

ФОРМИРОВАНИЕ И ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

FORMATION AND FUNCTIONS OF THE NERVOUS SYSTEM IN THE HUMAN BODY

A. Morozova
M. Labzina
M. Morozov
T. Kiyayeva
J. Setyaeva
S. Kizhapkina
A. Emel'yanov

Summary. The resulting specialized (differentiated) cells cannot exist independently, so they begin to cooperate, forming tissues and organs. In the formation of organs, cell membranes play an important role through intermediate processes: cell contacts, adhesion, and aggregation. The original experiment, which proves the ability of embryonic tissues to self-determination, encoded in ontogenesis, deserves attention and admiration. Four different tissues of the amphibian embryo were taken: the epidermis, the neural plates, the region of the neural folds, and the cells of the intestinal ectoderm. Cells were randomly disaggregated and mixed. After some time, they gradually began to sort out, and this process continued until three layers were formed: the upper one was the epidermal layer of tissue, the middle one was the neural tube, the lower one was the accumulation of endodermal cells, i.e. selective sorting was observed — cell segregation. At present, it is known that the development of organs and the embryo as a whole is organized by the dorsal lip of the blastopore.

Keywords: morphogenesis, nervous system, neural tube, embryo formation.

Морозова Анастасия Сергеевна

Врач-ординатор по акушерству и гинекологии,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.
Огарёва»
asyatol97@mail.ru

Лабзина Маргарита Владимировна

К.м.н., доцент кафедры акушерства и гинекологии,
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.
Огарёва»
LudmilaMedin@yandex.ru

Морозов Максим Владимирович

Врач-ординатор по неврологии, ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н.П. Огарёва»
morozov_mv93@mail.ru

Кияева Татьяна Александровна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.
Огарёва» kiyayeva.tanya.2002@gmail.com

Сетяева Юлия Игоревна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.
Огарёва»
setyaeva-julia@rambler.ru

Кижапкина Софья Васильевна

ФГАОУ ВО «Российский национальный
исследовательский Медицинский Университет им.
Н.И. Пирогова», Министерства здравоохранения
Российской Федерации
skizhapkina@bk.ru

Емельянов Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет им. Н.П.
Огарёва»
booger.man2013@yandex.ru

Аннотация. Образовавшиеся специализированные (дифференцированные) клетки не могут существовать самостоятельно, поэтому они начинают кооперироваться, образуя ткани и органы. В образовании органов важнейшую роль играют клеточные мембраны путем промежуточных процессов: клеточных контактов, адгезии, агрегации. Заслуживает внимания и восхищения оригинальный эксперимент, доказывающий закодированную в онтогенезе способность эмбриональных тканей к самоопределению. Были взяты четыре разные ткани эмбриона амфибий: эпидермис, нервные пластины, участок нервных валиков, клетки эктодермы кишечника. Клетки случайным образом дезагрегировали и смешали. Через некоторое время они постепенно начали рассортировывать-



Введение

Спинная губа индуцирует в эктодерме образование головного и спинного мозга, а сама дифференцируется в спинную хорду и сомиты. В общем процесс образования тканей и органов начинается с формирования нервной пластинки на спинной стороне зародыша. Затем стороны нервной пластинки поднимаются и образуют нервные валики, а между ними возникает полость будущей нервной системы. Края валиков соединяются (на спинной стороне), и нервная пластинка превращается в нервную трубку, которая отделяется от остальной части эктодермы, срастающейся над нервной трубкой и впоследствии дающей начало покровному эпителию. Из эктодермы, кроме нервной трубки, возникают органы чувств, внешний слой покровов (эпидермис кожи), кожные железы, передняя и задняя кишки. Энтодерма дает начало эпителию, выстилающему полость средней кишки, и ее производным — пищеварительным железам (печень, поджелудочная железа), хорде, легким, секреторным отделам передней и задней долей гипофиза и щитовидной железе. Из мезодермы формируются зачатки скелета, мышц, кровеносной системы, соединительнотканых слоев кожи, плевры; брыжейка брюшной полости; перикард; половые и выделительные органы [1,2]. Механизм морфогенеза. Большинство соседних тканей обмениваются индукционными сигналами, что стимулирует образование новых тканей и органов. Функции индукционных сигналов выполняют кейлоны — гормоны местного действия, которые обладают способностью временно тормозить митотическую активность клеток и вместе с антикейлонами направляют клетки на пути дифференцировки [3]. Сформировавшиеся в органы скопления специализированных клеток не могут длительное время существовать самостоятельно и выполнять определенные функции, координацию которых в организме человека выполняют тысячи регуляторных систем. Наиболее сложными из них являются системы генетической регуляции. На уровне отдельных органов и всего организма действует множество других регуляторных систем. Важнейшими из них, как известно, являются нервная, кровеносная, дыхательная, пищеварительная, выделительная, иммунная,

