

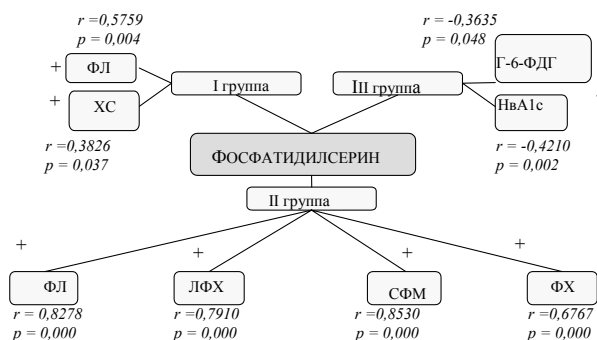


Рис. 6. ФС (корреляция)

Вывод. У больных СД-2 с клиническими вариантами течения, постоянно проживающих в условиях Севера РФ выявлена перестройка липидного бислоя мембран, которая характеризуется фазными изменениями в системе «ПОЛ – АОЗ», оказывающими влияние на концентрацию холестерина, а так же качественный и количественный состав фосфолипидов тромбоцитарных мембран.

Литература

1. Дедов И.И., Шестакова М.В., Максимова М.А. Федеральная целевая программа «Сахарный диабет» (Методические рекомендации). – М.: Медиа Сфера, 2002.

CORRELATIVE RELATIONS IN SYSTEM OF MEMBRANES TROMBOCYTE: LIPID BELAYED – PEROXIDE OXIDATION IS THE ANTIOIDANT DEFENSE OF DISEASED PEOPLE WITH DIABETUS MELITUS OF THE SECOND TYPE WITH DIFFERENT CLINICAL VARIANTS OF DURATIONS CONSTANTLY LIVING IN CONDITIONS OF THE NORT OF THE RF

V.M. ESKOV, S.A., I.Y.DOBRAININA, Y.V.DOBRAININ

Summary

People diseased with diabetes mellitus of the second type with different clinical variants of duration constantly living in conditions of the north of the RF are revealed the reformation of lipid bilayer of membrane which is characteristic of a phase changing in the system of peroxide oxidation lipid is the antioxidant defense which makes influence on concentration of cholesterol and also quantitative and qualitative composition of phospholipids and trombocytes membrane.

Key words: diabetes mellitus of the second type

УДК616-005; 616.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ ВЕРХНЕЙ КОНЕЧНОСТИ

Е.П. ПОПЕЧИТЕЛЕВ, А.В. ЧАЩИН*

Основной особенностью гемодинамических процессов, происходящих в организме, является их взаимообусловленность, которая проявляется в виде ответных реакций сердечно-сосудистой системы на любые внешние воздействия. Применение технических средств для изучения этих процессов является внешним воздействием и также вызывает ответную реакцию, искажая их истинную картину. Наглядными примерами этого являются широко используемые в медицинской практике методы окклюзионных измерений артериального давления (АД). При измерениях АД известными окклюзионными методами на кровеносные сосуды механически воздействует манжета, обернутая вокруг исследуемого сегмента конечности. Являясь неотъемлемой частью измерительных процедур, окклюзия представляет собой непродолжительное вмешательство в процесс кровообращения. Показатели АД – систолическое (P_c), среднее (P_{cp}) и

