

метром от 300 мкм до пре- и посткапиллярных стволов в 5–7 мкм. Оказалось, что величина коэффициента ветвления ( $k = (D_1^2 + D_2^2)/D_0^2$ ) в самых разных органах меняется по-разному, но, как правило, растет от 1 в сравнительно крупных артериях до 1,3 и выше в капиллярообразующих артериолах. При этом растет просвет органного русла, но резко он начинает расти где-то с  $D$  артериол около 50 мкм и ниже. Интересно, что бифуркации брюшной аорты дают  $k$ , равный 1 и даже меньше. В венозных отделах микроскопического русла  $k$  ниже, чем артериальных.

Таким образом, микроциркуляторное русло органоспецифично, при этом существуют разли-

чия и в структуре бифуркаций разных по близости к сердцу отделов русла. Согласно нашим расчетам, разные формы артериальных бифуркаций отражают стремление минимизировать время нахождения крови в сосуде, пристеночное напряжение сдвига или мощность, затраченную на кровоток. К сожалению, авторы настоящей статьи не сопоставляют свои данные и модели (они безусловно интересны) с таковыми других исследователей. А они есть, и после С.Д. Murray (1926) на тему сосудистых бифуркаций было немало публикаций, не только наших.

Все сказанное, не позволяет мне согласиться с авторским утверждением, вынесенным в заголовок статьи.

Главный научный сотрудник  
Института физиологии СО РАМН  
д-р мед. наук, профессор  
К.А. Шошенко

## ОТВЕТ НА РЕЦЕНЗИЮ

Уважаемая редакция!

Ниже последовательно даем ответ на все приведенные в рецензии рассуждения.

Рецензент *«согласился бегло просмотреть эту работу, используя свои знания, полученные при оппонировании кандидатской диссертации Р.И. Кирсанова «Допплерографическая регистрация и основные закономерности винтового движения крови в артериях у человека, многолетний собственный экспериментальный опыт, касающийся в основном микроциркуляторного русла, и общие знания о механизмах движения крови в сердечно-сосудистой системе, в частности, основательно изложенные в переводной монографии К. Каро и др., Механика кровообращения, М.: Мир, 1981. 626 с.»*.

Рецензент прямо говорит, что в основном занимался изучением микроциркуляторного русла и имеет общие знания о механизмах движения крови. В монографии К. Каро кровообращение рассматривается с позиции поступательного движения крови, поэтому многие важнейшие принципы структурно-функциональной организации сердечно-сосудистой системы не были раскрыты.

Следует уточнить, что представленная статья не обзорная. Однако *«...современное состояние знаний относительно обсуждаемых в статье*

*тем»* отражено в публикациях авторов статьи, указанных в списке литературы. Что касается теоретических моделей *«реологии потоков крови в ССС и о структуре бифуркаций в разных отделах кровеносного русла и расчетах, описывающих гемодинамические параметры...»*, в них также рассматривалось исключительно поступательное движение крови, следовательно, такие модели не отражали истинного характера кровотока.

Далее приводятся противоречивые рассуждения, где рецензент вначале говорит, что *«основное утверждение авторов об универсальности закрученного потока биологических сред в транспортных системах принять трудно»*, и здесь же *«безусловно, такой поток существует в мышечных трубках (кишечник, различные выводящие протоки), в которых перистальтические сокращения стенки создают давление, обеспечивающее направленное движение содержимого трубки»*, а также *«такой тип транспорта субстрата эволюционно наиболее ранний»*, и заключает: *«думаю, что все авторские расчеты, характеризующие поток в таких трубках, интересны»*. В рассуждениях рецензента выявлены противоречия. Вначале он говорит, что это принять трудно, и здесь же, как о само-собой разумеющемся, что такой тип транспорта эволюционно наиболее ранний.

Рецензент пытается сформулировать механизм такого универсального движения биологических сред на основе перистальтических сокращений, но безуспешно. Традиционное представление перистальтического сокращения полых трубчатых органов предусматривает только радиальное сокращение стенок каналов и поступательное движение биологических сред. Приложение действующих сил создает движение содержимого в транспортном канале как вперед, так и назад, что неэффективно, поскольку не создается однонаправленного движения биологических сред в транспортных каналах живого организма. Такой подход не раскрывает истинный механизм движения биологических сред. В связи с этим приводим формулу научного открытия, принадлежащего авторам статьи, из раздела «Заключение и выводы».

Обнаружено универсальное явление образования закрученного потока биологических сред в транспортных каналах человека и животных на примере сердечно-сосудистой, пищеварительной, мочевыделительной и других систем, заключающееся в том, что в процессе жизнедеятельности организма происходит вращательно-поступательное движение сред, обусловленное возникновением за счет трения соответствующих этому движению двух составляющих касательных напряжений при взаимодействии среды с волной скручивания, возбуждаемой в стенке канала сокращением спирально ориентированных мышечных и эластических элементов.