причем этот процесс продолжался до тех пор, пока не образовались три слоя: верхний — эпидермальный слой ткани, средний — нервная трубка, нижний — скопление энтодермальных клеток, т.е. наблюдалась избирательная сортировка — сегрегация клеток. В настоящее время известно, что программу развития органов и эмбриона в целом организует дорсальная губа бластопора.

Ключевые слова: морфогенез, нервная система, нервная трубка, формирование эмбриона.

гормональная, которые формируют и поддерживают гомеостаз — внутреннюю среду жизнедеятельности организма. Необходимо признать, что из всех перечисленных регуляторных систем ведущую роль в координации всех функций нашего организма играет нервная система, различные ее звенья. Поэтому, как вы, видимо, обратили внимание, первичные структуры нервной системы начинают закладываться уже на ранних стадиях морфогенеза. В зрелом состоянии по характеру выполняемых функций нервную систему можно разделить на три звена: чувствительное (афферентное), центральное (интегративное) и двигательное (моторное). Основу чувствительного звена составляют многочисленные и многообразные рецепторы (баро-, хемо-, электромагнитные и др.), через которые организм получает первичную информацию о внешних факторах, воздействующих на организм, и сигналы о возникших изменениях гомеостаза. Поражает скорость прохождения сигнала — миллисекунды, благодаря чему организм успевает реагировать на большинство экстренных ситуаций. Особенностью рецепторов является их высокая специфичность. Различают быстро адаптирующиеся (скоростные, динамические) и медленно адаптирующиеся рецепторы. Отличие их заключается в самом механизме восприятия и передачи информации. Быстро адаптирующиеся рецепторы не могут использоваться для передачи непрерывного сигнала, потому что они активизируются только при изменении силы стимула. Но если стимул (раздражитель) действительно сильный, то рецепторы реагируют мгновенно и очень сильно. Например, один из механорецепторов, так называемые тельца Пачини, в случае сдавливания ткани мгновенно, в течение нескольких миллисекунд, возбуждается, но затем возбуждение прекращается, несмотря на продолжающееся давление. Правда, позднее, в момент прекращения давления, рецептор вновь возбуждается и передает сигнал. Как вы поняли, такой рецептор, как тельце Пачини, безусловно, важен для оповещения нервной системы о быстрых деформациях ткани, но совершенно бесполезен для передачи информации о текущем стабильном состоянии организма. Для большинства сенсорных рецепторов максимальное напряжение для экстренного возбуждения составляет около 100 мВ, но при этом чем выше рецеп-