диастолическое (P_d) – определяют по уровням давления в манжете (P_m), при которых проявляются информативные признаки в ответной сосудистой реакции. В разных методах используются определенные особенности сосудистых реакций, и по ним выделяются соответствующие проявления гемодинамических процессов. В качестве примеров могут служить: проявление аускультативного феномена в методе Короткова, изменение формы пульсовых кривых осцилляций кровенаполнения сосудов в осциллометрическом и тахоосциллографическом методах, непрерывно меняющееся давление в манжете $P_m(t)=P(t)$, регистрируемое как АД по методу Я. Пенъяза при стабилизации объема кровенаполнения артериальных сосудов пальца на уровне разгруженного состояния стенки и другие. Несмотря на то, что съём сигналов сосудистой реакции производится в области окклюзии, измерительная процедура с окклюзионными воздействиями оказывает влияние на распределение крови в сосудах не только на участке окклюзии, но и за его пределами. Эта особенность явилась предпосылкой расширения функциональных возможностей методов измерения АД для детальных исследований состояния сосудистой системы. Например, комбинированное сочетание одновременно двух разных окклюзионных методов измерения АД на одной и той же конечности позволяет, наряду с определением показателей АД, исследовать гемодинамические процессы и феноменологические показатели распределения и перераспределения крови, динамику изменения АД, механизмы его регуляции и состояние кровеносных сосудов [2–4].

В данной работе предлагается биотехническая система (БТС) и биофизическая модель гемодинамических процессов в верхней конечности, позволяющие анализировать состояние кровообращения в условиях функциональных проб окклюзионных измерений АД в верхней конечности, производимых одновременно двумя методами измерения в её пространственно разнесённых участках. Они предоставляют возможность также проводить аналогии с моделированием гемодинамических процессов и в других органах организма, и анализировать патологические состояния сосудистой системы.

Биофизическая модель гемодинамических процессов.

Без окклюзионных воздействий на кровеносные сосуды верхней конечности в ней и в других частях сердечно-сосудистой системы организма протекают обычные взаимосвязанные гемодинамические процессы. Сократительной работой сердечной мышцы создается пульсовое АД, обеспечивающее прохождение пульсирующего кровотока по артериальным сосудам конечности. Сосудистая система конечности принимает активное участие в обеспечении и поддержании оптимального уровня кровоснабжения её тканей, но в то же время оказывает сопротивление кровотоку. В ней сбалансированы приток, перераспределение и отток крови. Большое значение в перераспределении крови имеют мелкие артерии и артериолы. Емкость всех кровеносных сосудов конечности выполняет также депонирующую функцию крови. Основную роль при этом играют вены, мелкие вены и микроциркуляторное русло, так как они обладают существенной растяжимостью, по сравнению с артериальными сосудами. С кровью доставляются питательные вещества тканям конечности, где происходит газообмен и откуда с кровью отводятся продукты метаболизма. Возврат крови из конечности в полую вену идет при активном участии её венозных сосудов, внутрисосудистое давление в которых равно венозному давлению (P_v). Эти факторы отражаются в процессах непрерывного распределения и перераспределения крови между кровеносными сосудами разного калибра и уровня внутрисосудистого давления. Без внешнего окклюзионного вмешательства в кровообращение конечности в ней симетется и посредством нагнетательной работы сердца поддерживается необходимая для нормальной работы сердечно-сосудистой системы артерио-венозная разница давлений $\Delta P_{ав}$; она зависит от периферического сопротивления сети кровеносных сосудов, их емкости, упруго-эластичных свойств и сосудистого тонуса. Окклюзионные воздействия на кровеносные сосуды верхней конечности приносят факторы, изменяющие ход гемодинамических процессов в ней. Из-за этого нарушаются регионарное кровообращение во всей конечности и гемодинамические процессы в организме в целом. Происходит сосудистая реакция на возникновение новых условий кровообращения.

Эти нарушения, связанные с ограничениями артериального притока и венозного оттока крови, ведут к вовлечению в процесс регулирования давления адаптационных физиологических меха-

* Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

низмов. Препятствие оттоку венозной крови из конечности является первым существенным нарушением гемодинамики в конечности, так как окклюзионное воздействие на вены происходит уже при сравнительно низких значениях давления в манжете ($P_M = 10 \pm 20$ мм рт.ст.). Рост P_M над уровнем P_B всё в большей мере препятствует венозному оттоку. Из-за высокой растяжимости стенки венозных сосудов кровь депонируется в них, а сам процесс инерционен из-за их значительной вместимости. Поэтому динамика процесса заполнения венозного резервуара зависит от уровня P_M и от скорости его изменения. Вместе с наполнением вен руки кровью растет и уровень P_B , из-за чего средняя скорость кровотока сохраняется на уровне, обеспечивающем баланс притекающей артериальной и возвращаемой венозной крови [5].

