

**ФИЗИОЛОГИЯ ВЕГЕТАТИВНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ:
СИМПАТИКО-ПАРАСИМПАТИЧЕСКИЙ БАЛАНС.**

*Научный руководитель:
ассистент Музаффаров Ж.Ш
Тулкинов Х.Х. Абдуллаев О.Б
Alfraganus University 2
Ташкент, Узбекистан.*

Аннотация: Вегетативная (автономная) нервная система (ВНС) является ключевым регулятором гомеостаза, осуществляя бессознательный контроль над жизненно важными функциями организма. Она состоит из двух основных отделов — симпатического (СНС) и парасимпатического (ПНС), которые зачастую действуют антагонистически, но в то же время синергично, для поддержания динамического равновесия, известного как симпатико-парасимпатический баланс. Нарушение этого баланса, или вегетативная дисфункция, тесно связано с развитием и прогрессированием широкого спектра соматических и психоэмоциональных расстройств, включая сердечно-сосудистые заболевания, метаболический синдром, тревожные и депрессивные расстройства. Настоящий обзор посвящен всестороннему анализу современных данных о физиологии ВНС с акцентом на механизмах поддержания и последствиях нарушения симпатико-парасимпатического баланса. Рассмотрены анатомо-функциональные особенности, нейротрансмиттерные системы, центральные и периферические механизмы регуляции, а также современные методы оценки вегетативного статуса. Цель данного обзора — систематизировать и обобщить имеющиеся знания для более глубокого понимания роли ВНС в норме и при патологии.

Ключевые слова: вегетативная нервная система, симпатическая нервная система, парасимпатическая нервная система, симпатико-парасимпатический баланс, гомеостаз, вариабельность сердечного ритма, вегетативная дисфункция.

Abstract: The autonomic nervous system (ANS) is a key regulator of homeostasis, exercising unconscious control over vital body functions. It consists of two main divisions — sympathetic (SNC) and parasympathetic (PNS), which often act antagonistically, but at the same time synergistically, to maintain a dynamic balance known as sympathetic-parasympathetic balance. Disruption of this balance, or autonomic dysfunction, is closely associated with the development and progression of a wide range of somatic and psychoemotional disorders, including cardiovascular diseases, metabolic syndrome, anxiety and depressive disorders. This review is devoted to a comprehensive analysis of current data on the physiology of the ANS, with an

emphasis on the mechanisms of maintenance and consequences of impaired sympathetic-parasympathetic balance. Anatomical and functional features, neurotransmitter systems, central and peripheral regulatory mechanisms, as well as modern methods for assessing vegetative status are considered. The purpose of this review is to systematize and summarize the available knowledge for a deeper understanding of the role of ANS in normal and pathological conditions.

Keywords: autonomic nervous system, sympathetic nervous system, parasympathetic nervous system, sympathetic-parasympathetic balance, homeostasis, heart rate variability, autonomic dysfunction.

Введение: Обеспечение стабильности внутренней среды организма, или гомеостаза, является фундаментальным условием для выживания и нормального функционирования многоклеточных организмов (1). Ключевую роль в этой сложной регуляторной деятельности играет вегетативная (автономная) нервная система, которая координирует функции внутренних органов и систем, адаптируя их к постоянно меняющимся условиям внешней и внутренней среды (2). ВНС функционирует преимущественно на бессознательном уровне, регулируя такие витальные параметры, как артериальное давление, частота сердечных сокращений, дыхание, пищеварение, терморегуляция и метаболические процессы (3).

Классически ВНС подразделяется на два главных отдела: симпатический (СНС) и парасимпатический (ПНС). СНС традиционно ассоциируется с реакциями типа «бей или беги» (fight-or-flight), мобилизуя ресурсы организма для ответа на стресс, угрозу или физическую нагрузку. Активация СНС приводит к увеличению частоты и силы сердечных сокращений, повышению артериального давления, расширению бронхов, высвобождению глюкозы из печени и перераспределению кровотока к скелетным мышцам (4). В свою очередь, ПНС отвечает за процессы восстановления и сохранения энергии, реализуя реакции типа «отдыхай и переваривай» (rest-and-digest). Ее активация замедляет сердечный ритм, стимулирует процессы пищеварения и накопления питательных веществ (5).