торный потенциал порогового уровня, тем выше частота потенциалов действия. Функции медленно адаптирующихся рецепторов заключаются в постоянной (регулярной) передаче сигналов в центральные отделы нервной системы о состоянии тела, его положении и связи с окружающей средой. К ним относят болевые рецепторы, рецепторы макул в вестибулярном аппарате, артериальные барорецепторы, хеморецепторы каротидных и аортальных телец. Так как медленно адаптирующиеся рецепторы способны передавать информацию в течение многих часов, их называют тоническими. Напомним, что в разных рецепторах развитие сигнала может быть вызвано следующими способами: их механической деформацией, действием химического вещества на мембрану, изменением температуры в области мембраны рецептора, влиянием электромагнитного излучения, но все они вызывают однотипную реакцию — изменение мембранного потенциала и открытие ионных каналов в мембране клетки. Скорость поступления информации, получаемой от рецептора, может быть разной — от 0,5 до 120 м/с и зависит не только от силы импульсов, но и от толщины нервного волокна, диаметр которого может быть от 0,5 до 20 мкм. Высокую скорость проведения импульсов обеспечивают нервные волокна, покрытые миелиновой оболочкой, — миелинизированные волокна (волокна типа А). Они проводят скоростные импульсы (до 120 м/с) от мышечной ткани, сухожилий, большинства кожных осязательных рецепторов; температурных, грубых тактильных, болевых (острая боль) рецепторов. Диаметр их от 3 до 17 мкм. Немиелинизированные нервные волокна (волокна типа С) служат для медленного проведения информации (0,5 м/с). К ним относятся более половины сенсорных волокон в большинстве периферических нервов и все постганглионарные вегетативные волокна. Информация о силе сигнала (раздражителя) передается двумя путями: увеличением числа возбужденных волокон или повышением частоты потенциалов действия в каждом волокне [4,5]. Итак, давайте суммируем основные этапы (механизмы) возникновения и передачи импульса от рецептора до структур центральной нервной системы. При любом воздействии (болевом, химическом, электрическом и др.) на каждую клетку организма в ней возникает возбуждение — изменение мембранного потенциала клетки за счет проникновения внутрь нее ионов Na^+ и выхода наружу ионов K^+ . В результате возникает диффузионный потенциал, когда примерно в течение 1 мс мембрана клетки снаружи становится заряженной положительно, а внутренняя ее сторона — отрицательно. Таким путем универсальная химическая реакция способствует возникновению биоэлектрического сигнала. Реакция эта быстрообратима (в течение доли миллисекунд) для возможности сохранения физиологических параметров внутриклеточного гомеостаза.

Существенно важно отметить, что в ходе подобных реакций для первого этапа — отрицательной зарядки внутренней стороны мембран клетки, в частности клеточек нервных волокон у млекопитающих, необходима разность потенциалов 94 мВ, а для процесса восстановления первоначального статуса — только 61 мВ, т.е. вторая фаза образования диффузного потенциала заметно менее энергозатратна. При достижении нервного импульса различных структур центральной нервной системы возможны различные эффекты. На уровне спинного мозга вероятны неосознанные рефлекторные действия (вспомните невольное отдергивание ладони при соприкосновении с горячим предметом). Но не нужно считать, что спинной мозг только проводник сигналов от рецепторов к головному мозгу и обратно. Показано, что при перерезке спинного мозга даже на уровне верхних шейных сегментов в организме сохраняются многие высокоорганизованные функции, в частности двигательные; рефлексы, с помощью которых происходит отдергивание частей тела от причиняющих боль объектов; рефлексы, регулирующие местные реакции кровеносных сосудов, движения желудочно-кишечного тракта или выделение мочи. Часто более высокие уровни нервной системы действуют на периферию тела не непосредственно, а через регулирующие центры спинного мозга. Но большинство бессознательных рефлекторных функций контролируется центрами, расположенными в нижних отделах головного мозга — в области продолговатого мозга, моста, среднего мозга, гипоталамуса, таламуса, мозжечка и базальных ганглиев. Например, подсознательный контроль артериального давления и дыхания достигается в основном на уровне продолговатого мозга и моста. Последнее, высшее звено центральной нервной системы — кора головного мозга выполняет качественно новую, уникальную функцию — позволяет сознательно оценить и расшифровать информационный материал, поступающий от внутренних органов, тканей организма и внешней среды. Кроме того, кора головного мозга способна «разложить по полочкам» и сохранить в памяти все незначительные события в жизни и реакции на них, чем в тысячи раз повышает наши адаптационные возможности. Такая уникальная возможность, возникшая в процессе эволюции человека, основана на известных нам механизмах передачи импульсов и потенциалов действия через непрерывный ряд нейронов, расположенных один за другим. Это очень важно, поскольку любой импульс: • может быть заблокирован при проведении от одного нейрона к следующему; • превращен из одного импульса в серию импульсов; • интегрирован с импульсами от других нейронов, способствуя появлению схожей картины импульсации, т.е. мы наблюдаем принцип избирательности информации, а сам процесс принято называть синаптическими функциями нейронов. Различают два