Физиологически рост P_B направлен на обеспечение оттока объема венозной крови, адекватного объему притекающей артериальной крови. Как следствие этого, уменьшается разность между P_{CP} и P_B в конечности, соответственно участков сосудистой системы на проксимальном и дистальном краях манжеты. С полным прекращением оттока венозной крови из конечности в ней сохраняется пульсирующий приток артериальной крови, являющийся причиной дальнейшего повышения P_B в венозной ёмкости дистального участка конечности и ее кровенаполнения. При низкой растяжимости вен отмечается относительное постоянство ёмкости венозных сосудов и более заметно увеличение P_B на дистальном участке руки. При растяжимости вен и в условиях полного перекрытия венозного оттока закон кровенаполнения в них отличается. При P_M в диапазоне значений от P_D до P_C из-за уменьшения просвета плечевой артерии происходит ограничение ударных объемов (ΔV_A) артериальной крови, притекающих в дистальную область конечности, относительно участка окклюзии. В этом диапазоне давлений заметно растет сопротивление кровотоку на участке артерии, расположенной под манжетой, и деформируется форма пульсовой волны. Существующая разность между P_{CP} и P_B создаёт перепад на общем периферическом сопротивлении сосудов конечности R_K и сопротивлению R_A участка артерии, подвергнутого окклюзии. Для случая неполного сжатия артерии внешним давлением артерио-венозная разность ΔP_{AB} определяет объемную скорость кровотока Q_K по закону Пуазейля, справедливому для средних и мгновенных значений входящих в него величин:

$$Q_K = \Delta P_{AB} / (R_K + R_A). \quad (1)$$

Изменение давления P_M действует на артериальную стенку и влияет на все параметры, входящие в выражение (1). Экспериментальные данные [5] подтверждают, что по мере увеличения P_M значение Q_K на проксимальном крае манжеты уменьшается.

При окклюзионных воздействиях легко осуществляется функциональная проба с полным прекращением кровообращения и кровоснабжения конечности. Техническая реализация таких ситуаций на практике воспроизводится простыми средствами компрессионного измерения АД – достаточно, чтобы P_M превысило уровень P_C . Тогда плечевая артерия полностью пережимается, и верхняя конечность выключается из контура системы кровообращения организма. В результате гемодинамические процессы в сосудах конечности идут самостоятельно, в соответствии с их функциональным состоянием, состоянием механизмов местной регуляции, нервного контроля, суммарной ёмкости сосудов конечности и соотношением объемного кровенаполнения сосудов разного калибра. Продолжается независимый от центральной гемодинамики процесс перераспределения крови между сосудами в конечности из-за градиентов кровяного давления и обусловлен отношением объемов кровенаполнения в сосудах.

Эти процессы происходят под контролем со стороны нервной системы, как на уровне местной регуляции, так и из-за сохранения связи с центральной нервной системой. При этом в верхней конечности продолжается гемодинамический процесс, который составляют перераспределение крови и возникающая сосудистая реакция на остановку кровообращения. В результате перераспределения выравнивается перепад кровяного давления в сосудах разного калибра, а кровь перераспределяется между бассейнами артериальных, венозных и капиллярных сосудов, изменяя их кровенаполнение. Объем кровенаполнения и просвет артериальных сосудов уменьшается. В то же время растет кровенаполнение венозных сосудов и уровень P_B . Амплитудно-временные показатели этого процесса связаны с соотношением объемного кровенаполнения вен и состоянием их сосудистых

