

Г. Г. ЯУРЕ

ОБ ОСОБОЙ ФОРМЕ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ (КРОВИ) В ЗДОРОВЫХ КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 6 I 1947)

Принято думать, что движение крови в сосудах позвоночных животных совершается по типу ламинарного движения жидкостей. В редких патологических условиях движение крови может приобрести и турбулентный характер. Но даже и в этих патологических условиях турбулентное движение существует как местное явление (как, например, в аневризмах), никогда не распространяясь на всю систему кровообращения.

Однако Гесс ⁽¹⁾ в своих вискозиметрических измерениях показал неприложимость закона Пуазейля к течению крови в капиллярах. Таким образом, сколько-нибудь законченной теории движения крови по капиллярам не существует. Прямое перенесение результатов опытных исследований со стеклянными капиллярами на движение крови в живых здоровых кровеносных сосудах приводит к ложным выводам, тем более, что истинные скорости движения в сосудах и давления в них определены весьма неточно. Пробный подсчет показывает, что мощность сердечных сокращений, которая может быть определена для состояния покоя организма, была бы совершенно недостаточна для движения крови в капиллярах, если бы условия движения были те же, что и в стеклянных трубочках.

Трудность разрешения вопроса усугубляется нестационарным характером кроводвижения. Если в венах движение крови и достигает относительной равномерности, то в артериях, артериолах и капиллярах равномерности движения нет. Даже в венах, благодаря передаче толчков пульса артерий, всегда располагающихся рядом с ними, ток крови только кажется равномерным, в действительности же и здесь кровь получает пульсовое ускорение ⁽²⁾. Так же как и скорость движения крови, давление внутри сосудов, а стало быть и градиент давления, является величиной переменной за время прохождения пульсовой волны. Наконец, сам диаметр капилляра изменяется с пульсом. Отсюда ясна неприложимость к движению крови в живых сосудах закона Пуазейля, исходящего из постоянства этих трех величин — скорости, давления жидкости и радиуса сосуда.

Какое же основание мы имеем для признания ламинарного движения в кровяном потоке внутри сосудов? И каков истинный характер движения в кровяном потоке?

Бингам ⁽³⁾ устанавливает особый вид течения по капиллярным трубкам грубых суспензий глин и красок, названный им „пластическим течением“, причем предполагается, что скольжение у стенки капилляра отсутствует. Полагая, что между пластическим телом и

стенкой сосуда имеется тонкий слой жидкости, он приводит к выводу, что объемная скорость течения должна увеличиваться на некоторую величину.

Соблазнительно было бы перенести такое понимание на процесс, который совершается при кровообращении. Однако непосредственное наблюдение над движением крови в мельчайших сосудах прозрачных перепонок животных показывает, что в действительности ограничительные условия не те, какие принимаются Бингамом и др. (4). Многочисленные наблюдения над движением крови в сосудах разного калибра плавательных перепонок, языка, брыжейки у лягушек, жаб и желтопуза приводят меня к другим выводам.

Необходимо, прежде всего, разграничить характер движения крови в сосудах не измененных, т. е. совершенно здоровых, и в сосудах, патологически измененных. Это две различные формы движения.

Наблюдая в микроскоп движение крови в неизмененных сосудах, мы видим вдоль стенок сосудов узкий прозрачный слой, отделяющий основную массу потока крови от соприкосновения с интимой сосудов. Толщина этого слоя достигает до 0,1 радиуса сосуда. В руководствах по физиологии этот слой именуется паузейлевым пространством. Он как шубой охватывает столб быстро несущихся кровяных телец и в нем мы не видим ни красных, ни белых клеток. Окутанный этой шубой, столб эритроцитов движется так, как будто кровяные тельца связаны между собою. Никакого различия в скоростях движения эритроцитов в центре столба и на его краю, на границе светлого слоя, не видно. Не видно и вращательных движений эритроцитов, которые неизбежно должны были бы возникнуть при слоистом распределении скоростей, и что было бы тем более заметно на эритроцитах эллиптической формы холоднокровных животных. Между тем, хотя эритроциты в движущемся столбе располагаются своими осями по разным направлениям — вдоль оси сосуда, вкось и даже поперечно — все же вращения не наступает. Можно заметить только наклонение осей эритроцитов на крутых изгибах извилистого хода капилляров. Все движение происходит с изумляющей глаз гладкостью. Вся масса столба движется одинаково с пульсаторными ускорениями, соответствующими каждой систоле сердца, и диастолическими замедлениями. В венах эти замедления и ускорения слабо заметны.