основных типа синапсов: химический и электрический. Абсолютное большинство синапсов, используемых в центральной нервной системе человека для передачи сигналов, химические. При этом механизм передачи сигнала следующий: первый нейрон, в который поступил сигнал, секретирует в своем нервном окончании химическое вещество — медиатор. Медиатор действует на рецепторный белок в мембране следующего нейрона, способствуя его возбуждению, торможению или изменяя его состояние каким-либо другим путем. Медиаторы могут быть разные, в настоящее время их известны более 40. Наиболее изучены ацетилхолин, адреналин, норадреналин, гистамин, гамма-аминомасляная кислота (ГАМК), глицин, глутамат, серотонин. Электрические синапсы, в отличие от химических, проводят сигнал сразу, прямым открытием наполненных электролитом каналов, которые проводят электроток от первой клетки к следующей. Большинство электрических синапсов состоит из микроскопических белковых трубчатых структур (щелевых контактов), которые позволяют ионам свободно перемещаться из одной клетки в другую. В центральной нервной системе таких синапсов очень мало, они в основном присутствуют в гладкомышечной ткани висцеральных мышц и в миоцитах сердечной мышцы. В функциональном отношении отличие химических медиаторов от электрических заключается в том, что они способны проводить сигналы только в одном направлении — от пресинаптического нейрона, секретирующего медиатор, к постсинаптическому, на который медиатор действует, а сигналы электрических синапсов могут распространяться в любом направлении. Такая узкая специализация синапсов позволяет нервной системе управлять метаболическими процессами как в своих центральных структурах, так и в терминальных периферических нервах, в частности дает возможность выполнять ее многочисленные функции: восприятия, двигательной активности, памяти и др. Выполнение функций синапсами обеспечивается благодаря особенностям их строения. Как известно из гистологии, каждый нейрон состоит из трех основных частей: сомы — главной части нейрона, одного аксона, который распространяется от сомы и входит в периферический нерв, выходящий из ствола спинного мозга, и дендритов — большого количества ветвящихся отростков сомы, распространяющихся на расстояние до 1 мм в окружающие области спинного мозга. На поверхности дендритов и сомы, например, мотонейрона находятся от 10 000 до 200 000 микроскопических пресинаптических терминалей — бугорков, из которых приблизительно 80–95% на дендритах и лишь 5–20% на соме. Эти пресинаптические терминали являются окончаниями нервных волокон, отходящих от многих рядом расположенных нейронов. Одни из этих терминалей являются возбуждающими, так как секретируют медиатор, который возбуждает по-

стсинаптический нейрон, другие — тормозными, т.е. секретируют медиатор, тормозящий постсинаптический нейрон. В зависимости от выполняемой функции нейроны различаются размером тела (сомы) клетки, диаметром, длиной и числом дендритов, длиной и размером аксона, количеством пресинаптических терминалей (от нескольких единиц до 200 000). По данным электронно-микроскопических исследований, пресинаптические терминали в основном представляют собой круглые или овальные бугорки. Пресинаптическая терминаль отделяется от сомы постсинаптического нейрона синаптической щелью (шириной 20–30 нм), имеет в своей структуре пузырьки с медиатором и митохондриями. Последние вырабатывают АТФ, снабжающую энергией процессы синтеза новых молекул медиатора. Механизм передачи сигнала от пресинаптической терминали на постсинаптический нейрон заключается в том, что исходящий из пресинаптической терминали сигнал (потенциал действия) вызывает деполяризацию ее мембраны и опорожнение небольшого числа везикул с медиатором в щель. Выделенный медиатор в свою очередь мгновенно вызывает изменение проницаемости мембраны постсинаптического нейрона, что ведет к возбуждению или торможению постсинаптического нейрона в зависимости от принадлежности нейрональных рецепторов. При прохождении сигнала в постсинаптический нейрон важное значение имеют количество рецепторных белков на его мембране и наличие ионов Ca^{2+} . Вся информация с периферических участков тела через синапсы передается в ствол спинного мозга. При этом вся сенсорная информация от соматических сегментов тела входит в спинной мозг через задние корешки спинальных нервов. Дальнейшее прохождение сигналов возможно по двум альтернативным путям: • по системе задних столбов (медиальной петли); • по переднебоковой (спиноталамической) системе. Система задних столбов доставляет информацию к продолговатому мозгу, где после очередного синаптического переключения на уровне продолговатого мозга сигналы переходят на противоположную сторону и продолжают свой путь вверх к таламусу через ствол мозга по медиальной петле. В переднебоковой системе сигналы сразу после входа через задние корешки в спинной мозг проходят через синапс в сером веществе его задних рогов, затем также переходят на противоположную сторону спинного мозга и восходят к нижним отделам его ствола и таламуса по передним и боковым столбам. По системе задних столбов, состоящей из толстых миелинизированных нервных волокон, сигналы передаются от 30 до 110 м/с, в то время как по переднебоковой системе они проходят с гораздо меньшей скоростью — от нескольких метров в секунду до 40 м/с [6]. В связи с такими электрофизиологическими особенностями система выполняет разные функции (задачи). Система задних