Действительно, рецензенту надо было не *«бегло просмотреть эту работу»*, а отнестись к этому более ответственно. В рецензируемой статье достаточно сказано и об универсальности винтового движения биологических сред, и о физическом механизме такого вида движения, и о его необходимости и целесообразности для организма, и о его эволюционной преемственности. Эти положения впервые сформулированы авторами статьи на основе полученных результатов фундаментальных исследований.

По выражению рецензента, *«элементы винтовой формы потока, возможно, проявляются в сердце в период систолы и у современных позвоночных, в том числе у человека. Однако фактов, подтверждающих это явление, в том числе литературных, авторы не приводят, кроме качественного анатомического описания сердечных полостей»*. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований структурно-функциональной организации сердечно-сосудистой системы. Изготовленные протакриловые слепки полостей сердца и кровеносных сосудов позволили впервые выявить новые анатомические

признаки, обеспечивающие образование винтового потока крови в сердечно-сосудистой системе. Оригинальным методом киноангиокардиографии, разработанным авторами, впервые получена прямая визуализация винтового потока крови на системном уровне, в предсердиях и желудочках сердца, артериях и венах большого и малого кругов кровообращения. Эти результаты хорошо освещены и иллюстрированы в статье. Литературных фактов о винтовом потоке крови с позиций системного подхода нет, кроме публикаций авторов, где об этом достаточно сказано.

Далее рецензент вновь упоминает диссертацию Р.И. Кирсанова, где сказано, что *«среди первых исследователей, описавших это явление, был В.Н. Захаров»*. Следует отметить, что В.Н. Захаров впервые на системном уровне экспериментально обосновал и доказал существование винтового потока крови в сердечно-сосудистой системе, о чем сказано выше. Далее на междисциплинарном уровне проведены фундаментальные исследования структурно-функциональной организации сердечно-сосудистой системы, а также других транспортных систем, опубликовано несколько десятков научных работ, сделан ряд открытий, на основе которых создано новое направление, что подтверждается приоритетом, указанным в дипломах:

1. Захаров В.Н., Шумаков В.И. Явление образования винтового потока крови в сердечно-сосудистой системе человека и животных, приоритет 05 мая 1989 г.: Диплом на открытие № 87 / Международная Ассоциация Авторов Научных Открытий. М., 1998;

2. Багаев С.Н., Захаров В.Н., Орлов В.А. и др. Явление образования закрученного потока сред в транспортных каналах организма человека и животных, приоритет январь 1998 г.: Диплом на открытие № 130 / Международная Ассоциация Авторов Научных Открытий. М., 1999.

3. Багаев С.Н., Захаров В.Н., Орлов В.А. Закономерная связь между морфологическими параметрами кровеносных сосудов и динамическими характеристиками закрученного потока крови в узлах бифуркаций магистральных кровеносных сосудов человека и животных, приоритет 20 декабря 2000 г.: Диплом на открытие № 259 / Международная Ассоциация Авторов Научных Открытий. М., 2004.

В связи с этим утверждение рецензента о том, что *«наиболее полное исследование на эту тему было проведено в 2009 г. в лаборатории В.П. Куликова Р.И. Кирсановым (Барнаульский медицинский институт)»*, необоснованно. Кандидатская диссертация Р.И. Кирсанова ограничивается ис-

пользованием доплерографического метода, предложенного (Frasin et al., 1996), и только подтверждает существование винтового потока крови, но не раскрывает причин, свойств и закономерностей винтового движения крови, а следовательно, сущности изучаемого явления. Следует отметить, что доплерография является косвенным методом, который не обеспечивает прямую визуализацию потоков крови, не имеет пространственного разрешения и при его использовании исследуется характер отраженного ультразвукового сигнала.

Рецензент говорит, что *«таким образом, нельзя утверждать универсальность и однонаправленность винтовой формы потока крови в артериях и разнонаправленность ее в большом круге и малом»*, и вместе с тем отмечает, что *«несомненно, поворот потока влияет на гемодинамику в артериальных бифуркациях, и авторские расчеты, касающиеся этой темы, очень интересны и полезны для понимания»*. Термин «универсальность» авторами статьи применяется при рассмотрении движения биологических сред в различных транспортных системах. В статье такого утверждения нет, какое приводит рецензент, поэтому цитируем текст статьи: «Фундаментальными исследованиями структурно-функциональной организации системы кровообращения, проведенными с позиций системного подхода, выявлены новые анатомические признаки конфигурации полостей сердца и кровеносных сосудов и визуализирован особый характер движения крови в предсердиях и желудочках сердца, артериях и венах с разнонаправленным вращением крови в соответствующих отделах большого и малого кругов кровообращения». В ответ на рассуждения рецензента относительно бифуркаций кровеносных сосудов приводим формулу научного открытия, принадлежащего авторам статьи, из раздела «Заключение и выводы».

