

Гипотеза «открытых концов» (к вопросу об устройстве сердечно-сосудистой системы на границе артериальной и венозной ветвей)

Комаров Б. Н.

Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Российская Федерация

Автор для корреспонденции: Комаров Борис Николаевич; e-mail: boris.komarov@mail.ru

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Аннотация

Рассмотрена гипотеза английского физиолога Старлинга Е.Г. (Starling E.H.), объясняющая механизм фильтрации артериальной крови и механизм венозного подъема в области «микроциркуляторного русла» (МЦР) органов. Приводятся аргументы, свидетельствующие о несостоятельности этой гипотезы. Главным из них является то, что она противоречит фундаментальным физическим законам. Предложена, для обсуждения, гипотеза «открытых концов», объясняющая венозный подъем без противоречий с физическими законами. В основе предложенной гипотезы лежит утверждение, что «общепринятое» мнение физиологов и медиков об анатомической замкнутости сердечно-сосудистой системы (ССС) является ошибочным. Приводятся примеры применения гипотезы «открытых концов» для более обоснованного объяснения кровоснабжения простого (мышца) и сложного (легкое) органов. Предложено считать основным механизмом подъема межклеточной жидкости в венулы капиллярный эффект, а не диффузию.

Ключевые слова: посткапилляр, закон гидравлики, гипотеза «открытых концов», капиллярный подъем

doi: 10.29234/2308-9113-2020-8-3-48-57

Для цитирования: Комаров Б. Н. Гипотеза «открытых концов» (к вопросу об устройстве сердечно-сосудистой системы на границе артериальной и венозной ветвей). *Медицина* 2020; 8(3): 48-57.

Введение

В физиологии человека есть твердо установленный ФАКТ (Гарвей, Harvey W.) – в организме человека существует непрерывное направленное движение крови (по большому и малому кругам). До сих пор нет НАУЧНОГО (то есть не противоречащего твердо установленным законам) объяснения этого факта. Гипотеза английского физиолога Старлинга [1], объясняющая механизм кровотока на границе артериальной и венозной ветвей ССС, является несостоятельной именно по причине противоречия с фундаментальными законами физики. Гипотеза «открытых концов» позволяет объяснить возможность непрерывного кровотока без противоречия с законами физики.

Транскапиллярный обмен в органах в области микроциркуляторного русла (МЦР) проходит в три этапа: а) поступление артериальной крови в межклеточное пространство

органа, б) собственно обменные процессы между клетками органа и межклеточной жидкостью и в) отсос (реабсорбция) межклеточной жидкости в венозное русло. Пункты а) и в) рассматриваются в гипотезе Старлинга и к ним есть вопросы, на которые нет удовлетворительных ответов. Главные из них: механизм поступления артериальной крови в межклеточное пространство органа и механизм отсоса межклеточной жидкости в венозное русло. В работе предлагается обсудить альтернативный вариант ответа на эти вопросы.

Критический раздел

В настоящее время «общепринятым» является мнение, что ССС является анатомически замкнутой системой, которая состоит из артериальной и венозной ветвей, соединенных друг с другом: с одной стороны – в сердце, а с другой – в капиллярных сетях органов (в так называемом «микроциркуляторном русле» МЦР) [2]. Это мнение неявно обосновывается аргументом под названием «здоровый смысл», согласно которому длительный направленный кровоток в анатомически разомкнутой системе НЕВОЗМОЖЕН.

В учебниках по физиологии и медицине утверждается, что на границе артериальной и венозной ветвей конечные артериальные капилляры (гемокапилляры) непосредственно ПЕРЕХОДЯТ в вены (венозные капилляры), образуя разветвленную, но анатомически замкнутую систему.

Артериальная кровь доставляется в межклеточное пространство органов путем фильтрации через стенки артериол и гемокапилляров. По структурно-функциональным свойствам в организме человека имеется три типа гемокапилляров: соматические (сплошные), фенестрированные и перфорированные (синусоидные) [3]. Поэтому конкретные особенности кровоснабжения органов в значительной степени определяются типом гемокапилляра в этом органе.

Так, в русле соматического капилляра кровоток имеет вполне четкое направление, а в синусоидном направлении кровотока практически отсутствует, то есть в этом случае налицо «разрыв» непрерывного направленного кровотока. Так как при движении крови гидравлическое давление в артериальном русле падает (из-за трения) и на конце любого (соматического, фенестрированного или перфорированного) артериального русла оно близко к нулю (за нуль принимается атмосферное давление), то кровоток в русле, согласно законам гидравлики, должен прекратиться, так как в этом месте русла нет механизма (насоса), который бы обеспечивал дальнейшее направленное движение жидкости в венозную ветвь. Но венозный подъем есть, это – неопровержимый факт.