столбов медиальной петли передает: • тактильные ощущения с высокой степенью локализации раздражителя; • тактильные ощущения с тонкой градацией интенсивности; • фазные ощущения (типа вибрации); • ощущение движения по коже; • ощущения положения суставов. По переднебоковой системе передаются сигналы: • боли; • изменений температуры (тепла, холода); • ощущения грубого прикосновения и давления с рассеянной степенью локализации на поверхности тела; • ощущение зуда (щекотки); • сексуальных ощущений. Как видно из приведенных данных, уже на уровне спинного мозга существует специализация определенных структур по приему и передаче различных сигналов. Но при попадании сигналов даже в нижние отделы головного мозга информация подвергается более детальной обработке и усвоению с участием нескольких структур подкорковой области мозга. Например, регуляция равновесия тела в пространстве является комбинированной функцией «старых» отделов мозжечка, ретикулярной формации, продолговатого мозга, моста и среднего мозга. Пищевые рефлексы (выделение слюны, облизывание губ при виде и ощущении вкуса пищи) контролируют центры продолговатого мозга, моста, среднего мозга, миндалин и гипоталамуса. Подсознательный контроль артериального давления и дыхания достигается в основном на уровне продолговатого мозга и моста. Интересно, что даже такие сложные эмоционально окрашенные реакции, как гнев, волнение, реакция на боль и удовольствие, половое поведение и другие, могут сохраняться даже после разрушения большей части коры головного мозга. Но надо признать, что самую важную функцию в этой сложной иерархии обработки сигналов у человека играет кора больших полушарий мозга, в которой происходят интеграция, анализ и создание сознательной программы действий (реакций) в ответ на постоянно изменяющиеся жизненные ситуации и изменения гомеостаза. Кроме того, уникальной функцией корковых структур является способность закреплять эти программы в памяти и таким образом на основании накопленного опыта многократно повторять адаптационные возможности нашего организма в окружающей среде. Такова краткая информация о важнейших реализующих функциях нервной системы, которая должна нам помочь более подробно понять основные патомеханизмы возникновения клинических симптомов при осложнениях беременности. Отдельно следует остановиться на функциях так называемой, автономной/вегетативной нервной системы. Автономным (т.е. независимым) это звено нервной системы можно назвать лишь условно, так как многие его функции осуществляются под «ценным руководством» центральной нервной системы, в частности коры (в основном ее лимбической части), ствола мозга и гипоталамуса. И все же особенностью автономной нервной системы является ее способность дей-

