

УДК 616.126.425-073.48

**ВЕГЕТАТИВНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В.И. ШИШКО

Кафедра факультетской терапии

УО «Гродненский государственный медицинский университет»

*В статье представлены современные представления о вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы, отражены вопросы иннервации и рефлекторной регуляции сердечной деятельности с позиций нормальной физиологии.*

**Ключевые слова:** вегетативная нервная система, иннервация сердца, рефлекторная регуляция сердечной деятельности.

*The article represents current views on vegetative regulation of cardiovascular system, and describes the aspects of innervation and reflex regulation of cardiac activity as viewed from physiology.*

**Key words:** vegetative nervous system, cardiac innervation, reflex regulation of cardiac activity

Вегетативная нервная система (ВНС) – отдел нервной системы, регулирующий деятельность внутренних органов, желез внешней и внутренней секреции, кровеносных и лимфатических сосудов [10]. Первые сведения о структуре и функции ВНС принадлежат Галену (II век н.э.). J. Reil (1807) ввёл понятие «вегетативная нервная система», а J. Langley (1889) дал морфологическое описание ВНС, предложил деление её на симпатический и парасимпатический отделы, ввёл термин «автономная нервная система», учитывая способность последней самостоятельно осуществлять процессы регуляции деятельности внутренних органов. В настоящее время в русско-, немецко-, франкоязычной литературе можно встретить термин вегетативная нервная система, а в англоязычной – автономная нервная система (АНС). Деятельность ВНС в основном произвольна и сознанием непосредственно не контролируется, направлена на поддержание постоянства внутренней среды и приспособление её к изменяющимся условиям внешней среды [8, 10].

**Анатомия вегетативной нервной системы**

С точки зрения иерархии управления, ВНС условно делят на 4 этажа (уровня). Первый этаж – интрамуральные сплетения, второй – паравертебральные и превертебральные ганглии, третий – центральные структуры симпатической нервной системы (СНС) и парасимпатической нервной системы (ПСНС). Последние представлены скоплениями преганглионарных нейронов в стволе мозга и спинном мозге. Четвёртый этаж включает высшие вегетативные центры (лимбико-ретикулярный комплекс – гиппокамп, грушевидная извилина, миндалевидный комплекс, перегородка, передние ядра таламуса, гипоталамус, ретикулярная формация, мозжечок, кора больших полушарий). Первые три этажа формируют сегментарный, а четвёртый – надсегментарный отделы ВНС. Кора головного мозга является высшим регуляторным центром интегративной деятельности, активируя как моторные, так и вегетативные центры. Лимбико-ретикулярный комплекс и мозжечок отвечают за координацию вегетативных, поведенческих, эмоциональных, нейроэндокринных реакций организма. В продолговатом мозге расположен сердечно-сосудистый центр, объединяющий парасимпатический (кардиоингибиторный), симпатический (вазодепрессорный) и сосудодвигательный центры, регуляция которых осуществляется подкорковыми узлами и корой головного мозга. Ствол мозга постоянно поддерживает вегетативный тонус. Симпатический отдел ВНС вызывает мобилизацию деятельности жизненно важных органов, повышает энергообразование в организме, стимулирует работу сердца (повышается ЧСС, воз-

растает скорость проведения по специализированным проводящим тканям, увеличивается сократимость миокарда). Парасимпатический отдел ВНС оказывает трофотропное действие, способствуя восстановлению нарушенного во время активности организма гомеостаза, действует угнетающе на сердце (снижает ЧСС, атриовентрикулярную проводимость и сократимость миокарда) [1, 4, 6, 9].

Ритм сердца определяется способностью специализированных клеток сердца спонтанно активироваться, так называемым свойством сердечного автоматизма. Автоматизм обеспечивает возникновение электрических импульсов в миокарде без участия нервной стимуляции. В нормальных условиях процессы спонтанной диастолической деполяризации, определяющие свойство автоматизма, наиболее быстро протекают в синоатриальном узле (СУ). Именно СУ узел задаёт ритм сердца, являясь водителем ритма 1 порядка. Обычная частота синусового импульсообразования – 60 – 100 импульсов в минуту, т.е. автоматизм СУ не является постоянной величиной, он может изменяться в связи с возможным смещением водителя ритма в пределах узла. В настоящее время ритм сердца рассматривается не только как показатель собственной функции ритмообразования СУ, но в большей степени как интегральный маркер состояния множества систем, обеспечивающих гомеостаз организма. В норме основное модулирующее влияние на ритм сердца оказывает вегетативная нервная система (ВНС) [1, 6, 7].