стенок. В этом состоянии последующее распределение крови в конечности, изолированной от общего контура кровообращения, станет зависимым от процесса перераспределения крови в сосудистой системе, связанного с имеющейся разностью ΔP_{AB} и периферического сопротивления сосудов конечности R_K и R_A (выражение (1)). При окклюзионных воздействиях происходят изменения состояния и физиологических параметров. Повышается P_B и меняется соотношение $\Delta V_A / \Delta V_B$, характеризующее соотношение объемов притекающей в конечность артериальной и депонированной венозной крови. Все это определяет изменения объемного кровенаполнения артерий и вен в конечности $V_A(t) / V_B(t)$ и гемодинамику процесса перераспределения крови между ними. На характер притока, перераспределения и оттока влияет ряд физических параметров: уровень P_M , скорости изменения P_M , P_C , P_D , P_B и состояние упруго-эластичных свойств кровеносных сосудов. Активируются физиологические механизмы регуляции кровяного давления, направленные на адаптацию к меняющимся условиям кровоснабжения: повышенного P_B ; избыточного объема кровенаполнения венозных сосудов, обуславливающего застойные явления; ограничение кровоснабжения тканей конечности артериальной кровью; полного прекращения кровоснабжения кислородом и кровообращения в конечности. Реакции на окклюзионные воздействия в ответ на состояние гемодинамики во время измерений АД, могут служить основой для анализа текущего состояния кровообращения в конечности, выявления патологических изменений в сосудистой системе конечности и организма и прогноза возможного развития.

Таким образом, кровеносная сосудистая система организма и система окклюзионного измерения АД представляются сложной композицией для исследования. Этот объект составляет развитую сеть ветвления взаимосвязанных кровеносных сосудов в конечности, определяющих их функциональное взаимодействие. Состояние артериальных и венозных сосудов вместе с микроциркуляторным руслом определяют характер перераспределения крови в ее тканях. Вмешательство в гемодинамику верхней конечности во время измерительных процедур АД окклюзионными методами искажает картину распределения крови в ее сосудистой системе, вплоть до полного исключения влияния процессов центральной гемодинамики на гемодинамику процессов в верхней конечности. Такое воздействие может представляться функциональной пробой и позволяет моделировать различные состояния кровообращения, исследуя состояние кровеносных сосудов. Для теоретического описания гемодинамических процессов при окклюзионных измерениях АД и выбора характеризующих их феноменологических показателей, представлено биофизическую модель, составленную из двух пространственно разнесённых участков 1 и 3 ее сосудистой системы и участка 2, расположенного между ними (рис.).

На участках 1 и 3 на кровеносные сосуды создаются окклюзионные воздействия манжетами M1 и M2, давление в которых задается двумя независимыми измерителями АД (ИАД₁ и ИАД₂). Участок 2 не подвергается окклюзионным воздействиям, и он составляет значительную часть объема артерий V_A и вен V_B конечности, преимущественно в локтевой части. Между объемами V_A и V_B действуют процессы перераспределения крови. Кроме того, кровь депонируется в венозном бассейне V_B . В качестве измерителей ИАД₁ и ИАД₂ используются соответственно устройство, реализующее звуковой метод Короткова и устройство для непрерывных измерений АД на основе принципа разгруженной стенки сосудов, по методу Я. Пенъяза.

