

## ДИНАМИКА СОМАТО-ВЕГЕТАТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ ЖИВОТНЫХ И ЧЕЛОВЕКА

© Ю. П. Пушкарёв

ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России

**Резюме.** В раннем онтогенезе надежность функционирования физиологических систем обеспечивается их повышенной функциональной активностью в состоянии относительного покоя. Период выраженных качественных изменений деятельности физиологических систем составляет 6–7 лет. В 9–10 лет развитие системной организации характеризуется высокой степенью специализации и интеграции отдельных системных элементов.

**Ключевые слова:** кардиореспираторное взаимодействие; онтогенез; вегетативная нервная система.

Направленность исследований по возрастной физиологии диктует необходимость комплексного физиологического изучения, ибо только такой подход позволяет выявить механизмы и особенности целостного реагирования организма на факторы окружающей среды. Исследования функционирования физиологических систем в онтогенезе и при разных физиологических состояниях — в покое и в процессе деятельности — позволяет выяснить и уточнить механизмы, обеспечивающие на разных этапах возрастного развития надежность функционирования. Есть основания утверждать, что в настоящее время имеется фрагментарная и феноменологическая характеристика функционирования растущего организма.

Анализ собственных экспериментальных материалов [1–5] и данных литературы позволяют сделать определенные выводы относительно самого яркого проявления сомато-вегетативного взаимодействия — кардиореспираторного сопряжения (КРС).

Согласно классификации В. Н. Черниговского, рефлексы, принимающие участие в регуляции функций сердечно-сосудистой системы (ССС), можно разделить на собственные (системные) и сопряженные (межсистемные). Собственные рефлексы обеспечивают деятельность сердца и сосудов благодаря наличию высокоспециализированных рецептивных зон, расположенных в пределах самой ССС. К ним относятся реакции, возникающие с рецептивных зон дуги аорты, самого сердца, каротидного синуса. Во внутреннем контуре рефлекторной регуляции системы кровообращения с рецептивных зон возникают рефлексы и на другие функциональные системы организма, однако они, в первую очередь, реализуются в ССС. Благодаря обширным связям вегетативной нервной системы (ВНС), внешний контур регуляции представлен сопряженными

рефлексами, возникающими при вовлечении различных рецепторов в соматических и висцеральных образованиях и органах чувств, т. е. в других функциональных системах.

Сопряженные рефлексы характеризуются: 1) более высокими по сравнению с собственными рефлексами порогами возбуждения; 2) не имеют прямого отношения к регуляции взаимоотношений в пределах определенной функциональной системы, обеспечиваемой системными рефлексами; 3) в большей мере генерализованы, т. е. могут осуществляться практически в любой функциональной системе при использовании различных эффекторов.

Среди сопряженных взаимодействий наиболее известно кардио-респираторное сопряжение (КРС). Связи между ССС и дыхательной системой (ДС) подтверждаются многими фактами — волнами артериального давления (второго порядка — дыхательными), фазовыми изменениями частоты сердечных сокращений (ЧСС) при понижении и повышении внутрилегочного давления (пробы Мюллера и Вальсальвы), присутствием дыхательного пульсового ритма в импульсной активности диафрагмального нерва и инспираторных нейронов продолговатого мозга, дыхательной аритмии в работе сердца и др.

Непременным условием эффективности тканевого газообмена является поддержание оптимальных вентиляционно-перфузионных отношений, которые обеспечиваются сопряженной работой систем дыхания и кровообращения. Дыхательная аритмия проявляется учащением сердцебиений на вдохе и их замедлением на выдохе. Отмечено, что дыхательная аритмия меньше выражена у мелких животных с высокой частотой сердцебиений. У детей до пубертантного периода она проявляется чаще, чем у взрослых [1–2]. Урежение частоты пульса при задержке дыхания, как при нырянии

или погружении лица в воду (рефлекс ныряльщика) может достигать 40 раз в минуту.

На основании собственных экспериментальных материалов и данных литературы констатируем, что в раннем постнатальном онтогенезе надежность функционирования физиологических систем, прежде всего КРС, обеспечивается их высокой функциональной активностью в состоянии относительного покоя. Это проявляется в высоких показателях основного обмена, кровообращения, ритма сердца, частоты дыхания, в специфике пространственно-временной организации электрической активности мозга, характеризующейся обширными генерализованными функциональными связями.