Хотя функциональный антагонизм является характерной чертой взаимодействия СНС и ПНС на уровне многих эффекторных органов, их деятельность не следует рассматривать как простое противоборство. Эти два отдела находятся в состоянии динамического, реципрокного взаимодействия, обеспечивая тонкую настройку физиологических функций. Это динамическое равновесие получило название «симпатико-парасимпатический баланс» (6). Смещение этого баланса в сторону преобладания симпатической активности (симпатикотония) или парасимпатической (ваготония) является

физиологическим ответом на различные стимулы. Однако хронический сдвиг этого баланса лежит в основе патогенеза многих заболеваний (7). Например, устойчивая гиперактивность СНС является установленным фактором риска развития и прогрессирования артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, сердечной недостаточности и сахарного диабета 2-го типа (8, 9).

Актуальность изучения симпатико-парасимпатического баланса обусловлена не только его фундаментальной физиологической значимостью, но и широкой распространенностью состояний, связанных с его нарушением. Развитие не инвазивных методов оценки вегетативной регуляции, таких как анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР), открыло новые возможности для диагностики и стратификации рисков у пациентов с различными заболеваниями (10).

Цель: настоящего обзора — представить комплексный анализ физиологии вегетативной нервной системы, подробно разобрать концепцию симпатико-парасимпатического баланса, осветить современные представления о механизмах его регуляции, роли в поддержании здоровья, а также клиническое значение его нарушений.

Анатомическая и нейрохимическая организация симпатической нервной системы (СНС).

Симпатическая нервная система имеет тораколумбальную организацию. Тела преганглионарных нейронов расположены в боковых рогах серого вещества спинного мозга на уровне от первого грудного (Т1) до второго-третьего поясничного (L2-L3) сегментов (11). Их аксоны, представляющие собой миелинизированные преганглионарные волокна, покидают спинной мозг в составе передних корешков и через белые соединительные ветви входят в симпатический ствол.

Симпатический ствол — это парная цепочка ганглиев (узлов), расположенная паравертебрально по обе стороны от позвоночника. В ганглиях симпатического ствола происходит переключение большинства преганглионарных волокон на постганглионарные нейроны. Возможны три варианта пути преганглионарного волокна:

1. Синапс с постганглионарным нейроном в ганглии на том же уровне.
2. Подъем или спуск по симпатическому стволу и образование синапса в ганглиях на других уровнях.
3. Прохождение через симпатический ствол без переключения и образование синапса в превертебральных (коллатеральных) ганглиях, таких как чревный, верхний брыжеечный и нижний брыжеечный ганглии, которые иннервируют органы брюшной полости и таза (12).

Аксоны постганглионарных нейронов — длинные, преимущественно немиелинизированные волокна — следуют к эффекторным органам в составе спинномозговых нервов или формируя собственные вегетативные сплетения. Характерной чертой СНС является дивергенция: одно преганглионарное волокно может образовывать синапсы с множеством постганглионарных нейронов, что обеспечивает генерализованный, диффузный ответ при активации системы (4).

Нейротрансмиттеры СНС:

Преганглионарный нейротрансмиттер: Во всех ганглиях ВНС, включая симпатические, нейротрансмиттером является **ацетилхолин (АХ)**. Он действует на **никотиновые холинорецепторы (н-ХР)** постганглионарного нейрона, вызывая его быструю деполяризацию (13).

Постганглионарный нейротрансмиттер: Основным нейротрансмиттером, высвобождаемым постганглионарными симпатическими волокнами в синапсах с эффекторными органами, является **норадреналин (НА)**. Он относится к классу катехоламинов. Исключение составляют потовые железы, которые иннервируются симпатическими холинергическими волокнами (выделяющими АХ), и мозговое вещество надпочечников (14).

Мозговое вещество надпочечников: Эта структура является, по сути, модифицированным симпатическим ганглием. Преганглионарные симпатические волокна иннервируют его хромоаффинные клетки, которые в ответ на стимуляцию (через АХ) высвобождают в кровоток смесь катехоламинов, состоящую преимущественно из **адреналина (около 80%)** и **норадреналина (около 20%)**. Это обеспечивает гуморальный компонент симпатической реакции (15).

