

ВЕГЕТАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРЕССА

Г.Л. Озеров, канд. биол. наук, доцент

Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта
(Россия, г. Санкт-Петербург)

DOI:10.24412/2500-1000-2026-5-2-46-51

Аннотация. В статье рассматривается проблема объективизации уровня стрессовой нагрузки через призму функционального состояния вегетативной нервной системы. Актуальность работы связана с необходимостью поиска надёжных физиологических коррелятов для ранней диагностики состояний дезадаптации и оценки цены адаптации организма. Целью работы является систематизация современных данных о нейрофизиологических механизмах вегетативного ответа на стресс и критический анализ информативности ключевых биомаркеров. В работе проанализирована иерархическая организация центральных и периферических звеньев регуляции, включая взаимодействие симпато-адреналового и гипоталамо-гипофизарно-надпочечникового контуров. Выявлены показатели, позволяющие судить об интенсивности стресс-реакции, например параметры вариабельности сердечного ритма, гемодинамические сдвиги и уровень гормональных маркеров. На основе обобщения данных обосновывается, что изолированное измерение частоты сердечных сокращений или артериального давления обладает низкой специфичностью. Показано, что глубина вегетативного дисбаланса может быть верифицирована при комплексном анализе симпато-вагального индекса, степени реактивности при функциональных пробах и характера восстановительных процессов.

Ключевые слова: вегетативная нервная система; стресс; общий адаптационный синдром; вариабельность сердечного ритма; симпато-вагальный баланс; аллостатическая нагрузка; кортизол; диагностика дезадаптации.

Проблема адаптации организма к изменяющимся условиям среды является одной из центральных в современной физиологии и патофизиологии. Стресс, понимаемый в классической трактовке Г. Селье как неспецифическая реакция организма на любое предъявляемое к нему требование, реализуется через сложные нейрогуморальные механизмы, исполнительным звеном которых выступает вегетативная нервная система (ВНС) [1]. Вегетативное обеспечение деятельности представляет собой динамический процесс модуляции активности внутренних органов, направленный на поддержание метаболического гомеостаза в условиях влияния возмущающего воздействия.

Актуальность анализа вегетативного звена стресс-реакции обусловлена широкой распространённостью состояний дезадаптации и психосоматических расстройств, в патогенезе которых дисфункция ВНС играет ключевую роль [2]. Несмотря на значительный объем данных, вопрос количественной оценки уровня стрессовой реакции на основе анализа ве-

гетативных показателей требует систематизации.

Цель работы заключается в обобщении современных знаний о структуре вегетативного ответа при стрессе и анализе информативности регистрируемых физиологических параметров, позволяющих судить об интенсивности и цене адаптационного процесса.

Иерархия регуляции и фазность вегетативного ответа при стрессе

Вегетативная нервная система, будучи эфферентным проводником центральных команд, обеспечивает мобилизацию функциональных резервов. Афферентный сигнал о стрессоре, проходя через таламус, достигает миндалевидного комплекса и гиппокампа, откуда нисходящие влияния направляются к паравентрикулярному ядру гипоталамуса и ядрам ствола мозга. Этот контур формирует специфику реакции, в которой условно выделяют симпато-адреналовый и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковый компоненты [3].

Первичный вегетативный ответ на стимул характеризуется немедленной активацией симпатического отдела. Эволюционно этот механизм описан как реакция «борьбы или бегства» [4]. На тканевом уровне норадреналин, высвобождаемый из симпатических терминалей, и циркулирующий адреналин мозгового слоя надпочечников вызывают каскад сдвигов, например увеличение частоты сердечных сокращений (ЧСС), повышение артериального давления, бронходилатацию и мобилизацию глюкозы из депо.

При этом вегетативное обеспечение не сводится только к симпатической эрготропной активации. Так, на стадии тревоги наблюдается гетерохронность включения регуляторных механизмов. Вслед за быстрой симпатической реакцией возрастает активность центрального звена гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси, высвобождение кортиколиберина и глюкокортикоидов. Парасимпатический отдел на пике острого стресса подвергается реципрокному торможению [5].

При переходе стресса в хроническую форму вегетативный ответ претерпевает качественные изменения. Фаза резистентности характеризуется напряжением регуляторных систем, при котором внешне нормальные показатели гемодинамики поддерживаются за счёт избыточной симпатической стимуляции при одновременном ослаблении вагусного контроля. Истощение компенсаторных возможностей ВНС на стадии дистресса проявляется либо ригидностью вегетативного тонуса, либо парадоксальной активацией парасимпатической системы на фоне глубоких метаболических нарушений [6].

