

Исследование оседания эритроцитов в однородном и неоднородном поле сил:  
эксперименты и трехфазная модель суспензии агрегирующих частиц

Кизилова Н.Н., Черевко В.А.

Харьковский национальный университет, Украина

Исследование оседания эритроцитов крови в тонкой длинной трубке и скорости оседания (СОЭ), измеряемой по высоте  $h$  столбика чистой плазмы в верхней части трубки через час после начала оседания широко используются в клинике как чувствительный неспецифический диагностический тест. Стандартами разных стран предусмотрено проводить этот тест в трубках различной длины (10-30 см) и разного диаметра (1-3 мм), с использованием артериальной или венозной крови (тесты Westergren, Wintrobe и их модификации). На кривой оседания  $h(t)$  можно выделить в общем случае 3 фазы, характеризующиеся различным ускорением и замедлением процесса. Микроскопические исследования показали, что этим фазам соответствуют различные стадии образования эритроцитарных агрегатов: начальная агрегация, уплотнение с уменьшением доли захваченной плазмы крови и образование пористого остова агрегатов, сквозь который отфильтровывается захваченная плазма.

В предыдущих работах авторами были обоснованы методики проведения теста в специально сконструированной центрифуге и гравитационного оседания в микрокапиллярах (длина 5 см, диаметр 0.5мм). Центрифуга позволяет добиться существенного ускорения теста и автоматической регистрации седиментационных кривых с их последующим компьютерным анализом. Микрокапилляры позволяют проводить тест, используя малые порции крови. Серия экспериментов проведена на базе лаборатории аллергологии Харьковского института дерматологии. Проба венозной крови пациента с добавленным в стандартной пропорции цитратом натрия разделялась на равные порции. Одна из порций использовалась для контроля, а в остальные добавлялись аллергены или разведенные порции лекарственных веществ, на которые у пациента предполагалась аллергия. После перемешивания все пробы набирались в трубки, по 3 капилляра Панченкова и по 3 микрокапилляра на каждую из порций. Затем проводились измерения величин  $h$  в каждой из трубок с промежутком 10 мин в течение 3 ч. По полученным точкам строились седиментационные кривые. Статистический анализ показал, что при различных часовых показателях и значениях  $h(t=3ч)$  динамика кривых  $h(t)$  и выраженность трех фаз оседания имеет определенные сходства во всех трубках с одной и той же порцией крови. При наличии аллергии происходит ускорение (реже – замедление) оседания. Стабильной характеристикой оседания является время достижения первого максимума скорости, который хорошо виден на дифференциальных кривых  $h'(t)$ . В некоторых случаях граница раздела зон чистая плазма-кровь является четкой, а в некоторых достаточно размыта. Наличие размытой границы и ее протяженность могут служить дополнительным диагностическим показателем. Аналогичные эксперименты с добавлением аллергенов проводились для капилляров Панченкова в центрифуге (частота вращения  $600 \text{ мин}^{-1}$ ).

Для численных оценок агрегационной способности эритроцитов использовалась модель крови как трехфазной суспензии агрегирующих частиц, учитывающая захват свободной плазмы в агрегатах и массообмен. В одномерной постановке задача сводится к гиперболической системе для массовой концентрации частиц и агрегатов и среднего объема агрегатов. Методом характеристик проведены численные расчеты. При вариации параметров задачи в диапазоне физиологических значений крови в норме и при заболеваниях рассчитаны характеристики, разделяющие зоны чистой плазмы, зоны оседающих агрегатов, которая и определяет размытость границы раздела, зоны уплотняющихся агрегатов и компактной зоны. Показано, что возможны два типа динамического поведения. Проведены оценки скорости агрегации по параметрам измеренных седиментационных кривых.