ствовать посредством висцеральных рефлексов. Это значит, что подсознательные сенсорные сигналы от внутренних органов поступают в вегетативные ганглии, ствол мозга или гипоталамус и затем возвращаются назад, непосредственно к внутренним органам, регулируя их активность без «руководящих указаний» коры больших полушарий мозга путем подсознательных рефлекторных реакций. Это, безусловно, ценный, сформировавшийся в процессе эволюции человека адаптационный механизм, позволяющий максимально быстро и интенсивно изменять важнейшие показатели гомеостаза, например в течение 3–5 с, в два раза увеличивать частоту сердечных сокращений, в течение 10–15 с вдвое повышать артериальное давление или, наоборот, в определенных ситуациях снижать его до критических величин, вызвав обморок (или шок) и др. Передача эфферентных (ответных) сигналов из центров вегетативной регуляции в зависимости от необходимого эффекта происходит по двум путям — через структуры симпатического и парасимпатического звеньев автономной нервной системы. Эти звенья, как известно, обладают противоположным действием на внутренние органы и поэтому имеют некоторые отличия в анатомическом строении. Симпатическое звено состоит из двух цепочек паравертебральных симпатических ганглиев, связанных спинальными нервами со спинным мозгом (со стороны позвоночного столба); двух паравертебральных ганглиев — чревного и подчревного и нервов, идущих от ганглиев к различным внутренним органам. Чревный ганглий значительно мощнее, в нем собирается информация от большинства внутренних органов брюшной полости и забрюшинного пространства: пилоруса желудка, кишечника, илеоцекального клапана, анального сфинктера, почек, мозгового вещества надпочечника, мочеточника. От подчревного ганглия отходят нервные волокна, регулирующие функции мочевого пузыря и частично половых органов. К органам грудной клетки (сердцу, бронхам), а также к луковицам волос, потовым железам, кровеносным сосудам и глазу симпатические волокна отходят непосредственно от спинного мозга на уровне Т1–Т5 грудного и С7–С8 шейных позвонков, не проникая в чревное сплетение. Обратите внимание, симпатические нервные волокна начинаются вместе со спинальными нервами в спинном мозге между сегментами Т1 и L2 (к вопросу об автономии вегетативной нервной системы) и проходят сначала к симпатической цепочке, а затем к тканям и органам, стимулируемым симпатическими нервами. Каждый симпатический путь от спинного мозга к стимулируемой ткани состоит из двух нейронов — преганглионарного и постганглионарного (если помните, путь двигательных волокон к скелетной мышце имеет лишь один нейрон). Как только спинальный нерв покидает спинномозговой канал, преганглионарные синаптические волокна отделяются и проходят в один из ганглиев

симпатического маршрута. И здесь возможны три варианта: • волокно может формировать синапс с постганглионарным симпатическим нейроном в том ганглии, в который оно вошло; • волокно может восходить или опускаться вниз и формировать синапс с другими ганглиями; • волокно может, проходя по цепочке и выйдя через один из симпатических нервов наружу, образовывать синапсы в периферическом симпатическом ганглии. В связи с этим постганглионарные симпатические нейроны могут находиться либо в одном из ганглиев симпатической цепочки, либо в одном из периферических симпатических ганглиев. В любом случае постганглионарные волокна направляются к месту назначения в различные органы. О совместной работе симпатических нервных волокон с двигательными нервами скелетных мышц говорит тот факт, что эти волокна проходят совместный путь по мышце, где симпатические волокна регулируют тонус кровеносных сосудов. В составе скелетного нерва входит примерно 8% симпатических нервных волокон. В отличие от них парасимпатические нервные волокна выходят из ствола нервной системы в составе III, VII, IX, X пар черепных нервов, а часть их в составе II–III (иногда I и IV) крестцовых спинальных нервов. Все же большая часть (примерно 75% всех парасимпатических нервных волокон) идут в составе блуждающих нервов — X пары черепных нервов, иннервируя все грудные и брюшные органы тела: сердце, легкие, пищевод, желудок, всю тонкую кишку, проксимальную половину толстой кишки, печень, желчный пузырь, поджелудочную железу, почки и верхние части мочеточников. Кроме того, парасимпатические волокна III пары черепных нервов идут к сфинктеру зрачка и ресничной мышце глаза, волокна VII пары черепного нерва — к слезным, носовым и подчелюстным железам, волокна IX пары иннервируют околоушную железу. Крестцовые парасимпатические волокна идут в составе тазовых нервов, которые проходят через крестцовое сплетение спинальных нервов на каждой стороне спинного мозга на уровне S2 и S3. Затем эти волокна направляются к нисходящему отделу толстой кишки, прямой кишке, мочевому пузырю, нижним частям мочеточников, к наружным половым органам (вызывают возбуждение). Аналогично симпатической парасимпатическая система имеет преганглионарные и постганглионарные нейроны. Однако большинство преганглионарных волокон проходит весь путь до иннервируемого органа, не прерываясь. Постганглионарные нейроны локализуются непосредственно в стенке органа, образуя там синапсы и очень короткие постганглионарные волокна (от доли миллиметра до нескольких сантиметров), и только потом покидают нейроны, иннервируя ткани органа. В этом заключается принципиальное отличие анатомии парасимпатической нервной системы от симпатической, у которой, как вы уже знаете, клеточные тела постганглионарных