Методологическая база и показатели, отражающие уровень стрессовой реакции

Объективизация уровня стрессового напряжения основана на регистрации комплекса вегетативных коррелятов. Результаты оценки уровня стрессовой реакции по вегетативным и гуморальным коррелятам приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты оценки уровня стрессовой реакции по вегетативным и гуморальным коррелятам

Уровень анализа	Регистрируемый показатель	Характер сдвига при остром стрессе	Диагностическая информативность при хроническом напряжении
Гемодинамика	Частота сердечных сокращений	Тахикардия	Устойчивая тахикардия покоя более 90 уд/мин Недостаточное снижение ночью
	Артериальное давление	Повышение САД, рост пульсового АД	Лабильная гипертензия или стабильная АГ
	Ударный объем и минутный объем крови	Увеличение МОК за счёт ЧСС	Снижение УО при высокой ЧСС
Спектральный анализ ВСП	Мощность низкочастотной составляющей	Резкое возрастание абсолютной мощности	Повышение LF в покое, доминирование LF над HF
	Мощность высокочастотной составляющей	Снижение или отсутствие динамики	Стойкое угнетение HF
	Индекс LF/HF	Более 2,5 - 3,0	Хронически высокие значения или, при истощении, ригидность индекса
Электродермальная активность	Уровень кожной проводимости	Повышение тонической составляющей	Снижение амплитуды фазических ответов на стимул при высоком тонусе
Биохимические маркеры	Кортизол слюны	Повышение утреннего пика	Отсутствие физиологического спада к вечеру
	Альфа-амилаза слюны	Резкое повышение	Хронически высокий базальный уровень

Примечание: САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление; ВСП – вариабельность сердечного ритма; LF – низкочастотный диапазон; HF – высокочастотный диапазон

Применение указанных в таблице 1 показателей в динамике позволяет разделить обследуемых по степени адаптационного риска, так, наиболее общим инструментом в настоящее время считается анализ вариабельности сердечного ритма, который отражает состояние регуляторных контуров на уровне ствола

мозга и синоатриального узла [7]. Снижение общей мощности спектра и особенно его высокочастотного компонента показывает уменьшение вклада автономного контура регуляции и возрастание роли центрального, менее экономичного, эрготропного контура.

Нейрофизиологическая интерпретация показателей вегетативного баланса

Для понимания того, как именно вегетативные показатели отражают глубину стресса, необходимо проанализировать их связь с центральными механизмами управления. С позиций нейровисцеральной интеграции, вагусный контроль сердца является проксимальным показателем активности префронтальной коры и способности к тормозному контролю поведения [8]. И высокий тонус блуждающего нерва в покое связан с высокой стрессоустойчивостью, в то время как вагусная недостаточность предсказывает риск развития метаболического синдрома и аффективных нарушений.

Симпатическая активация, измеряемая по амплитуде низкочастотных колебаний или периферическому сопротивлению сосудов, является менее специфичным, но чувствительным маркером психоэмоционального возбуждения. Мощность LF-диапазона в покое выше у лиц, находящихся в условиях хронического профессионального стресса, по сравнению с контрольной группой [9].

Следует также отметить важность анализа не только изолированных показателей, но и их взаимосвязей. Типология вегетативного обеспечения в зависимости от характера стрессорной нагрузки приведена в таблице 2.

Таблица 2. Типология вегетативного обеспечения в зависимости от характера стрессорной нагрузки

Состояние	Показатель ЧСС	Симпато-вагальный индекс	Активная проба	Интерпретация
Физиологический покой	60-80 уд/мин	0,8-1,5	Умеренный прирост LF, снижение HF	Сбалансированная регуляция, высокий резерв адаптации
Острый психоэмоциональный стресс	Более 95 уд/мин	Более 3,5	Избыточная тахикардия	Мобилизация функционального резерва, эрготропное доминирование
Хронический стресс	85-95 уд/мин в покое	2,5-4,0	Сниженная реакция на ортостаз	Состояние перенапряжения регуляторных систем. Высокая цена адаптации
Состояние истощения	Нормокардия или брадикардия	Менее 1,0	Ареактивность или неадекватное падение АД	Срыв адаптации, функциональная недостаточность как симпатического, так и парасимпатического звена
Ваготония	50-65 уд/мин	Менее 0,7	Парадоксальное повышение HF	Свидетельствует о попытке восстановления метаболических ресурсов после интенсивной симпатической нагрузки

Как видно из данных таблицы 2, простое измерение ЧСС в покое даёт лишь ограниченную информацию, например лица с развитой тренированностью могут демонстрировать низкую ЧСС, обусловленную высокой парасимпатической активностью, что является признаком здоровья. У лиц с хроническим дистрессом низкая ЧСС может быть следствием истощения синусового узла или гиперактивации тормозных вагальных афферентов на фоне гипоксии тканей. Поэтому стандартом оценки уровня стрессовой реакции является спектральный анализ ВСР с обязательным проведением нагрузочного тестирования.