Чтобы разрешить это противоречие, английский физиолог Старлинг предложил следующую гипотезу: Конец артериальной ветви ССС (гемокапилляр) соединяется с

венулой (началом венозной ветви) не непосредственно, а через посткапилляр, начальный участок которого (артериальный) является фильтрующим, а конечный (венозный) – всасывающим. Для кровотока это утверждение математически оформлено в виде критерия:

$$\Delta Q = k [(P_k + O_m) - (P_m + O_k)]$$

Здесь ΔQ – градиент давления (причина движения) в русле посткапилляра, «к» – коэффициент проницаемости стенки посткапилляра, P_k – гидравлическое давление в капилляре, P_m – гидростатическое давление в межклеточной жидкости органа, O_k – онкотическое давление плазмы крови в капилляре, O_m – онкотическое давление межклеточной жидкости.

Утверждается, что если ΔQ больше нуля, то на этом участке посткапилляра происходит фильтрация плазмы и форменных элементов артериальной крови из русла в межклеточное пространство, если ΔQ меньше нуля, то на этом участке посткапилляра происходит всасывание межклеточной жидкости в русло. Таким образом, посткапилляр (точнее, его венозный конец), согласно Старлингу, выполняет роль насоса на этом участке непрерывного русла и обеспечивает непрерывный кровоток в ССС. Основная мысль этой гипотезы – в организме существуют капилляры с экзотическими («чудесными») свойствами. Отличие более разработанной гипотезы венозного подъема Куприянова В.В. и других исследователей от гипотезы Старлинга не является принципиальным. В обоих случаях считается, что ССС – анатомически замкнутая система. У Старлинга артериальная и венозная ветви соединяются посткапилляром, у Куприянова – непосредственно.

Гипотезы принято аргументировать либо фактами, которые можно перепроверить, либо логическими доводами.

Наиболее убедительным фактом, подтверждающим наличие в организме таких экзотических капилляров, могла бы служить, например, ссылка на работу, в которой была бы представлена фотография участка соединения: «артериальный гемокапилляр – посткапилляр – вена». Такой работы и такой фотографии (артериовенулярного анастомоза, шунта) нет до сих пор, несмотря на успехи в микроскопии. Таким образом, существование в органе посткапилляра Старлинга экспериментально пока не подтверждено.

Механизм диффузии межклеточной жидкости в венозном конце посткапилляра Старлинга не может служить причиной дальнейшего движения, так как не создает градиента давления в русле. Согласно закону Паскаля, любое дополнительное давление в жидкости, чем бы оно не было вызвано, равно по всем направлениям и, следовательно, давление в русле по кровотоку равно давлению против кровотока. Следовательно, включение Q_k в критерий Старлинга не имеет физических оснований. Онкотическое давление межклеточной жидкости Q_m к кровотоку в русле вообще не имеет никакого отношения,

оно имеет отношение к взаимодействию клетки органа с межклеточной жидкостью. Таким образом, критерий упрощается до: $\Delta Q = k (P_k - P_m)$. Но даже этот уточненный критерий физически некорректен. На саму возможность кровотока коэффициент проницаемости стенки посткапилляра почти не влияет и, следовательно, критерий кровотока принимает очевидный вид; $\Delta Q = (P_k - P_m)$. Есть градиент давления в русле – есть движение, нет градиента – нет движения. Таким образом, диффузионный механизм венозного конца посткапилляра не может служить причиной существующего венозного подъема.

Элементарный логический анализ показывает, что «экзотический» посткапилляр Старлинга в любом случае не может выполнять то, для чего он придуман. Ведь если на входе посткапилляра градиент давления положителен (условие фильтрации), а на выходе отрицателен (условие всасывания), то где-то в русле посткапилляра он неизбежно должен проходить через ноль и, следовательно, кровоток в этом месте русла должен прекратиться. То есть, непрерывный венозный подъем, в соответствии с физическим законом, невозможен даже для посткапилляра Старлинга, так как в анатомически замкнутом русле есть место, где градиент давления равен нулю.

Итак, гипотеза Старлинга до сих пор не подтверждена экспериментально, порождает много вопросов и, главное, не может, без противоречий с фундаментальными физическими законами, объяснить ФАКТ длительного направленного кровотока. По этой причине она должна быть признана несостоятельной и исключена из учебных пособий по очевидному соображению, что ошибочное представление о фундаментальном явлении (венозный подъем) вреднее «голового» незнания. Недопустимо, когда студент на лекции по физике слышит одно, а через пару часов, на лекции по физиологии, прямо противоположное.