нейронов почти всегда локализуются в ганглиях симпатической цепочки, а не в самих иннервируемых органах. Необходимость таких различий пока не совсем понятна, так как и парасимпатические, и симпатические нервные волокна одинаково секретируют один из двух медиаторов — ацетилхолин и норадреналин. Поэтому волокна, секретирующие ацетилхолин, принято называть холинергическими, а секретирующие норадреналин — адренергическими. При этом все преганглионарные нейроны (и симпатического звена, и парасимпатического) являются холинергическими, так как ацетилхолин или подобные ему вещества при действии их на ганглии возбуждают и симпатические, и парасимпатические постганглионарные нейроны. Далее, почти все постганглионарные нейроны парасимпатической системы остаются холинергическими, в то время как большинство постганглионарных симпатических нейронов становятся адренергическими! Исключения составляют постганглионарные симпатические нервные волокна, иннервирующие потовые железы, мышцы, поднимающие волосы и очень небольшое число кровеносных сосудов, которые продолжают функционировать как холинергические. Поэтому данные медиаторы при введении их в кровеносное русло оказывают или парасимпатический, или симпатический эффект. Ацетилхолин считают парасимпатическим медиатором, а норадреналин — симпатическим медиатором. Локализуются эти медиаторы в окончаниях нервных волокон, которые обычно располагаются на поверхности соединительной ткани, прилегающей к иннервируемой ткани (органу) в так называемых варикозах. В варикозах (везикулах), помимо медиаторов, находятся митохондрии, обеспечивающие выработку АТФ — энергетика для синтеза ацетилхолина и норадреналина. Досконально механизм действия этих медиаторов пока не изучен, но установлено, что во многом эффекты их зависят от активности рецепторов ($\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, $\beta 1$ -, $\beta 2$ -холинергических и $\alpha 1$ -, $\alpha 2$ -, $\beta 1$ -, $\beta 2$ -адренергических), находящихся на поверхности мембран клеток иннервируемого органа, ткани. При этом эффекты от действия ацетилхолина и норадреналина могут быть и одинаковыми, и противоположными.

Несколько подробнее необходимо обсудить эффекты влияния симпатической и парасимпатической стимуляции на артериальное давление. Как известно, артериальное давление определяется двумя факторами: продвижением крови за счет сокращений мышцы сердца и сопротивлением току крови через периферические кровеносные сосуды. Симпатическая стимуляция увеличивает и движущую силу сердца, и сопротивление току крови, что приводит к острому подъему артериального давления, но только в том случае, если одновременно не происходит стимуляции задержки соли и воды почками. С другой стороны, умеренная па-

расимпатическая стимуляция, действуя через блуждающий нерв, снижает насосную функцию сердца, фактически не влияя на сопротивление периферических сосудов. Следовательно, возникает слабо выраженный эффект гипотензии [7,8,9]. Однако очень сильная стимуляция блуждающего нерва может резко затормозить, а иногда полностью или мгновенно полностью остановить сокращения сердечной мышцы, что вызывает падение артериального давления практически до нулевого уровня. Симпатическая стимуляция целиком зависит от медиаторов — адреналина и норадреналина в крови и иннервируемых тканях. Синтез этих медиаторов происходит в основном в мозговом слое надпочечников. В обычных условиях в норме их мозговое вещество вырабатывает в минуту 0,2 мкг адреналина и около 0,05 мкг норадреналина. Этого количества вполне достаточно, чтобы сохранить почти нормальное артериальное давление даже при удалении всех прямых синаптических путей к сердечно-сосудистой системе. Секретируемые надпочечниками гормоны разносятся током крови по органам и тканям. При этом в состав секрета входит до 80% адреналина и около 20% норадреналина. Циркулирующие адреналин и норадреналин оказывают почти такое же влияние на разные органы, как

