данных, полученных для нанокластеров «магнитная частица–модификатор поверхности–токсин» большого числа различных структур, позволил оценить параметры сорбции токсинов на конкретных сорбентах, провести экстраполяцию данных на макроскопические системы и дать рекомендации по подбору модифицирующих агентов для создания сорбентов с прогнозируемыми и улучшенными свойствами. Предложенный подход позволяет естественным образом в рамках прямого вычислительного эксперимента рассмотреть зависимость сорбционных свойств модифицированных магнитных частиц от физико-химических свойств их поверхностно-активных групп.

Предложен метод магнитоуправляемой сорбции для детоксикации лимфы и крови [4, 5] с использованием магнитоуправляемых сорбентов (МУС), а также разработаны и изготовлены устройства для реализации этого метода. Метод заключается во введении МУС в очищаемую среду с целью поглощения (адсорбции) вредных примесей. Сепарация отработанных частиц и выведение их вместе с вредными примесями из русла биожидкости осуществляется с помощью специально создаваемого в устройствах детоксикации магнитного поля. Эффективность действия таких сорбентов определяется нано- и микроструктурой суспензии МУС: размер гранул может варьироваться в диапазоне от 30–60 нм до нескольких микрон. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что полученные по указанной технологии новые наноразмерные модифицированные МУС обладают высокой сорбционной емкостью и обеспечивают большую скорость сорбции необходимых соединений из биожидкости пациентов.

В работе принимали также участие Е.А. Никитина и Ю.Г. Яновский.

Список литературы

1. Яновский Ю.Г. и др. Сравнительные исследования сорбционной эффективности и структуры поверхности нано- и микроразмерных магнитоуправляемых частиц для их использования в медицине и биологии // Технологии живых систем. 2007. Т. 4, №5–6. С. 73–84.
2. Загребин Л.В. Метод очистки крови от вирусной инфекции путем сорбции на магнитоуправляемых наночастицах // Технологии живых систем. 2008. Т. 5, №2–3. С. 111–118.
3. Яновский Ю.Г., Никитина Е.А. Программный компонент NDDO/sp-spd высокоточных полуэмпирических расчетов в SP- и SPD-базисах, включающий в себя набор программ для получения структурных, элек-

тронных, энергетических, деформационных и спектроскопических характеристик атомно-молекулярных систем до 1000 атомов: Свид. о гос. рег. программы для ЭВМ № 209614949. 2009 г.

4. Яновский Ю.Г., Данилин А.Н., Захаров А.П., Жогин В.А. Опыт-но-конструкторские разработки портативного устройства для экстракорпоральной очистки биологических сред организма от токсинов и вирусов с использованием магниточувствительных нано- и

микрочастиц // Альманах клинической медицины. Т. XVII. Ч. 2. Медицинская физика и инновации в медицине: III Троицкая конф. М., 2008. С. 293–296.

5. Yanovsky Yu.G., Komissarova L.Kh., Danilin A.N., Zaraysky E.I. Comparative investigations of structure and absorptive capacity of nano- and microsized magnetic-operated particles for their application in medicine and biology // Solid State Phenomena. 2009. V. 152–153: Magnetism and Magnetic Materials. P. 403–406.

STRUCTURAL-RHEOLOGICAL STUDY OF LYMPH AND BLOOD PROPERTIES IN THE DETOXICATION PROCEDURES USING MAGNETIC NANOSORBENTS

N.A. Semenov, V.I. Karandin, A.G. Rozhkov, A.D. Shalashilin, A.N. Danilin, S.M. Nikitin

Some new approaches to the assessment of structural and rheological properties of lymph and blood (in normal and pathological) are introduced, as well as the correction methods of their structures using nanosized magnetically adsorbents. New technologies of the chemical synthesis of magnetic carriers – nanosized particles, carbon nanotubes and their combinations as adsorbents of metabolites and toxins are suggested, as well as technologies of surface modification for selective adsorption. The functionality of the sorbents is demonstrated using the examples of the elimination of lipoproteins of various densities from lymph and blood.

Keywords: lymph, blood, structural and rheological properties, extra corporal detoxication, selective sorption, lipoproteins, atherosclerosis, nanosorbents.