**Иннервация сердца**

Преганглионарные парасимпатические нервные волокна берут начало в продолговатом мозге, в клетках, которые находятся в дорсальном ядре блуждающего нерва (nucleus dorsalis n. vagi) или двойном ядре (nucleus ambiguus) X черепного нерва. Эфферентные волокна проходят вниз по шее, вблизи общих сонных артерий и через средостение, образуя синапсы с постганглионарными клетками. Синапсы формируют парасимпатические ганглии, располагающиеся внутрисстеночно, преимущественно вблизи СУ и атриовентрикулярного соединения (АВС). Нейромедиатором, выделяющимся из постганглионарных парасимпатических волокон, является ацетилхолин. При этом раздражение блуждающего нерва приводит к замедлению диастолической деполяризации клеток, снижает частоту сердечных сокращений (ЧСС). При непрерывной стимуляции блуждающего нерва латентный период реакции составляет 50-200 мс, что обусловлено действием ацетилхолина на специфические ацетилхолинэргические К<sup>+</sup> каналы в клетках сердца. Постоянный уровень ЧСС достигается через несколько сер-

дечных циклов. Однократная стимуляция блуждающего нерва или короткая серия импульсов оказывает влияние на ЧСС в течение последующих 15-20 с, с быстрым возвращением к контрольному уровню, благодаря быстрой деградацией ацетилхолина в области СУ и АВС. Сочетание 2 характерных особенностей парасимпатической регуляции – короткого латентного периода и быстрого угасания ответной реакции, позволяет ей осуществлять быструю регуляцию и контроль за работой СУ и АВС практически при каждом сокращении [5, 7, 8].

Волокна правого блуждающего нерва иннервируют преимущественно правое предсердие и особенно обильно СУ, а левого блуждающего нерва – АВС. В результате при раздражении правого блуждающего нерва более выражен отрицательный хронотропный эффект, а при стимуляции левого – отрицательный дромотропный. Парасимпатическая иннервация желудочков выражена слабо, в основном представлена в задненижней стенке левого желудочка. Поэтому при ишемии или инфаркте миокарда данной области отмечается брадикардия и гипотония, обусловленные возбуждением блуждающего нерва и описаны в литературе как рефлекс Бекольда-Яриша [4].

Преганглионарные симпатические волокна берут начало в интермедиадлатеральных столбах 5-6 верхних грудных и 1-2 нижних шейных сегментах спинного мозга. Аксоны преганглионарных и постганглионарных нейронов образуют синапсы в трёх шейных и звёздчатом ганглиях. В средостении постганглионарные волокна симпатических и преганглионарные волокна парасимпатических нервов соединяются вместе, образуя сложное нервное сплетение смешанных эфферентных нервов, идущих к сердцу. Постганглионарные симпатические волокна достигают основания сердца в составе адвентиции крупных сосудов, где образуют обширное сплетение эпикарда. Затем они проходят сквозь миокард, вдоль коронарных сосудов. Нейромедиатором, выделяющимся из постганглионарных симпатических волокон, является норадреналин, уровень которого одинаков как в СУ, так и в области правого предсердия [2, 7, 8, 9].

Повышение симпатической активности вызывает увеличение ЧСС, ускоряет диастолическую деполяризацию клеточных мембран, смещает водитель ритма к клеткам с самой высокой автоматической активностью. При стимуляции симпатических нервов ЧСС повышается медленно, латентный период реакции составляет 1-3 с, а установившийся уровень ЧСС достигается лишь через 30-60 с от начала стимуляции. На скорость реакции влияет то, что медиатор вырабатывается довольно медленно нервными окончаниями, а воздействие на сердце осуществляется через относительно медленную систему вторичных мессенджеров – аденилатциклазу. После прекращения стимуляции хронотропный эффект исчезает постепенно. Скорость исчезновения эффекта стимуляции определяется снижением концентрации норадреналина в межклеточном пространстве, которая изменяется путём поглощения последнего нервными окончаниями, кардиомиоцитами и диффузией нейромедиатора в коронарный кровоток. Симпатические нервы практически равномерно распределены по всем отделам сердца, с максимальной иннервацией области правого предсердия. Симпатические нервы правой стороны преимущественно иннервируют переднюю поверхность желудочков и СУ, а левой – заднюю поверхность желудочков и АВС [7, 8].

Афферентная иннервация сердца осуществляется в основном миелинизированными волокнами, идущими

в составе блуждающего нерва. Рецепторный аппарат в основном представлен механо- и барорецепторами, расположенными в правом предсердии, в устьях легочных и полых вен предсердий, желудочках, дуге аорты, синокаротидном синусе [7]. По мнению большинства исследователей, регуляторные влияния ПСНС на СУ и АВС значительно превосходят влияния СНС.