У детей 5–17 лет и животных (кошки, крысы) раннего возраста межсистемные связи, в том числе КРС, характеризуются генерализованностью и изменчивостью. Диффузность и малая специфичность реакций, реализуемых за счет вовлечения многих звеньев систем, указывают на недостаточную способность сердечно-сосудистой и дыхательной систем к координированной деятельности.

Снижение функциональной активности, специализация отдельных элементов систем, экономизация их деятельности отмечаются в процессе онтогенеза. В 6–7-летнем возрасте человека отмечаются наиболее выраженные качественные перестройки функциональных систем. Совершенная организация системных функций складывается в 9–10 лет и завершается в постпубертатный период. При посредстве возросших регуляторных воздействий ЦНС и гипоталамо-гипофизарной оси на другие органы и системы деятельность КРС с этого периода характеризуется высокой специализацией и интеграцией ее отдельных звеньев. Разумеется, при этом связь сердечно-сосудистой и респираторной систем, как и других, сохраняется, что выявляется особенно четко при использовании разных функциональных нагрузок.

Взаимосвязь двух элементов КРС несколько нарушается в начальных стадиях полового созревания. Но на завершающем этапе полового созревания повышенная активность органов в состоянии покоя, обуславливающая также измененную реактивность на внешние воздействия, нивелируется.

Определяющим механизмом КРС является интенсивная эфферентация от интродуктивных аппаратов. КРС проявляется в неоднозначных формах, с отсутствием линейной корреляционной зависимости, что свидетельствует о многовариантности вовлечения и сочетания

механизмов, регулирующих деятельность этих систем. В единой системе обеспечения тканей кислородом при физических нагрузках выявляется больший вклад сердечно-сосудистой, а при гипотермически-гипоксических воздействиях — дыхательной системы.

Представляется, что одним из приемов, способствующих функциональной диагностике, является характеристика билатеральной функциональной асимметрии ряда показателей КРС [5]. Конкретно, речь идет о коэффициенте функциональной асимметрии в ряде симметричных точек тела показателей кардиоинтервалографии, электропроводности, температуры, дермографической пробы, ЭМГ дыхательных мышц и др.

Систематическое определение этих показателей, их интегральная оценка обеспечивают возможность выявления профиля асимметрии КРС. Последний может быть использован не только для характеристики кардио-респираторного сопряжения, но и топической диагностики патологических очагов.

Коэффициент билатеральной функциональной асимметрии выявляется не только в период покоя, но и при дозированных функциональных пробах, прежде всего латерализованных температурных, электрических и др. Он зависит от возраста, антропометрического статуса человека и др.

Показано, что сопряжение кровообращения и дыхания проявляется в неоднозначных формах, с отсутствием линейной корреляционной зависимости, что свидетельствует о многовариантности вовлечения и сочетания механизмов, инициирующих и регулирующих деятельность этих систем.

Динамика КРС определяется вегетативным статусом организма, зависит от проприоцептивной импульсации от мышечного аппарата дыхательных мышц, рецепторов дыхательных путей, гиперкапнических и гипоксических влияний, рецепторного аппарата ССС.

У исследованных нормотензивных крыс в почечном, большом чревном и шейном симпатических нервах фоновая и эфферентная импульсация представлена негруппирующимися (10–15 мкВ) и более высоковольтными колебаниями (около 25 мкВ), группирующимися в ритме пульса и дыхания. Обычно дыхательные группировки возникают в начале диастолы и вдоха и исчезают в конце вдоха и систолы сердца. Общая частота разрядов могла достигать 200 и более в секунду, но зачастую была реже. Высокий ритм колебаний при отведении с целого нерва обуславливается одновременной низкочастотной активностью многих нервных волокон.

Отмеченные показатели изучались нами и в опытах на нормотензивных крысах линии Вистар и спонтанно гипертензивных крысах (СГК). В почечном, большом чревном и шейном симпатическом нервах нормотензивных крыс фоновая эфферентная импульсация представлена негруппирующимися низкоамплитудными (10–15 мкВ) и более высокоамплитудными колебаниями (около 25 мкВ), группирующимися в ритме пульса и дыхательных движений. Обычно дыхательные группировки возникали в начале диастолы и вдоха и исчезали в конце вдоха и систолы сердца. Общая частота разрядов могла достигать 200 и более в секунду, но зачастую реже [4].