Норадреналин и адреналин оказывают свои эффекты, связываясь с **адренорецепторами** на мембранах клеток-мишеней. Существует два основных типа адренорецепторов: альфа (α) и бета (β), каждый из которых имеет подтипы (α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , β_3). Распределение этих рецепторов в тканях определяет специфику ответа органа на симпатическую стимуляцию (16). Например, стимуляция β_1 -рецепторов в сердце увеличивает частоту и силу сокращений, тогда как стимуляция β_2 -рецепторов в гладкой мускулатуре бронхов вызывает их расслабление (бронходилатацию).

Анатомическая и нейрохимическая организация парасимпатической нервной системы (ПНС)

Парасимпатическая нервная система имеет краниосакральную организацию. Тела преганглионарных нейронов расположены в ядрах ствола головного мозга и в боковых рогах крестцовых сегментов спинного мозга (S2-S4) (17).

Краниальный отдел: Преганглионарные волокна выходят из ствола мозга в составе четырех черепно-мозговых нервов:

III пара (глазодвигательный нерв): Иннервирует сфинктер зрачка (вызывая сужение зрачка, миоз) и цилиарную мышцу (участвуя в аккомодации).

VII пара (лицевой нерв): Иннервирует слезные железы, а также подчелюстные и подъязычные слюнные железы.

IX пара (языкоглоточный нерв): Иннервирует околоушную слюнную железу.

X пара (блуждающий нерв, или вагус): Является главным нервом ПНС. Его волокна обеспечивают около 75% всей парасимпатической иннервации. Вагус иннервирует все органы шеи, грудной клетки (сердце, легкие, бронхи) и большинства органов брюшной полости (пищевод, желудок, тонкий кишечник, проксимальная часть толстого кишечника, печень, поджелудочная железа) (18)

Сакральный (крестцовый) отдел: Преганглионарные волокна из сегментов S2-S4 формируют тазовые внутренностные нервы, которые иннервируют дистальную часть толстого кишечника, прямую кишку, мочевой пузырь и половые органы (19).

В отличие от СНС, преганглионарные волокна ПНС очень длинные. Они идут непосредственно к иннервируемому органу или вблизи него, где расположены терминальные ганглии. Постганглионарные волокна, соответственно, очень короткие. Такая организация обеспечивает локальный, дискретный и точный контроль над функцией конкретного органа, в противоположность диффузному влиянию СНС (5).

Нейротрансмиттеры ПНС: И преганглионарные, и постганглионарные нейроны ПНС являются холинергическими, то есть используют **ацетилхолин (АХ)** в качестве основного нейротрансмиттера.

| Орган/Система | Симпатическая стимуляция (Адренергическая) | Парасимпатическая стимуляция (Холинергическая) |
|--------------------------|--|---|
| Сердце | Увеличение ЧСС (β_1), силы сокращений (β_1), скорости проведения (β_1) | Снижение ЧСС (M2), силы сокращений предсердий (M2), скорости проведения (M2) |
| Кровеносные сосуды | Сужение большинства артериол и вен (α_1), расширение в скелетных мышцах (β_2) | Практически отсутствует влияние (кроме сосудов слюнных желез и половых органов) |
| Бронхи | Расширение (бронходилатация) (β_2) | Сужение (бронхоконстрикция), усиление секреции слизи (M3) |
| Желудочно-кишечный тракт | Снижение моторики и тонуса (α_2 , β_2), сужение сфинктеров (α_1) | Усиление моторики и секреции, расслабление сфинктеров (M3) |
| Зрачок | Расширение (мидриаз) (α_1) | Сужение (миоз) (M3) |
| Слюнные железы | Густая, вязкая слюна (α_1) | Обильная, жидкая слюна (M3) |
| Мочевой пузырь | Расслабление детрузора (β_2), сокращение сфинктера (α_1) | Сокращение детрузора (M3), расслабление сфинктера |

В парасимпатических ганглиях АХ, выделяемый преганглионарными волокнами, действует на **никотиновые холинорецепторы (н-ХР)** постганглионарных нейронов, как и в СНС.