Гипотеза «открытых концов»

Факт непрерывного длительного кровотока в ССС может быть объяснен без противоречия с физическими законами, если признать «общепринятое» мнение об анатомически замкнутой ССС как ошибочное и принять следующую гипотезу: «ССС не является анатомически замкнутой системой. Конечные артериальные гемокапилляры не переходят в вены, а своими открытыми концами непосредственно погружены в межклеточную жидкость органа. Там же находятся открытые концы венул и лимфатических капилляров».

Согласно этой гипотезе, вся артериальная кровь под действием: а) сердечной мышцы, б) силы тяжести (веса крови) и в) «периферического сердца» артериол поступает в межклеточное пространство органов. Это осуществляется: а) частично, путем фильтрации через стенки артериол и артериальных капилляров и, б) окончательно, через открытые концы артериальных капилляров. Микроциркуляторное русло (МЦР) органа является

герметичным коллектором, куда поступает вся предназначенная для этого органа артериальная кровь, причём состав этой крови на входе в МЦР органа одинаков для всех без исключения органов. Микроциркуляторная область (МЦО) является более общим и более строгим определением чем МЦР, так как в случае перфорированного (синусоидного) гемокапилляра, само понятие «русло» исчезает. В этом случае налицо имеется типичный «разрыв» направленного кровотока. Наличие на конце артериальной ветки синусоидных капилляров (в головном мозге, селезенке и других органах) прямо противоречит «общепринятому» мнению о непрерывном и замкнутом русле ССС, по крайней мере, в этих органах.

Поступившая в межклеточное пространство артериальная кровь равномерно распределяется в этом пространстве, взаимодействует с клетками органа, превращаясь в венозную кровь соответствующего органа. Так как она теперь находится под атмосферным давлением, то, естественно, возникает вопрос: каков механизм ее всасывания в венозную ветвь ССС? Ответ – капиллярный эффект, возможный только при наличии в межклеточном пространстве органа открытых концов венул и лимфатических капилляров.

Через открытые концы венул часть межклеточной жидкости конкретного органа, вследствие капиллярного эффекта ($hr = \text{const}$, здесь r – радиус венулы, а h – высота подъема жидкости в ней [4]), за доли секунды отсасывается в венозное русло. Это начальный, наиболее быстрый и важный этап общего венозного подъема, который осуществляется непрерывно и автоматически. Ввиду малых диаметров венул (чем меньше внутренний диаметр, тем выше капиллярный подъем) капиллярный эффект гарантировано обеспечивает быстрый подъем межклеточной жидкости в мелкие вены. Дальнейшее, более медленное, движение крови в мелких и крупных венах обеспечивается уже другими (известными и достаточно изученными) механизмами – созданием отрицательного давления за счет дыхания, пульсирующими изменениями просвета в венах, работой венозных клапанов. Это – второй этап венозного подъема, и он регулируется уже нервной и гуморальной системами органов.

Данная гипотеза (концы артериальных и венозных капилляров не переходят друг в друга, а открытыми концами погружены в межклеточную жидкость органов) предполагает, что материал внутренней стенки венозных капилляров (венул), с точки зрения физики, должен смачиваться межклеточной жидкостью. «Смачиваемость» венозных капилляров позволяет всасывать межклеточную жидкость в венозное русло.

Таким образом, «микроциркуляторную область» органа можно представить как губку из гемокапилляров, венул и лимфокапилляров с открытыми концами. Очевидно, что состав венозной крови (межклеточной жидкости) зависит от конкретного органа.

Все вышесказанное относится к нормальной работе ССС в здоровом органе. Однако возможный «сбой» (кратковременный или длительный) на втором этапе венозного

подъема (который регулируется нервной и гуморальной системами) неминуемо приводит к нарушению динамического равновесия в органе и вызывает определенную ответную реакцию организма на это нарушение. «Сбой» может быть вызван различными причинами – физической нагрузкой, лекарством, эмоциональным стрессом.

Таким образом, гипотеза «открытых концов», позволяет объяснить возможность длительного кровотока без противоречия с законами физики на примере кровотока в простом органе (с одним – артериальным – входом и одним – венозным – выходом).

Ниже приводится вариант объяснения механизма кровотока через сложный орган (легкое), в котором задействованы уже оба круга кровообращения.

При объяснении факта кровотока через легкие, в качестве рабочей гипотезы, используется гипотеза «открытых концов», а альвеола (структурный элемент легкого) рассматривается как отдельный самостоятельный орган, причем все альвеолы легкого полагаются тождественными.