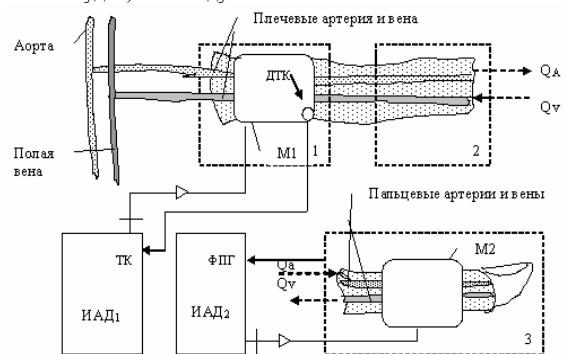


Рис. Биофизическая модель гемодинамических процессов

Таблица

Окклюзионные исследования АД

Процесс	Проявление процесса	Фактор воздействия и условие наблюдения	Регистр. сигналы и измер. показатели.
ОВ	Плетизмографический рост ФПГ-сигнала и P_B в конечности, ниже дистального края плечевой манжеты [6–7].	$P_{M1} < P_D$; приток артериальной крови в конечность не ограничен.	Сигналы: P_{M1} , ФПГ и ТК. Показатели: P_C , P_D .
ОА	Искажение формы волны АД. Модуляция объемных осцилляций кровенаполнения артерий во время декомпрессии.	$P_D < P_{M1} < P_C$	Сигналы: постоянная и переменная составляющие P_{M1} . Показатели: P_C , P_D и P_{Cp} .
О	Отсутствие пульсир. составл. АД. Спад АД, рост P_B . Перераспределение крови между артериальными и венозными сосудами в конечности, с прекращением притока и оттока крови [3–7].	Быстрый подъем $P_{M1} > P_C$ и медленный спад P_{M1} . Непрерывн. слежен. АД, путем $P_{M2}(t) = A_D(t)$ при $ФПГ = ФПГ_{\max, \text{осци}} = \text{const}$. Вторая фаланга пальца в области окклюзии плечевой манжетой.	Сигналы: P_{M2} , ФПГ. Показатели: непрерывное АД; $P_B = P_{B(\text{асимптотич})}$. Параметры T_i переходных процессов перераспределения крови [6].
ВА	Восстановлен. пульса в периферии. Рост АД в периферии	$P_{M1} > P_B$, $P_{M1} = \text{const}$ и медленный спад $P_{M1} < P_C$.	Сигналы: ФПГ периферич. участка конечности. Показатели: P_B , P_C , объемные изменения кровенаполнения (ФПГ), $T_{\text{восст.}}$, СРПВ [6].
ВВ	Управление венозным оттоком и артериальным притоком крови в конечность [4]	$P_{M2}(t) = A_D(t)$, путем слежения за $ФПГ = \text{const} = ФПГ_{\max, \text{осци}}$; $P_{M1} > P_C$, и медленный спад P_{M1} при непрерывном слежении за $P_A(t)$. На любом из этапов окклюзионного воздействия, под контролем объемного кровенаполнения периферических сосудов.	Непрер. АД в пальцевых артериях, ВД и амплитудно-временные показатели динамики изменения кровяного давления. Сигналы: P_{M1} , ТК, $ФПГ_{\text{пост.}}$, $ФПГ_{\text{перем.}}$, P_{M2} . Показатели: амплитудно-временные показатели динамики изменения кр. давления и кровенаполнения [6].
	Распространение пульсовой волны в конечности [6] при разных уровнях P_{M1} .	Восстан. кровотока после перераспредел. крови между артер. и венозн. сосудами.	

Окклюзионная манжета M1 охватывает плечо и воздействует на одноименные артерию и вену, изменяя периферические сопротивления R_{A1} и R_{B1} соответственно артерий и вен в области окклюзии. Сопротивления R_{A1} и R_{B1} препятствуют артериальному и венозному кровотоку Q_A и Q_B . Манжета M2 охватывает периферические кровеносные сосуды в области пальцевой фаланги одного из пальцев той же руки, воздействуя на его артерии и вены. В качестве сигналов биологической обратной связи в ИАД₁ используются тоны Короткова (ТК), снимаемые датчиком ТК в области дистального края плечевой манжеты. В ИАД₂ используется сигнал фотоплетизмограммы ФПГ с датчика в области компрессируемого участка второй фаланги пальца той же руки и отражающий объемное кровенаполнение его сосудов. Измеряе-