Деятельность ВНС находится под влиянием центральной нервной системы (ЦНС) по механизму обратной связи. Обе системы тесно связаны между собой, а нервные центры на уровне ствола и полушарий головного мозга невозможно разделить морфологически. Самый верхний уровень взаимодействия осуществляется в сосудодвигательном центре, куда поступают и где обрабатываются афферентные сигналы из сердечно-сосудистой системы и где происходит регуляция эфферентной активности симпатической и парасимпатической нервной деятельности. Кроме интеграции на уровне ЦНС, важную роль играет также взаимодействие на уровне пре- и постсинаптических нервных окончаний, что подтверждено результатами анатомических и гистологических исследований. В последних исследованиях обнаружены особые клетки, содержащие большие запасы катехоламинов, на которых расположены синапсы, образованные терминальными окончаниями блуждающего нерва, что указывает на возможность прямого воздействия блуждающего нерва на адренергические рецепторы. Установлено, что часть внутрисердечных нейроцитов имеют положительную реакцию на моноаминоксидазу, что указывает на их роль в метаболизме норадреналина [7, 8].

Несмотря на разнонаправленное в целом действие СНС и ПСНС, при одновременной активации обоих отделов ВНС их эффекты не складываются простым алгебраическим способом и взаимодействие нельзя выразить линейной зависимостью. В литературе описано несколько типов взаимодействия отделов ВНС [1, 4, 8, 9, 12]. Согласно принципу «акцентированного антагонизма», ингибирующий эффект данного уровня парасимпатической активности тем сильнее, чем выше уровень симпатической активности, и наоборот. С другой стороны, при достижении определённого результата снижения активности в одном отделе ВНС происходит повышение активности другого отдела по принципу «функциональной синергии». При исследовании вегетативной реактивности необходимо учитывать «закон исходного уровня», согласно которому чем выше исходный уровень, тем в более деятельном и напряженном состоянии находится система, тем меньший ответ возможен при действии возмущающих стимулов.

Состояние отделов ВНС претерпевает значительные изменения на протяжении жизни человека. В младенческом возрасте отмечается значительное преобладание симпатических нервных влияний при функциональной и морфологической незрелости обоих звеньев ВНС. Развитие симпатического и парасимпатического отделов ВНС после рождения происходит интенсивно, и к моменту полового созревания плотность расположения нервных сплетений в различных отделах сердца достигает наивысших показателей. При этом у лиц молодого возраста отмечается доминирование парасимпатических влияний, проявляющихся в исходной ваготонии в состоянии покоя. Начиная с 4-го десятилетия жизни, начинаются инволютивные изменения в аппарате симпатической иннервации, при сохранении плотности холинергических нервных сплетений. Процессы десимпатизации приводят к снижению симпатической активности и падению плотности распределения нервных сплетений на кар-

диомиоцитах, гладкомышечных клетках, способствуя гетерогенности потенциалзависимых свойств мембраны в клетках проводящей системы, рабочем миокарде, стенках сосудов, гиперчувствительности рецепторного аппарата к катехоламинам и могут служить основой аритмий, в том числе и фатальных. Имеются также и половые различия в состоянии вегетативного нервного тонуса. Так, у женщин молодого и среднего возраста (до 55 лет) отмечена более низкая активность симпатической нервной системы, чем у мужчин аналогичного возраста [11]. Таким образом, вегетативная иннервация различных отделов сердца неоднородна и несимметрична, имеет возрастные и половые различия. Согласованная работа сердца является результатом динамического взаимодействия отделов ВНС между собой [5, 6, 7, 9].

#### Рефлекторная регуляция сердечной деятельности

Артериальный барорецепторный рефлекс является ключевым механизмом краткосрочной регуляции артериального давления (АД). Оптимальный уровень системного артериального давления является одним из наиболее важных факторов, необходимых для адекватной работы сердечно-сосудистой системы. Аfferентные импульсы от барорецепторов каротидных синусов и дуги аорты по ветвям языкоглоточного нерва (IX пара) и блуждающего нерва (X пара) поступают к кардиоингибиторному и сосудодвигательному центру продолговатого мозга и другим отделам ЦНС. Эfferентное плечо барорецепторного рефлекса образуется симпатическими и парасимпатическими нервами. Импульсация от барорецепторов повышается на увеличение абсолютной величины растяжения и скорости изменения растяжения рецепторов. Повышение частоты импульсации от барорецепторов оказывает тормозящее влияние на симпатические центры и возбуждающее на парасимпатические, что приводит к снижению вазомоторного тонуса в резистивных и емкостных сосудах, уменьшению частоты и силы сердечных сокращений. Если среднее АД резко снижается, тонус блуждающего нерва практически исчезает, а рефлекторная регуляция осуществляется исключительно за счёт изменений эfferентной симпатической активности. При этом повышается общее периферическое сопротивление сосудов, увеличивается частота и сила сердечных сокращений, направленных на восстановление исходного уровня АД. И наоборот, если АД резко повышается, симпатический тонус полностью угнетается, а грация рефлекторной регуляции происходит только благодаря изменениям эfferентной регуляции вагуса [3].