На уровне эффекторных органов АХ, выделяемый постганглионарными волокнами, действует на **мускариновые холинорецепторы (м-ХР)** (13).

Существует пять подтипов м-ХР (M1-M5), которые по-разному распределены в тканях и сопряжены с различными внутриклеточными сигнальными путями, что и определяет разнообразие парасимпатических эффектов (20). Например, активация M2-рецепторов в сердце приводит к снижению частоты сердечных сокращений, а активация M3-рецепторов в гладкой мускулатуре бронхов и ЖКТ вызывает их сокращение.

Концепция симпатико-парасимпатического баланса и его центральная регуляция:

Функциональное состояние внутренних органов в каждый момент времени определяется результирующей активностью симпатического и

парасимпатического отделов ВНС. Большинство органов получают двойную реципрокную иннервацию, где СНС и ПНС оказывают противоположные эффекты (Таблица 1). Например, в сердце СНС увеличивает ЧСС (положительный хронотропный эффект), а ПНС — уменьшает (отрицательный хронотропный эффект) (21).

Антагонистические эффекты СНС и ПНС на некоторые органы-мишени. Однако концепция простого антагонизма является упрощением. Взаимодействие СНС и ПНС гораздо сложнее и включает синергические и комплементарные эффекты. Например, в регуляции слюноотделения участвуют оба отдела. Более того, существует пресинаптическая модуляция: норадреналин может подавлять высвобождение ацетилхолина из парасимпатических окончаний (и наоборот) в некоторых тканях, что является механизмом тонкой настройки (22).

Центральная вегетативная сеть (Central Autonomic Network, CAN) Координация активности СНС и ПНС и поддержание баланса осуществляются иерархической системой структур в центральной нервной системе, объединенных в так называемую центральную вегетативную сеть (23). Ключевыми компонентами CAN являются:

Кора больших полушарий: Префронтальная, островковая и передняя поясная кора участвуют в интеграции вегетативных реакций с эмоциями, когнитивными процессами и поведением. Островковая кора, в частности, считается ключевым центром interoцепции — восприятия внутреннего состояния организма (24).

Лимбическая система: Миндалевидное тело (амигдала) и гиппокамп играют центральную роль в формировании вегетативного компонента эмоциональных реакций, особенно страха, тревоги и стресса (25).

Гипоталамус: Является высшим подкорковым центром регуляции ВНС. Он интегрирует афферентные сигналы от CAN и периферии и координирует вегетативные, эндокринные и поведенческие реакции для поддержания гомеостаза (например, терморегуляции, водно-солевого баланса, пищевого поведения) (26).

Ствол мозга: Ядра ствола мозга, такие как ядро одиночного пути (nucleus tractus solitarius, NTS), являются первичным центром интеграции висцеральной афферентной информации. NTS получает сигналы от баро- и хеморецепторов через IX и X черепные нервы и передает информацию в другие центры CAN, модулируя рефлекторные дуги ВНС, в первую очередь барорефлекс (27). Другие

структуры, такие как голубое пятно и дорсальные ядра шва, также вносят вклад в модуляцию вегетативного тонуса.

Эта сложная сеть обеспечивает гибкую адаптацию симпатико-парасимпатического баланса к внутренним и внешним вызовам, выходя за рамки простых рефлексов и интегрируя вегетативную регуляцию в целостную деятельность организма.

Методы оценки симпатико-парасимпатического баланса

Прямое измерение активности ВНС на уровне нервных волокон (микронейрография) возможно, но является инвазивной и сложной исследовательской методикой (28). В клинической практике широкое распространение получили неинвазивные методы, основанные на анализе физиологических параметров, модулируемых ВНС.

Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР)

ВСР является наиболее популярным и информативным методом оценки вегетативного баланса. Он основан на анализе колебаний длительности интервалов R-R на электрокардиограмме. Эти колебания отражают непрерывную модуляцию сердечного ритма со стороны СНС и ПНС (10).

Высокочастотные колебания (High Frequency, HF; 0.15–0.4 Гц): Эти колебания синхронизированы с дыханием (дыхательная синусовая аритмия) и считаются маркером исключительно парасимпатической (вагусной) активности. Высокая мощность HF-компонента свидетельствует о высоком вагусном тонусе (29).