Клинико-физиологическое значение оценки вегетативного обеспечения

Практическая значимость изучения вегетативных коррелятов стресса выходит за рамки теоретической физиологии интереса к механизмам регуляции гомеостаза, так, на современном этапе развития медицины становится все более явным, что дисрегуляция вегетативной нервной системы представляет собой универсальное патогенетическое звено, лежащее в основе формирования широкого спектра соматической патологии, традиционно относимой к категории болезней цивилизации. В частности, длительно существующий дисбаланс между симпатическим и парасимпатическим отделами автономной нервной системы с преобладанием эрготропных влияний является ключевым фактором становления и прогрессирования эссенциальной ги-

пертензии. Избыточная симпатическая импульсация к сосудистой стенке и почкам, сопряжённая с недостаточностью барорефлекторного торможения, запускает каскад гемодинамических и нейрогуморальных сдвигов, приводящих к устойчивому повышению периферического сосудистого сопротивления и ремоделированию сосудистого русла [10].

Оценка уровня вегетативного напряжения, получаемая на основе количественного анализа параметров variability сердечного ритма и показателей гемодинамики, обладает высокой прогностической значимостью в отношении течения ишемической болезни сердца. Накопленный массив данных свидетельствует о том, что выраженное снижение общей variability ритма сердца, а также уменьшение мощности его высокочастотной составляющей, отражающей вагусные кардиопротективные влияния, выступает в качестве независимого и статистически значимого предиктора внезапной сердечной смерти и повышения показателей общей летальности в постинфарктном периоде и при хронической сердечной недостаточности [11].

С позиций профилактической медицины и диагностики, динамический мониторинг таких параметров, как соотношение низкочастотной и высокочастотной составляющих спектра variability сердечного ритма, выражаемое индексом LF/HF, а также амплитуда физиологического ночного снижения частоты сердечных сокращений, позволяет выявлять группы лиц, находящихся в зоне повышенного риска по развитию дезадаптов, до манифестации отчётливых клинических симптомов и формирования необратимых органических изменений [12]. Отсутствие адекватного ночного снижения частоты сердечных сокращений является ранним маркером перенапряжения регуляторных систем и свидетельствует о том, что даже в период физиологического покоя организм продолжает функционировать в режиме мобилизации резервов.

Скорость, с которой частота сердечных сокращений возвращается к исходным фоновым значениям, а также характер и временные параметры динамики восстановления спектральной мощности HF-компонента variability сердечного ритма служат интегральным показателем функциональных резервов и реактивности парасимпатического

звена регуляции. Парасимпатический отдел нервной системы ответственен за реализацию трофотропных, анаболических процессов и обеспечение эффективного восстановления энергетических ресурсов организма после эпизода эрготропной активации. Выраженное замедление этих восстановительных процессов, проявляющееся в пролонгированной тахикардии покоя и отсроченном нарастании мощности HF-волн, является маркером кумуляции утомления и состояния недовосстановления функциональных резервов, что в высокой степени характерно для состояний хронического психоэмоционального стресса и синдрома профессионального выгорания [13].

Заключение

Вегетативная нервная система, в силу своей специфической анатомо-функциональной организации и двусторонних связей с высшими регуляторными центрами, выступает в роли универсального динамического параметра, осуществляющего непрерывное сопряжение между состоянием психической сферы, эмоциональным фоном и соматическим статусом организма в условиях воздействия стрессорных факторов различной модальности и интенсивности.

Обобщение массива литературных данных, освещающих различные аспекты изучаемой проблемы, позволяет прийти к заключению, что адекватное и объективное суждение об истинном уровне стрессовой реакции и глубине адаптационного напряжения должно быть основано на комплексном, мультипараметрическом анализе. Данный анализ должен в обязательном порядке включать в себе показатели центральной и периферической гемодинамики, результаты спектрального анализа variability сердечного ритма, отражающие состояние контуров нейрогуморальной регуляции, а также данные о содержании ключевых гормональных маркеров стресса в биологических жидкостях.

В качестве наиболее информативных, чувствительных и специфичных критериев, позволяющих судить о наличии и выраженности вегетативного дисбаланса, целесообразно рассматривать такие показатели как абсолютная величина и стабильность во времени симпатовагального индекса, рассчитываемого как отношение мощностей низкочастотной и высокочастотной составляющих спектра, степень

угнетения абсолютной и нормализованной мощности высокочастотных волн, отражающая дефицит кардиопротективных вагусных влияний на синусовый узел, а также степень ригидности сердечного ритма и характер ге-

модинамического реагирования при проведении стандартизированных функциональных нагрузочных проб, таких как активная ортостатическая проба или проба с фиксированным темпом дыхания.