Установлен закон ветвления магистральных артерий и вен системы кровообращения человека и животных, заключающийся в том, что в окрестности любого узла винтовой бифуркации крупных кровеносных сосудов, сопровождающей дихотомическое деление или слияние закрученных потоков крови, между диаметрами сосудов, углами их ветвления и тремя парами вращательной и поступательной скоростей соответствующих потоков существует однозначная математическая связь, обусловленная инвариантностью массового расхода, динамического давления, а также потоков вращательного и поступательного количества движения крови.

Далее, наконец, затрагивается область знания, к которой рецензент, по его признанию

о *«многолетнем собственном экспериментальном опыте, касающемся в основном микроциркуляторного русла»*, имеет прямое отношение. Рецензент говорит: *«Авторы полагают, что в мелких сосудах (в области микроциркуляции) винтовой поток существовать не может и вращательная форма его меняется на поступательную. Замечу, что данных о форме потока в таких и более узких сосудах пока нет»*. Что касается движения крови по сосудам звена микрогемоциркуляции, то еще Мальпиги в период средневековья знал о поступательном характере движения крови, поскольку здесь не требуется особой аппаратуры, кроме обычного микроскопа, которым он пользовался. В монографии (А.М. Чернух и др., Микроциркуляция. М.: Медицина, 1975. Раздел «Гемореология и микроциркуляция») рассматривается поступательный характер движения крови с ламинарным течением в кровеносных микрососудах.

Возможно, наблюдения под микроскопом за движением крови в микрососудах явились причиной заблуждений исследователей, которые считали, что в сердце и магистральных кровеносных сосудах течение крови также поступательное.

Рассуждая о микрососудах, рецензент отмечает: *«Согласно авторским расчетам, для поступательного потока форма бифуркаций в русле должна соответствовать уравнению  $D_0^4 = D_1^4 + D_2^4$ »*. Рецензент ставит под сомнение выведенное авторами уравнение и говорит, что *«Мы много занимались закономерностями в структуре артериальных и венозных бифуркаций от 300 мкм до пре- и посткапиллярных стволов в 5–7 мкм»*, и пытается противопоставить данному уравнению свой переменный коэффициент ветвления *« $k = (D_1^2 + D_2^2)/D_0^2$ »*. Отметим, что закономерностями не занимаются, а их устанавливают. Рассматриваемый рецензентом коэффициент  $k$  представляет собой переменную эмпирическую величину, которая не раскрывает закономерность ветвления микрососудов. Микрососуды рассматриваются без учета физических характеристик и свойств кровотока в них и биологического принципа минимальности силовой нагрузки в транспортных каналах живого организма.

Авторы статьи установили закономерность (закон) ветвления кровеносных микрососудов. В связи с этим приводим формулу научного открытия, принадлежащего авторам статьи, из раздела «Заключение и выводы».

Установлен закон ветвления микрососудистого русла системы кровообращения на примере артериол, капилляров и венул, заключающийся в том, что в окрестности любого узла бифур-

кации микрососудов, сопровождающей дихотомическое деление или слияние потоков крови, независимо от углов ветвления, квадрат площади поперечного сечения большего микрососуда равен сумме квадратов площадей меньших, обусловленный сохранением массового расхода крови в единицу времени и отсутствием скачка градиента давления в сопряженной области трех линий тока крови.

У авторов нет возражений относительно того, что «микрососудистое русло органоспецифично», однако рассмотрение звена микрогемодикуляции с позиций морфометрии не позволяет раскрыть закономерности его структурно-функциональной организации. Для этого необходимо учитывать и применять законы сохранения физической гидродинамики в биологической системе. Рецензент говорит, что «к сожалению, авторы настоящей статьи не сопоставляют свои данные и модели (они безусловно интересны) с таковыми других исследователей. А они есть, и после Murray C.D. (1926) на тему сосудистых бифур-

каций было немало публикаций, не только наших». В первых работах (Roux W., 1878; Murray C.D., 1926) и последующих публикациях не были установлены закономерности ветвления кровеносных сосудов. В экспериментальных исследованиях авторов учитывались особенности строения бифуркаций кровеносных сосудов, характеристики кровотока в них и законы сохранения физической гидродинамики, что позволило впервые установить законы ветвления магистрального и микрососудистого русла, что отражено в статье и в публикациях авторов, указанных в списке литературы. В этом и заключается сопоставление результатов исследований авторов статьи и предшественников.

Замечаний в рецензии не обнаружено, а приведены только рассуждения. Вместе с тем рецензент говорит, что «все сказанное не позволяет мне согласиться с авторским утверждением, вынесенным в заголовок статьи». Авторы считают, что такой вывод рецензентом не аргументирован.

Авторы: академик С.Н. Багаев,  
д-р мед. наук В.Н. Захаров,  
д-р физ-мат. наук В.А. Орлов