Такое движение крови мы можем назвать столбовым движением жидкости, отличающимся от пластического течения тем, что на границе стенка сосуда — прозрачный плазматический слой движение совершается со скольжением.

Совсем другую картину мы наблюдаем в микроскоп при начинающемся и развившемся воспалении, например, в сосудах брыжейки лягушки. Здесь, действительно, имеет место ламинарное движение кровяного потока. Мы видим и краевое расположение лейкоцитов и эритроцитов, прилипание их к стенкам, а также вращение эритроцитов внутри осевого столба. Ток крови замедляется. Сопротивление току крови на участке пораженного воспалением сосуда увеличивается. Вполне понятно, что местное перераспределение крови по закону, аналогичному закону Кирхгофа, приводит к оттеканию большего количества крови по коллатералям, не пораженным еще воспалением. В этих, здоровых еще, коллатералях сопротивление току крови меньше (особенно при расширении сосудов), движение совершается с большей скоростью. Активная гиперемия при воспалении, чем бы последнее ни было вызвано, представляет собой выражение этих изменений. Движение крови в пораженных сосудах все более замедляется, начинает выпадать фибрин, благодаря чему вязкость крови увеличивается, а следовательно, увеличивается сопротивление движению крови. Далее наступает стаз и тромбоз.

Таковы два, глубоко различающихся между собой, вида движения крови — столбовое движение со скольжением в неизменных кровеносных сосудах и ламинарное, вязкое, без скольжения движение — в патологически измененных.

В том, что столбовое движение крови в неизменных сосудах совершается со скольжением, убеждает нас наблюдение над движением крови в микроскоп, именно гладкость этого движения. Следовательно, поверхность интимы, обращенная внутрь сосуда, должна обладать особой скользкостью. Чем же обусловлена эта скользкость?

Мы можем предположить с большой вероятностью, что эндотелий, образующий граничную с кровью поверхность интимы, выделяет здесь особого рода смазку. Такая гипотетическая смазка уменьшает трение при скольжении до очень малой величины, особенно, если она устраняет смачивание. Такая смазка отличается крайней нестойкостью и теряет свои свойства при механических, термических, химических воздействиях, а может быть, и в результате нервно-трофических импульсов. Можно думать, что толщина смазки молекулярного размера. Быть может, смазкой служит сама протоплазма эндотелия.

Существование смазки, которое пока еще непосредственно не может быть доказано, не является чем-то исключительным, свойственным только сосудам. Мы знаем о существовании таких смазок в организме в суставах, в скользящем аппарате сухожилий, на соприкасающихся серозных поверхностях плевры, перикарда и брюшины.

Приняв существование гипотетической смазки, мы приходим к выводу, что столбовое движение крови в неизменных сосудах совершается со скольжением, а само движение становится безвязкостным. Вполне понятно, что полная физическая обработка такой формы движения крайне трудна.

Черноморская
гидрофизическая станция
Академии Наук СССР

Поступило
6 I 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. R. Hess, Koll. Z., 27, 154 (1920). ² Г. Г. Яуре, Юбилейный сб. В. Н. Розанова, Медгиз, 1934. ³ E. C. Bingham, Bur. Stand. Sci. Paper, No. 275 (1916); E. C. Bingham and Henry Green, Proc. Am. Soc. Test. Mater., 19, II, 640 (1919). ⁴ Г. Барр, Вискозиметрия, пер. с английск., 1938.