и при прямой симпатической стимуляции, но эффекты при этом длятся в 5–10 раз дольше, поскольку оба медиатора удаляются из крови медленно — в течение 2–4 мин. Циркулирующий норадреналин вызывает сужение практически всех сосудов тела, усиливает активность сердца, тормозит деятельность желудочно-кишечного тракта, расширяет зрачки и др. Адреналин в связи с более выраженной стимуляцией β -рецепторов сильнее влияет на сердце, чем норадреналин, и значительно слабее оказывает суживающее влияние на кровеносные сосуды в мышцах. Это очень важное отличие. Поскольку мышечные сосуды составляют большую часть сосудов тела, то норадреналин значительно увеличивает общее периферическое сопротивление и повышает артериальное давление, тогда как адреналин повышает давление в меньшей степени, но существенно увеличивает сердечный выброс. Не менее важное отличие адреналина от норадреналина заключается в том, что он оказывает в 5 раз более длительный и более интенсивный (на 100%) метаболический эффект, например гликогенез в печени и в мышцах и освобождение глюкозы в кровь. Инактивация и утилизация излишнего количества адреналина и норадреналина происходят в печени [10,11,12].

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека / Н. А. Агаджанян, Г. М. Коновалова, Р. Ш. Ожева, Т. Ю. Уракова // Новые технологии. — 2010. — № 2. — С. 142–144.
2. Julian C. G. Human Genetic Adaptation to High Altitude: Evidence from the Andes / C. G. Julian, L. G. Moore // Genes (Basel). — 2019. — Vol. 10, № 2. — P. 150.
3. Лопатина А. Б. Механизмы становления адаптации / А. Б. Лопатина // Междунар. науч. — исслед. журн. — 2016. — № 6–5 (48). — С. 51–52.
4. Ушакова Г. А. Биофизические механизмы гравидарного гомеостаза / Г. А. Ушакова // Мать и дитя в Кузбассе. — 2014. — № 4. — С. 7–12.
5. Лунева О. В. Адаптация социальная / О. В. Лунева // Знание. Понимание. Умение. — 2018. — № 3. — С. 240–247.
6. Типологизация системной адаптации организма человека / Ю. А. Шатыр, С. В. Булатецкий, И. В. Улесикова [и др.] // Рос. мед. — биол. вестн. им. акад. И. П. Павлова. — 2017. — № 3. — С. 362–372.
7. Чурилов Л. П. Клинико-патофизиологические размышления о здоровье и болезни. Сообщение I. Норма и здоровье / ЛП. Чурилов // Вестн. МАН РФ. — 2016. — № 1. — С. 21–29.
8. Елистратова И. В. Учебник Вертьянова С. Ю. «Общая биология. 10–11»: педагогический анализ / И. В. Елистратова, А. А. Елистратов // Наука и перспективы. — 2016. — № 2. — С. 41–62.
9. Лебедев И. Н. Эпигенетические аспекты нарушений эмбрионального развития человека / И. Н. Лебедев // Экол. генетика. — 2011. — Т. 9, № 3. — С. 15–19.
10. Биология: учеб. для студентов высш. учеб. заведений / под ред. акад. РАО Н. В. Чебышева. — М.: Мед. информ. агентство, 2016. — 640 с.
11. Деление клеток: учеб. пособие для студентов 1-го курса лечеб., педиатр., стоматол. фак. СтГМУ / М. Г. Гевандова, Э. Н. Мак
12. Random serum progesterone threshold to confirm ovulation / R. Leiva, T. Bouchard, H. Boehringer [et al.] // Steroids. — 2015. — Sep., № 101. — P. 125–129.

© Морозова Анастасия Сергеевна (asyatol97@mail.ru), Лабзина Маргарита Владимировна (LudmilaMedin@yandex.ru),
 Морозов Максим Владимирович (morozov_mv93@mail.ru), Кияева Татьяна Александровна (kiyeva.tanya.2002@gmail.com),
 Сетьева Юлия Игоревна (setyeva-julia@rambler.ru), Кижаккина Софья Васильевна (skizhapkina@bk.ru),
 Емельянов Андрей Александрович (booger.man2013@yandex.ru).
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»