

© Д.А.Селивановский, О.В.Костина, 2004.
УДК 532.5+532.135+577.3+611.08+612.115.2

Д.А.Селивановский*, О.В.Костина**

ОСЕДАНИЕ ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ КОМПРЕССИИ И ДЕКОМПРЕССИИ

**Институт прикладной физики РАН*

*** Государственное Учреждение «Нижегородский Научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Н.Новгород, Россия*

Аннотация. В пользу присутствия газовых полостей в эритроцитах говорят следующие наблюдения (по опытам *in vitro* со свежезаготовленной кровью 80-ти условно здоровых людей): 1) необратимое увеличение СОЭ в ходе или после компрессии крови до (2,20) атм; 2) обратимое увеличение СОЭ при декомпрессии крови (до 0.8 атм): восстановление давления до нормального возвращает СОЭ к норме; 3) если в норме эритроциты оседают при ориентации их основной плоскостью сечения, в основном, горизонтально, то при компрессии или декомпрессии эта плоскость ориентирована, в основном, вертикально; 4) после или в ходе компрессии увеличивается плотность крови, гемолизируемая кровь не меняет плотности при компрессии. Также описываются последние акустические и гидродинамические опыты, подтверждающие возможность существования газовых полостей в эритроцитах.

Скорость оседания эритроцитов (СОЭ) – широко используемая характеристика состояния крови. В литературе отсутствуют упоминания о возможном воздействии на СОЭ компрессией или декомпрессией. В данной работе описаны опыты, при которых исследовалось влияние этих факторов на СОЭ.

Использовалась венозная кровь условно здоровых людей, а также суспензии этой крови при ее разведении физиологическим раствором. При измерениях каждый образец крови разделялся на три части: одна оставалась при нормальном давлении (контроль), вторая находилась под избыточным давлением сжатого газа (гелия или кислорода), третья подвергалась разрежению. Измерения выявили эффект значительного увеличения СОЭ и при компрессии, и при декомпрессии. Измерялось отношение толщины надосадочного слоя при компрессии или декомпрессии к толщине надосадочного слоя в контроле ($СОЭ_{\text{компр/декомпр}} / СОЭ_{\text{контроль}}$). Эти отношения в ходе оседания крови имели значения заметно превышающие единицу. Например, спустя 25 – 40 минут после начала оседания эритроцитов толщина надосадочного слоя при компрессии или декомпрессии превышала толщину надосадочного слоя в контроле в 2.5-4 раза. Результаты многочисленных измерений (всего проведено около 100 опытов с разными образцами крови) позволили выявить общие особенности характеристик величины $СОЭ_{\text{компр/декомпр}} / СОЭ_{\text{контроль}}$.

Характеристики $СОЭ_{\text{компр/декомпр}} / СОЭ_{\text{контроль}}$ подобны и в случаях измерений СОЭ цельной крови, и при наблюдениях суспензий крови.

Эффект увеличения СОЭ необратим после компрессии и обратим после декомпрессии.

Эффект слабо зависит от уровней компрессии (в диапазоне избыточных давлений +(2-20) атм) или от степени разрежения (от 0.5 до 0.8 атм).

Выяснено также, что увеличение ригидности стенки эритроцитов с помощью глутарового альдегида не изменяет эффекта увеличения СОЭ.

В других опытах наблюдался процесс оседания эритроцитов в суспензии крови под микроскопом с горизонтально расположенной осью зрения. Было обнаружено, что в контрольном образце (как наблюдалось и ранее А.Л.Чижевским) эритроциты опускаются, в основном, с горизонтально ориентированной главной плоскостью сечения. После компрессии или когда наблюдалось оседание эритроцитов в условиях декомпрессии эта плоскость эритроцитов оказывалась ориентированной, в основном, вертикально.

В третьем типе опытов выяснялся вопрос о влиянии компрессии на плотность эритроцитов. Для этого уравнивали каплю цельной крови в подобранной по плотности иммерсирующей жидкости. После компрессии плотность крови увеличивалась, и капля крови начинала погружаться. В гемолизированной крови такого эффекта не наблюдалось.

Исследования объемов эритроцитов, электрофоретической подвижности белков плазмы, вязкости крови и плазмы до и после компрессии/декомпрессии не выявили значительных различий по сравнению с контрольными пробами. В то же время было выявлено увеличение скорости агрегации эритроцитов.

Известные свойства эритроцитов не позволяют объяснить столь значительное влияние компрессии и декомпрессии на характеристики СОЭ. Совокупность описанных эффектов находит объясне-

ние, если предположить существование связанных с эритроцитами газовых микрополостей. До настоящего времени идея о газовых полостях в клетках крови не обсуждалась, хотя некоторые косвенные свидетельства такой возможности имеются. Так, существованием газовых полостей в эритроцитах можно объяснить частотные неравномерности акустических характеристик крови (скорости звука, объемного рассеяния) и особенности поведения эритроцитов в сдвиговых течениях. Эти возможные газовые полости в эритроцитах, скорее всего, имеют свободную границу с жидкостью. Возможно, что их строение подобно газовым полостям в одноклеточных водорослях. Объем газа, связанного с каждым эритроцитом, подобно тому, как это устроено в клетках фитопланктона, существует, скорее всего, как кластер мелких пустот. При этом минимизируются энергетические затраты на поддержание объемов таких полостей.

Газовые полости, если они расположены несимметрично относительно центра массы эритроцита, растворяясь при компрессии или увеличиваясь при разрежении, будут изменять балансировку тела эритроцита при оседании. В результате ориентация клеток меняется на вертикальную, что увели-

чивает скорость их седиментации. При ламинарном обтекании (оседание эритроцитов происходит при весьма малых числах Рейнольдса $Re < 10^4$) сопротивление тонкой пластины конечных размеров при изменении ориентации ее плоскости от поперечной к параллельной по отношению к потоку увеличивается в 1,5 раза, что по порядку величины близко к наблюдаемому эффекту.

Оценка возможного объема газовых полостей в эритроцитах, сделанная по величине изменения плотности крови после компрессии, дает величину порядка процента от объема тела эритроцита.

Возможность существования газовых полостей в эритроцитах может быть косвенно подтверждена, если будут обнаружены неоднородности плотности в главной плоскости сечения тел эритроцитов. Присутствие таких полостей может существенно изменить интерпретацию тургорных процессов в эритроцитах. Обнаруженные эффекты могут найти применение в медицинской диагностике и лечении, например, методом гипербарической оксигенации. Возникает необходимость исследования возможности присутствия газовых полостей и во всех других клетках крови и тканей организма.

D.A.Selivanovsky¹, O.V.Kostina²

**ERYTHROCYTE SEDIMENTATION RATE AT
COMPRESSION AND DECOMPRESSION**

¹*Institute of Applied Physics, RAS*

²*Research Institute for Traumatology and Orthopedy
Nizhny Novgorod, Russia*

In vitro experiments on fresh blood of eighty presumably healthy people point to a possible existence in the erythrocytes of gas cavities. This conclusion is supported by the following observations: 1) the ESR increases irreversibly during or after blood compression up to (2,20) atm; 2) the ESR increases reversibly under blood decompression up to 0.8 atm; the ESR returns to the norm when the pressure recovers to the norm; 3) the principal planes of section of normal erythrocyte sedimentation are oriented primarily horizontally, whereas under compression or decompression these planes are oriented primarily vertically; 4) the density of blood increases after or during compression, whereas laky blood does not change its density under compression. Recent acoustic and hydrodynamic experiments confirming possible existence of gas cavities in erythrocytes are described.

E-mail: dimus@appl.sci-nnov.ru