

УДК 535.379

А.А.Павлов (6 курс, каф. ПФОТТ), Е.Б.Шадрин, д.ф.-м.н., проф.

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ КРОВИ В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

В настоящее время все большее внимание исследователей привлекает изучение биологических объектов. Одним из таких объектов является кровь и ее компоненты. В клинических исследованиях уже давно используется такой диагностический показатель как скорость оседания эритроцитов (СОЭ) в поле силы тяжести, но до сих пор остается открытым вопрос о физической сущности наблюдаемого процесса, а также до конца не ясны факторы, влияющие на СОЭ крови.

Идея об определении четкого взаимно-однозначного соответствия между временной зависимостью скорости оседания эритроцитов (СОЭ) и физиологическим состоянием человека не нова, однако осуществить ее на практике на сегодняшний день не удалось по ряду причин.

Во-первых, при постановке эксперимента по исследованию СОЭ не учитывается множество внешних факторов (таких как давление, температура и влажность окружающего воздуха, спектральный состав и интенсивность внешнего освещения, наличие вибраций и др.), которые могут сильно влиять на результаты опыта.

Во-вторых, задача восстановления истинной временной зависимости СОЭ относится к классу обратных и некорректных задач экспериментальной физики. Следовательно, при обработке данных надо применять методы, разработанные для указанного класса задач.

В данной работе на основании серии предварительных экспериментов предлагается физическая модель СОЭ, призванная учесть эти факторы и дать им физическое объяснение. Основные положения предлагаемой модели следующие:

- в плазме крови оседают не только отдельные эритроциты, но также и эритроцитарные агрегаты (ЭА) (сформированные из «монетных столбиков» - цепочек регулярно расположенных эритроцитных дисков);
- имеет место разброс поперечных размеров ЭА, причем распределение по размерам носит максвелловский характер;
- мгновенная скорость оседания эритроцитов непостоянна во времени, что подтверждается проведенными предварительными исследованиями и, согласно формуле Стокса ( $V=2(\rho_{\text{эа}}-\rho_{\text{пл}})r^2g/(9\eta_{\text{пл}})$ ), говорит о непостоянстве поперечника ЭА даже в предположении постоянства вязкости плазмы крови;
- удержание внутри ЭА эритроцитов, несущих на себе, как известно, электрический заряд, происходит благодаря силам типа поляронных, ввиду того, что плазма крови, в которую погружены ЭА, представляет собой совокупность ионов противоположного знака с  $\text{pH}=7,4$ ;
- размер ЭА зависит от величины заряда эритроцитов, который может меняться в процессе седиментации в результате его стекания на стенки капилляра благодаря действию различных внешних факторов.

Применимость модели определяется, по нашему мнению, следующим.

Зарядовое состояние ЭА подвержено действию таких физических факторов, как влажность и давление воздуха в помещении, его газовый состав, чистота стенок капилляра, химический состав адсорбированных стенками примесей, материал стенок.

Немаловажное значение имеет различие коэффициентов поверхностного натяжения плазмы, не содержащей эритроцитов, и вязкой эритроцитарной массы, что определяет

интенсивность пристеночных процессов, таких как трение оседающей крови о стенки и пристеночное стекание заряда.

Предлагаемая модель предсказывает также возможность влияния на СОЭ флотационного фактора, который состоит в окружении каждого ЭА микропузырьками газа, возникшими в результате электролиза при стоке заряда, что в свою очередь влияет на скорость оседания ЭА. Образование пузырьков сказывается и на проводимости границы ЭА – плазма и меняет тем самым скорость стекания заряда.

Таким образом, в данной модели мы имеем разветвленную сеть взаимовлияющих факторов, образующих в толще оседающей эритроцитарной массы, сеть положительных обратных связей, сильно усложняющих картину процесса седиментации.

Влияние на СОЭ присутствия буферных растворов естественным образом объясняется в предлагаемой модели, поскольку известно, что такой раствор меняет рН крови. Это приводит к изменению степени квазиполярного взаимодействия и, соответственно, степени агрегации эритроцитов; это приводит к изменению скорости стока заряда, что в свою очередь влияет на СОЭ.

Весьма интересно поведение формы границы, отделяющей оседающую эритроцитарную массу от находящейся над ней прозрачной плазмы. Эта граница имеет форму мениска, расположенного выпуклостью вверх.

При постановке опыта по измерению СОЭ с цельной кровью, в которую добавлены лишь противосвертывающие препараты, изогнутость мениска очень невелика. Однако хорошо известно, что по прошествии некоторого времени после извлечения крови из организма рН плазмы, то есть концентрация ионов в ней, изменяется, что вносит неконтролируемые изменения в результаты эксперимента по СОЭ.

Поэтому по истечении времени, затраченного на транспортировку крови из больницы в лабораторию, требуется восстановление исходного значения рН, что достигается добавлением упомянутых выше специальных буферных растворов.

В применявшейся нами методике кровь разбавлялась фосфатным буферным раствором в соотношении 1:1, и при этом при оседании крови граница сильно размывалась и приобретала форму параболоида.

Действие буферного раствора можно легко объяснить в рамках предложенной модели: добавление буфера восстанавливает значение рН плазмы крови до исходного, и, следовательно, изменяет ее зарядовое состояние, от которого зависит квазиполярное взаимодействие эритроцитов, причем наиболее эффективно это происходит на оси капилляра вдали от его стенок, где велика скорость стока заряда. Изменение зарядового состояния плазмы приводит к раскалыванию части ЭА, осколки которых оседают гораздо медленнее остальных. Это наблюдается на опыте в виде возможности зарегистрировать различие в плотности эритроцитарной массы в мениске-параболоиде и ниже его основания, т.е. в оседающей эритроцитарной массе присутствует как вертикальный, так и радиальный градиенты плотности. Фактически мы имеем уже две границы: линию поверхности параболоида и его основание.

Таким образом, становится очевидным необходимость детального исследования поведения мениска в процессе оседания. Очевидно также, что в рамках нашей модели находит свое объяснение зависимость СОЭ от времени задержки между забором и началом опыта.

Итак, на основании наших экспериментов, позволивших предложить предварительную модель СОЭ, можно сделать следующие выводы.

На исследовательском этапе необходимы:

- детальный анализ всех звеньев цепочки постановки эксперимента: «забор крови – транспортировка – введение крови в рабочий капилляр»;
- постановка серии контрольных и уточняющих экспериментов для выявления чувствительности крови к воздействию различных внешних факторов;

- поиск детальных корреляций между параметрами, характеризующими состояние больного, полученными другими методами диагностики, и параметрами СОЭ.

На этапе внедрения результатов исследований в клиническую практику необходимы:

- более четкая стандартизация процесса клинических исследований СОЭ;
- проведение детальных исследований временной зависимости СОЭ для каждого больного в отдельности в условиях клинических лабораторий, для чего необходимо создание комплекса измерительной аппаратуры.
- исключение из лабораторной практики факторов, порождающих разброс результатов исследования СОЭ и снижающих эффективность диагностики.