Особенность нейрограмм симпатических нервов СГК в период 5–16 недель постнатального онтогенеза — отсутствие четкой синхронизации фоновых разрядов, зачастую наличие сплошного потока импульсации. За счет появления новых низкоамплитудных и более высокоамплитудных потенциалов частота фоновой импульсации иногда превышает 200–250 в сек, т. е. повышена в 1,5–2,0 раза по сравнению с контролем. В ряде опытов для более тщательного изучения нейрограмм с нервов снималась оболочка и из общего ствола выделялись филаменты, в которых различалась импульсация от 1 до 5 волокон. Результаты позволяют сделать вывод, что интенсификация импульсных разрядов в нервах у СГК объясняется увеличением числа потенциалов в каждом из волокон.

Есть все основания полагать, что активность симпатической нервной системы существенно повышена в период становления генетически детерминированной гипертензии. Как показывает анализ, гиперсимпатикотония не просто сопутствует артериальной гипертензии, а провоцирует ее. Это положение хорошо подтверждается в экспериментах с химической десимпатизацией с помощью ежедневного внутрибрюшинного введения новорожденным крысам гуанетидина-изобарина (12 сут по 20 мг/кг).

Рост артериального давления с возрастом у СГК на фоне десимпатизации в значительной мере замедляется, но осуществляется все же в большей мере, чем у нормотензивных животных. Хорошие корреляционные связи между частотой дыхания и частотой сердцебиений наблюдались у контрольных животных и СГК в онтогенезе. Таким образом, десимпатизация (деструкция симпатических ганглиев), сопряженная с редукцией симпатического вазоконстрикторного потока, в значительной мере, хотя и не полностью, предотвращает повышение артериального давления. По нашим

наблюдениям, денервация почки, ведущая к повышению дефильтрационной способности, в большей мере уменьшает рост гипертензии.

Факт, что рективность барорецепторно-симпатической рефлекторной цепи СГК понижена в сравнении с контрольными животными подтверждается в опытах с использованием функциональных нагрузок (норадреналиновая проба, кратковременная окклюзия сонной артерии, геморрагия). Эта гипореактивность увеличивается с возрастом животных, отражая не только меньшую чувствительность барорецепторных механизмов СГК, но и центральные нарушения этой функции. При кратковременном пережатии трахеи реакция тахикардии у нормотензивных крыс была более выражена, чем у СГК. Это еще одно свидетельство меньшего КРС у больных животных.

Вывод, который следует из наших исследований, сводится к тому, что у спонтанно гипертензивных крыс в редуцированном виде сохраняется кардио-респираторное сопряжение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пушкарев Ю.П. Сомато-вегетативные корреляции в онтогенезе // Вестник педиатрической академии. — 2007. — № 5. — С. 44–46.
2. Пушкарев Ю.П., Артеменков Ф.Ф., Синельникова Е.В. Онтогенетические аспекты сомато-висцерального взаимодействия // Физиология в вузах России и СНГ. — СПб., 1998. — С. 85–86.
3. Пушкарев Ю.П., Герасимов А.П., Синельникова Е.В., Артеменков А.А. Коэффициент билатеральной асимметрии в оценке функций кардио-респираторной системы // Растущий организм: адаптация к физической и умственной нагрузке. — Казань, 1998. — С. 101.
4. Пушкарев Ю.П., Хама-Мурад А.Л., Синельникова Е.В. Кардио-респираторное сопряжение у крыс с генетически обусловленной гипертензией // Вестник педиатрической академии. — 2003. — С. 171–173.
5. Пушкарев Ю.П., Скворцова М.Ю., Синельникова М.Л. Кардио-респираторные взаимоотношения в онтогенезе // Механизмы функционирования висцеральных систем. — СПб., 2012. — С. 192–193.

#### DYNAMIC OF SOMATIC-VEGETATIVE RELATING ONTOGENESIS OF ANIMALS AND MAN

Pushkarev Yu.P.

◆ **Resume.** In early ontogenesis the functioning reliability of physiological systems is provided by their increased functional

activity in a relative rest state. The period of pronounced qualitative activity changes of physiological systems is 6–7 years of age. At 9–10 years the system organization develops, characterized by high specialization and integration of individual units of systems.

◆ **Key words:** cardiorespiratory coupling in ontogenesis.

◆ Информация об авторе

*Пушкарев Юрий Петрович* – д-р биол. наук, профессор кафедры нормальной физиологии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России. 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2. E-mail: [sinelnikovae@gmail.com](mailto:sinelnikovae@gmail.com).

*Pushkarev Yuriy Petrovich* – PhD, Professor, Department of Normal Physiology. 2, Litovskaya St., St. Petersburg, 194100, Russia. E-mail: [sinelnikovae@gmail.com](mailto:sinelnikovae@gmail.com).