Известно, что альвеола представляет собой двойной мешочек, который имеет вход для входа/выхода альвеолярного воздуха. Наружная герметичная стенка внешнего мешочка альвеолы представляет собой упругий каркас, организованный эластичными коллагеновыми волокнами, которые позволяют значительно увеличивать внутренний объем альвеолы (при вдохе). Внутренняя стенка альвеолярного мешочка, которая контактирует с альвеолярным воздухом, также представляет собой каркас из эластичных коллагеновых волокон. Внутреннюю поверхность стенок альвеолы выстилает однослойный плоский эпителий, в состав которого входят три вида клеток:

- сквалозные (дыхательные) альвеолоциты. Их функция – респираторная.
- большие альвеолоциты. Их основная функция – выделять в межклеточную жидкость альвеолы СУРФАКТАНТ – вещество, которого нет больше ни в одном человеческом органе. Особенность сурфактанта – способность резко снижать величину коэффициента поверхностного натяжения межклеточной жидкости.
- хеморецепторы. Их основная функция – регулировать количество сурфактанта.

Предлагается, для обсуждения, следующая модель устройства альвеолы, которая позволяет более ясно представить механизм кровотока через легкие.

Известно, что кровоток в легких осуществляется через соматические капилляры. Капилляры легкого бывают двух типов: узкие, диаметром 7-8 мкм и широкие, диаметром 20-40 мкм. Объем крови, протекающей в секунду через широкий капилляр, на два порядка больше, чем через узкий. В предлагаемой модели через внешнюю стенку альвеолы, в пространство между внешней и внутренней стенками альвеолярного мешочка, входят следующие капилляры: а) узкий, несущий артериальную кровь для питания альвеолы, б) широкий, несущий венозную кровь для газообмена. Из альвеолы выходит один широкий капилляр, несущий обогащенную кислородом кровь (в систему легочной вены, то есть в левое предсердие). Поступившая внутрь альвеолярного мешочка артериальная и венозная кровь смешивается. Через тонкую внутреннюю стенку альвеолы венозная кровь посредством осмоса освобождается от углекислого газа и одновременно обогащается кислородом из альвеолярного воздуха. Обогащенная кислородом кровь удаляется из альвеолярного мешочка через открытый конец широкого капилляра. Это возможно только при условии, что обогащенная кислородом кровь может смачивать широкий открытый выходной капилляр. Только в случае смачивания возможен капиллярный подъем и, следовательно, дальнейший транспорт обогащенной кислородом крови в левое предсердие. Именно способность сурфактанта снижать поверхностное натяжение венозной крови и, тем самым, улучшать ее способность к смачиванию, делает возможным «капиллярный эффект» и, в конечном итоге, обеспечивает непрерывный кровоток в анатомически разомкнутой сосудистой системе. Хеморецепторы обеспечивают необходимое количество сурфактанта в пространстве между внешней и внутренней стенками альвеолярного мешочка. Такая конструкция альвеолы, помимо более ясного понимания механизма кровотока через легкие, снимает также большинство неясных вопросов и о механизме газообмена в легких человека.

Согласно существующим представлениям, артериальные и венозные капилляры в легких, во-первых, якобы анатомически соединены друг с другом и, во-вторых, якобы «обволакивают» внешнюю поверхность альвеолы. Если это так, то отсюда следует, что насыщенная углекислым газом венозная кровь должна вначале преодолеть стенку соматического широкого капилляра, а затем еще и внешнюю стенку альвеолы, чтобы попасть внутрь альвеолярного мешочка, где и происходит газообмен. Так как газообмен осуществляется посредством осмоса, а он наиболее эффективен в системе: «венозная кровь – тонкая внутренняя стенка альвеолярного мешочка – альвеолярный воздух», то любые дополнительные перегородки (стенка широкого капилляра, внешняя стенка альвеолы) затрудняют газообмен, то есть являются очевидным тормозом при выполнении основной функции легких. Поэтому более естественным представляется вариант, при котором узкие и широкие капилляры не «обволакивают» внешнюю поверхность альвеолы, а просто входят внутрь двойного альвеолярного мешочка.

Таким образом, гипотеза «открытых концов» предлагает вариант объяснения кровотока в случае сложного органа, в котором одновременно задействованы и большой и малый круги.

Итак, основными аргументами в пользу гипотезы «открытых концов», в сравнении с гипотезой Старлинга-Куприянова, являются следующие факты и очевидные логические доводы:

1. Она позволяет, в отличие от гипотезы Старлинга-Куприянова, объяснить венозный подъем без противоречий с фундаментальными законами физики.
2. Наличие перфорированных (синусоидных) гемокапилляров на конце артериального русла некоторых органов прямо противоречит «общепринятому» мнению об анатомической замкнутости ССС.
3. Наличие в организме действующей незамкнутой лимфатической системы.