Низкочастотные колебания (Low Frequency, LF; 0.04–0.15 Гц): Происхождение этого компонента более спорно. Считается, что он отражает модуляцию как со стороны СНС, так и ПНС, и связан с активностью барорефлекторной дуги (10, 29).

Отношение LF/HF: Долгое время это соотношение использовалось как предполагаемый индекс симпатико-парасимпатического баланса, где его повышение указывало на смещение баланса в сторону симпатической активности. Однако в настоящее время эта интерпретация подвергается критике из-за сложной природы LF-компонента, и использовать этот показатель следует с осторожностью (30).

Оценка барорефлекторной чувствительности (БРЧ)

Барорефлекс — один из важнейших и наиболее быстрых механизмов краткосрочной регуляции артериального давления. Он заключается в изменении

ЧСС в ответ на изменение АД, опосредованном ВНС. Снижение БРЧ является мощным предиктором неблагоприятного прогноза при сердечно-сосудистых заболеваниях и отражает нарушение вегетативной регуляции (31).

Клиническое значение нарушения симпатико-парасимпатического баланса.

Хроническое смещение баланса в сторону доминирования СНС (симпатикотония) и/или ослабления активности ПНС является ключевым патофизиологическим звеном многих заболеваний.

Сердечно-сосудистые заболевания: Хроническая гиперактивация СНС способствует развитию артериальной гипертензии, атеросклероза, ишемии миокарда, аритмий и прогрессированию сердечной недостаточности. Снижение вагусного тонуса и БРЧ являются независимыми факторами риска внезапной сердечной смерти после инфаркта миокарда (8, 32).

Метаболический синдром и сахарный диабет 2-го типа: Симпатикотония способствует инсулинорезистентности, нарушает метаболизм глюкозы и липидов, а также способствует развитию висцерального ожирения (9). Вегетативная нейропатия является частым осложнением сахарного диабета.

Хронический стресс и психоэмоциональные расстройства: Психологический стресс приводит к устойчивой активации СНС и подавлению ПНС. Этот паттерн вегетативного дисбаланса тесно связан с развитием тревожных расстройств, депрессии и выгорания, а также является механизмом, посредством которого стресс увеличивает риск соматических заболеваний (33).

Обсуждение:

Представленные данные убедительно демонстрируют, что вегетативная нервная система представляет собой сложную, многоуровневую систему регуляции, а симпатико-парасимпатический баланс является динамическим и жизненно важным параметром гомеостаза. Упрощенное представление о ВНС как о системе с двумя антагонистическими рычагами уступает место более сложной модели, учитывающей центральную нейрональную интеграцию, периферические взаимодействия и гуморальные факторы.

Ключевым выводом из анализа литературы является признание центральной вегетативной сети (CAN) как основного интегратора, связывающего вегетативную регуляцию с высшими психическими функциями — эмоциями, познанием и поведением. Это объясняет, почему психологический стресс, когнитивные нагрузки и эмоциональное состояние могут оказывать столь глубокое влияние на соматическое здоровье через механизм вегетативного

дисбаланса (24, 33). Патологическое смещение баланса в сторону хронической симпатической гиперактивности при одновременном снижении защитного вагусного тонуса сегодня рассматривается не просто как маркер, а как активный участник патогенеза и фактор прогрессирования большинства «болезней цивилизации» (7, 8).

Клиническая значимость этого феномена огромна. Оценка вегетативного статуса, в частности с помощью анализа ВСР, переходит из разряда чисто исследовательских методик в практическую медицину. Мониторинг ВСР может использоваться для стратификации риска у кардиологических больных, оценки эффективности терапевтических вмешательств (как фармакологических, так и немедикаментозных), а также для объективизации уровня стресса и переутомления у спортсменов и в медицине труда (10, 32).

Тем не менее, в этой области остаются нерешенные вопросы. Интерпретация некоторых параметров ВСР, особенно соотношения LF/HF, все еще вызывает дискуссии, что требует стандартизации методик и осторожности в выводах (30). Кроме того, необходимы дальнейшие исследования для выяснения точных молекулярных и клеточных механизмов, посредством которых хронический вегетативный дисбаланс приводит к повреждению органов-мишеней.