мыми параметрами в системе являются величины АД в плечевой артерии и непрерывный сигнал $P_A(t)$ в пальцевых артериях. Представленный измерительный комплекс для исследований АД, объединенный с сосудистой системой конечности является биотехнической системой медицинского назначения (БТС-М) [1]. Она может быть описана в терминах входных и выходных параметров и факторов внешнего воздействия, оказывающих влияние на передаточные функции составных частей. К числу входных параметров целесообразно отнести изменяющиеся во времени физиологические параметры $P_A(t)$ и объемную скорость артериального кровотока $Q_A(t)$, поступающего из аорты. Выходными параметрами представляются физиологические параметры $P_B(t)$ и возвращаемый из конечности в полую вену венозный кровоток $Q_B(t)$. Окклюзионные воздействия $P_{M1}(t)$ и $P_{M2}(t)$, задаваемые измерителями ИАД₁ и ИАД₂, являются внешними действующими факторами. Они прямо влияют на условия и процессы кровообращения в конечности, вызывая ответную сосудистую реакцию. Воздействия создаются на артериальный приток $Q_A(t)$, являющийся входным параметром, и венозный отток $Q_B(t)$. Регистрируемая реакция на воздействия представляется в виде переходных кинетических процессов изменения $P_A(t)$ и $P_B(t)$ в конечности и суммарного кровенаполнения артериальных V_A и венозных V_B сосудов ($V_{\Sigma} = V_A + V_B$). В рамках составленной модели можно представить многие действующие физиологические явления и возможные состояния и анализировать условия гемодинамики при измерениях АД в конечности.

К основным процессам, которые можно анализировать, используя представленную выше биофизическую модель можно отнести: ограничение оттока венозной крови при уровне давления $P_{M1} < P_D$ (процесс ОВ); это ограничение не оказывает значимого препятствия условию притока артериальной крови в конечность; существенное ограничение притока артериальной крови при уровне окклюзии $P_D < P_{M1} < P_C$ (процесс ОА); при этом искажается форма артериальной волны давления; полное прекращение кровоснабжения и кровообращения конечности при $P_{M1} > P_C$ (процесс О); восстановление артериального притока, после остановки кровоснабжения конечности (процесс ВА); восстановление венозного оттока, после остановки кровоснабжения конечности (процесс ВВ). В табл. включены данные об этих процессах и условия их проявления при окклюзионных исследованиях АД.

Биофизическая модель позволяет проводить качественный анализ объемного перераспределения крови и при нормальном кровообращении, и при патологическом состоянии в различных по уровню давления и функции кровеносных сосудах. К ним можно отнести варикозное расширение вен, нарушение однородности или склеротическое состояние стенки артериальных сосудов и др. Данные [4–7] подтверждают результаты рассмотрения процессов по предложенной биофизической модели. При этом показатели модельных переходных процессов перераспределения крови в верхней конечности совпадают с феноменологическими показателями констант времени переходных процессов при различных состояниях стенки кровеносных сосудов [6].

Биофизическая модель полезна при проектировании алгоритмов, расширяющих функциональные возможности методов исследования, для получения физиологических данных [4–7]. Это дает перспективу развития медицинской техники, предназначенной для исследований АД и гемодинамических процессов в организме в целом и физиологических механизмов их регуляции.

Литература

1. Ахутин В.М. и др. Биотехнические системы. /Под ред. В.М. Ахутина.— Л.: ЛГУ.— 1981.— 181 с.
2. Чашин А.В. // Известия СПбГЭТУ.— 2005.— вып. 1.— С 82.
3. Чашин А.В. // Мат-лы 60-й научно-техн. конф. СПбНТО-РЭС.— 2005.— С. 222–224.
4. Чашин А.В. // Известия СПбГЭТУ.— 2005.— Вып. 2.— С. 110–116.
5. Эман А.А. Биофизические основы измерения артериального давления.— М.: Медицина, 1983.
6. Ахутин В.М. и др. // Мед. техника.— 1991.— №1.— С. 7–10.
7. А.В. Чашин. // Мат-лы III научно-практ. конф. Аппаратура и методы медицинского контроля и функциональной диагностики состояния человека в экстремальных условиях.— 2005, СПб.— С. 85–87.