Из гипотезы «открытых концов» следуют некоторые, теоретически допустимые, выводы, например:

1. Из допущения, что не существует замкнутого непрерывного русла, следует очевидный вывод, что органы должны иметь на выходе свою, только этому органу присущую, венозную кровь вполне определённого состава (своего рода паспорт здорового или больного органа). Также очевидно, что она должна отличаться от состава стандартного анализа венозной крови. С методической точки зрения это особенно важно для фармакологии и диагностики.
2. Ранее непонятный факт, почему в организме количество венозных капилляров более чем вдвое превышает количество артериальных капилляров, становится понятным и естественным – повышается надёжность системы. Кстати, этот факт явным образом противоречит гипотезе о замкнутости ССС, согласно которой количество артериальных капилляров должно быть равным количеству венул,
3. Смысл и предназначение артериальных и венозных анастомозов очевиден (повышается надёжность системы), чего нельзя сказать об «артериовенозных анастомозах», особенно шунтах. Их изначальное существование в организме нецелесообразно, их возможное образование опасно для органа. Фотографии шунта пока нет [5].

Выводы

Предъявлены аргументы свидетельствующие, что гипотеза Старлинга-Куприянова, в основе которой лежит идея об анатомической замкнутости ССС. противоречит физическим законам и, следовательно, несостоятельна. Предложена, для обсуждения, гипотеза «открытых концов», объясняющая длительный кровоток без противоречий с физическими законами.

Для опровержения любой гипотезы достаточно всего лишь одного достоверного факта, который противоречит этой гипотезе. Если при обсуждении гипотезы «открытых концов» такого факта в физиологии не найдется, многовековая история изучения механизма кровообращения в своих основных положениях будет завершена. Последний неясный момент в работе ССС (механизм венозного подъема) объясняется известным физическим явлением – капиллярным эффектом.

Литература

1. Фундаментальная и клиническая физиология. Под ред. А. Камкина и А. Каменского, М.: Academia, 2004. С. 625-650.
2. Куприянов В.В., Микроциркуляторное русло, М.: Медицина, 1975. 216 с.
3. Популярная медицинская энциклопедия, М.: Советская Энциклопедия, 1979. С. 564-568.
4. Комаров Б.Н. Новая (феноменологическая) теория капиллярности. *Потенциал современной науки* 2015; (5): 19-24.
5. Клоссовский Б.Н., Циркуляция крови в мозгу, 2004 г.

Hypothesis of "Open Ends". (On the Issue of the Structure of the Cardiovascular System at the Border of the Arterial and Venous Branches)

Komarov B. N.

Institute of Geology and Oil and Gas Technologies, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

Corresponding Author: Boris N. Komarov, **e-mail:** boris.komarov@mail.ru

Conflict of interest. None declared.

Funding. The study had no sponsorship.

Abstract

The hypothesis of British physiologist Starling explaining the mechanism of venous rise is considered. The theoretical arguments demonstrating its insolvency are presented. The principal one is, that Sterling's hypothesis contradicts basic laws of physics. It is offered, for discussion, the hypothesis explaining venous rise not contradicting with physical laws. The hypothesis is based on the idea, that the common view of physiologists and

doctors on the locked anatomy of blood circulation system is false. Examples of “open end” circulation in muscle and lung based on capillary effect and not on diffusion are presented.

Keywords: post-capillary, law of hydraulics, hypothesis of "open ends", capillary rise

References

1. Fundamental'naya i klinicheskaya fiziologiya. Pod red. A. Kamkina i A. Kamenskogo [Fundamental and clinical physiology. Edited by A. Kamkin and A. Kamensky], Moscow: Academia, 2004. P. 625-650. (In Russ.)
2. Kupriyanov V.V., Mikrocirkulyatornoe ruslo [Microcirculatory bed], Moscow: Medicina, 1975. (In Russ.)
3. Populyarnaya medicinskaya enciklopediya [Popular medical encyclopedia], Moscow: Sovetskaya Enciklopediya, 1979. S. 564-568. (In Russ.)
4. Komarov B.N. Novaya (fenomenologicheskaya) teoriya kapillyarnosti. [A new (phenomenological) theory of capillarity.] *Potencial sovremennoj nauki [Potential of modern science]* 2015; (5): 19-24. (In Russ.)
5. Klossovskij B.N., Cirkulyaciya krovi v mozgu [Blood circulation in the brain], 2004. (In Russ.)