Перспективы будущих исследований лежат в области разработки таргетных терапевтических стратегий, направленных на восстановление симпатико-парасимпатического баланса. Это включает не только совершенствование фармакологических подходов (например, использование β -блокаторов), но и активное изучение немедикаментозных методов. Биологическая обратная связь на основе ВСР, дыхательные практики, медитация и дозированные физические нагрузки уже показали свою эффективность в усилении вагусного тонуса и могут стать важным компонентом комплексной терапии и профилактики (34). Кроме того, инвазивные методы, такие как стимуляция блуждающего нерва, уже применяются для лечения эпилепсии и депрессии и исследуются применительно к сердечной недостаточности и воспалительным заболеваниям, что открывает новую эру в «электронной» медицине (35).

Ограничением данного обзора является невозможность охватить абсолютно все аспекты функционирования ВНС в рамках одной статьи. В частности, энтеральная нервная система, иногда выделяемая в третий отдел ВНС, и ее сложное взаимодействие с центральными отделами заслуживают отдельного рассмотрения.

Заключение: Симпатико-парасимпатический баланс является краеугольным камнем физиологической регуляции и поддержания здоровья. Его

нарушение, характеризующееся преимущественно сдвигом в сторону симпатической гиперактивности на фоне снижения вагусного контроля, представляет собой универсальный патофизиологический механизм, лежащий в основе широкого спектра заболеваний, от сердечно-сосудистых до психоэмоциональных. Глубокое понимание анатомии, нейрохимии и центральных механизмов контроля ВНС в сочетании с использованием современных методов оценки, таких как анализ ВСР, имеет решающее значение для ранней диагностики, стратификации рисков и разработки новых терапевтических подходов. Восстановление и поддержание оптимального симпатико-парасимпатического баланса должно рассматриваться как одна из важнейших целей превентивной и клинической медицины.

Список литературы:

1. Cannon WB. The wisdom of the body. New York: W. W. Norton & Company; 1932.
2. Goldstein DS. The Autonomic Nervous System in Health and Disease. New York, NY: Marcel Dekker Inc; 2001.
3. McCorry LK. Physiology of the autonomic nervous system. Am J Pharm Educ. 2007;71(4):78.
4. Gibbins IL. Functional organization of the sympathetic nervous system. In: The Human Nervous System. 3rd ed. Academic Press; 2012. p. 845–876.
5. Browning KN, Travagli RA. Central nervous system control of gastrointestinal motility and secretion and modulation of gastrointestinal functions. Compr Physiol. 2014;4(4):1339-68.
6. Berntson GG, Cacioppo JT, Quigley KS. Autonomic determinism: the modes of autonomic control, the doctrine of autonomic space, and the laws of autonomic constraint. Psychol Rev. 1991;98(4):459-87.
7. Thayer JF, Yamamoto SS, Brosschot JF. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. Int J Cardiol. 2010;141(2):122-31.
8. Esler M. The sympathetic system in hypertension. In: Handbook of Hypertension. Vol 19. Elsevier; 2007. p. 83-105.
8. Tentolouris N, Liatis S, Katsilambros N. Sympathetic system activity in obesity and metabolic syndrome. Ann N Y Acad Sci. 2006;1083:129-52.
9. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Circulation. 1996;93(5):1043-65.
10. Jänig W. The Integrative Action of the Autonomic Nervous System: Neurobiology of Homeostasis. Cambridge: Cambridge University Press; 2008.
11. Furness JB. The enteric nervous system. Malden, MA: Blackwell Pub.; 2006.

- 12.Caulfield MP. Muscarinic receptors--characterization, coupling and function. Pharmacol Ther. 1993;58(3):319-79.
- 13.Schlereth T, Birklein F. The sympathetic nervous system and pain. Neuromolecular Med. 2008;10(3):141-7.
- 14.Bornstein SR, Ehrhart-Bornstein M. The adrenal gland: a central player in the extra-adrenal stress response. Ann N Y Acad Sci. 2008;1148:439-44.
- 15.Bylund DB, Eikenberg DC, Hieble JP, Langer SZ, Lefkowitz RJ, Minneman KP, et al. International Union of Pharmacology nomenclature of