Повышение давления в желудочках вызывает раздражение субэндокардиальных рецепторов растяжения и активацию парасимпатического кардиоингибиторного центра, что приводит к рефлекторной брадикардии и вазодилатации [7, 10].

Рефлекс Бейбриджа характеризуется повышением симпатического тонуса с повышением ЧСС в ответ на увеличение внутрисосудистого объема крови и повышение давления в крупных венах и правом предсердии. При этом происходит рост ЧСС, несмотря на сопутствующий подъём АД. В реальной жизни рефлекс Бейбрид-

жа преобладает над артериальным барорецепторным рефлексом в случае увеличения объёма циркулирующей крови. Исходно и при уменьшении объёма циркулирующей крови барорецепторный рефлекс преобладает над рефлексом Бейбриджа [4, 10].

Ряд факторов, участвующих в поддержании гомеостаза организма, влияет на рефлекторную регуляцию сердечной деятельности, при отсутствии значимых изменений активности ВНС. К ним относятся хеморецепторный рефлекс, изменения уровня электролитов крови (калия, кальция). На частоту сердечных сокращений оказывают влияние также фазы дыхания: вдох вызывает угнетение блуждающего нерва и ускорение ритма, выдох – раздражение блуждающего нерва и замедление сердечной деятельности [7].

Таким образом, в обеспечении вегетативного гомеостаза участвует большое количество разнообразных регуляторных механизмов. По мнению большинства исследователей, ритм сердца является не только показателем функции СУ, но и интегральным маркером состояния множества систем, обеспечивающих гомеостаз организма, с основным модулирующим влиянием ВНС [1, 3, 9, 12]. Попытка выделить и количественно оценить влияние на ритм сердца каждого из звеньев – центрального, вегетативного, гуморального, рефлекторного – несомненно, является актуальной задачей в кардиологической практике, так как её решение позволит разработать дифференциально-диагностические критерии сердечно-сосудистой патологии на основании простой и доступной оценки состояния ритма сердца

#### Литература

- 1 Баевский, Р.М. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, О.И. Кириллов, С.З. Клецкин. – М.: Наука, 1984. – 220 с.
- 2 Вейн, А.М. Вегетативные расстройства / А.М. Вейн. – М.: Медицина, 1998. – 740 с.
- 3 Михайлов, В.М. Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения / В.М. Михайлов. – Иваново: Иван. гос. мед. академия, 2002. – 290 с.
- 4 Михайлов, С.С. Клиническая анатомия сердца / С.С. Михайлов. – М.: Медицина, 1987. – 287 с.
- 5 Морман, Л. Физиология сердечно-сосудистой системы / Д. Морман, Л. Хеллер. – Питер., 2000. 363 с.
- 6 Патофизиология заболеваний сердечно-сосудистой системы / под ред. Л. Лили; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 598 с.
- 7 Рябыкина, Г.В. Анализ вариабельности ритма сердца / Г.В. Рябыкина, А.В. Соболев // Кардиология. – 1996. – №10. – С. 87-97.
- 8 Физиология и патофизиология сердца / под ред. Н.Сперлакиса. – М.: Медицина, 1990. – Т. 2. – 624 с.
- 9 Физиология человека / Н.А. Агаджанян [и др.]; СПб.: Солис, 1998. – 527с.
- 10 Физиология человека: в 3 т.: пер. с англ.; под ред. Р.М. Шмидта и Г. Тевса. – М.: Мир, 1996.
- 11 Швалёв, В.Н. Феномен ранней возрастной инволюции симпатического отдела вегетативной нервной системы / В.Н. Швалёв, Н.Ф. Тарский // Кардиология. – 2001. – № 2. – С. 10-14.
- 12 Banister, R. Autonomic Failure: a Textbook of Clinical Disorders of the Autonomic Nervous System / R. Banister. – Oxford, 1983.

Поступила 10.03.09