Библиографический список

1. Селье Г. Очерки об адаптационном синдроме / Г. Селье; пер. с англ. – Москва: Медгиз, 1960. – 254 с.
2. Goldstein D.S. The autonomic medical history / D.S. Goldstein, W.P. Cheshire Jr. // *Clinical Autonomic Research*. – 2017. – Vol. 27, № 4. – P. 223-233. – DOI: 10.1007/s10286-017-0425-7.
3. Ulrich-Lai Y.M. Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses / Y.M. Ulrich-Lai, J.P. Herman // *Nature Reviews Neuroscience*. – 2009. – Vol. 10, № 6. – P. 397-409. – DOI: 10.1038/nrn2647.
4. Cannon W.B. Bodily changes in pain, hunger, fear and rage. – New York: Appleton-Century-Crofts, 1915. – 334 p.
5. Porges S.W. The polyvagal perspective / S.W. Porges // *Biological Psychology*. – 2007. – Vol. 74, № 2. – P. 116-143. – DOI: 10.1016/j.biopsycho.2006.06.009.
6. Thayer J.F. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors / J.F. Thayer, S.S. Yamamoto, J.F. Brosschot // *International Journal of Cardiology*. – 2010. – Vol. 141, № 2. – P. 122-131. – DOI: 10.1016/j.ijcard.2009.09.543.
7. Баранов В.М. Оценка адаптационных возможностей организма и задачи повышения эффективности здравоохранения / В.М. Баранов, Р.М. Баевский, А.П. Берсенева, В.М. Михайлов // *Экология человека*. – 2004. – № 6. – С. 25-29.
8. Thayer J.F. Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration / J.F. Thayer, R.D. Lane // *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. – 2009. – Vol. 33, № 2. – P. 81-88. – DOI: 10.1016/j.neubiorev.2008.08.004.
9. Chandola T. Work stress and coronary heart disease: what are the mechanisms? / T. Chandola, A. Britton, E. Brunner [et al.] // *European Heart Journal*. – 2008. – Vol. 29, № 5. – P. 640-648. – DOI: 10.1093/eurheartj/ehm584.
10. Esler M. The sympathetic nervous system in hypertension: back to the future? / M. Esler // *Current Hypertension Reports*. – 2015. – Vol. 17, № 2. – Art. 11. – DOI: 10.1007/s11906-014-0519-8.
11. Kleiger R.E. Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction / R.E. Kleiger, J.P. Miller, J.T. Bigger Jr., A.J. Moss // *American Journal of Cardiology*. – 1987. – Vol. 59, № 4. – P. 256-262. – DOI: 10.1016/0002-9149(87)90795-8.
12. McEwen B.S. Protective and damaging effects of stress mediators / B.S. McEwen // *New England Journal of Medicine*. – 1998. – Vol. 338, № 3. – P. 171-179. – DOI: 10.1056/NEJM199801153380307.
13. Kudielka B.M. Why do we respond so differently? Reviewing determinants of human salivary cortisol responses to challenge / B.M. Kudielka, D.H. Hellhammer, S. Wüst // *Psychoneuroendocrinology*. – 2009. – Vol. 34, № 1. – P. 2-18. – DOI: 10.1016/j.psyneuen.2008.10.004.

AUTONOMIC STRESS MANAGEMENT

G.L. Ozerov, *Candidate of Biological Sciences, Associate Professor*

P.F. Lesgaft National State University of Physical Culture, Sports and Health
(Russia, St. Petersburg)

Abstract. *This article examines the problem of objectifying stress levels through the lens of the functional state of the autonomic nervous system. The relevance of this work stems from the need to find reliable physiological correlates for the early diagnosis of maladaptation and assessing the cost of adaptation. The aim of the study is to systematize current data on the neurophysiological mechanisms of the autonomic response to stress and critically analyze the informativeness of key biomarkers. The paper provides a detailed description of the hierarchical organization of central and peripheral regulatory systems, including the interactions between the sympathetic-adrenal and hypothalamic-pituitary-adrenal circuits. Particular attention is paid to indicators that allow one to assess the intensity of the stress response: heart rate variability parameters, hemodynamic changes, and hormonal marker levels. Based on a summary of literature data, it is demonstrated that isolated measurements of heart rate or blood pressure have low specificity. The true extent of autonomic imbalance can only be verified through a comprehensive analysis of the sympathovagal index, the degree of reactivity during functional tests, and the nature of recovery processes.*

Keywords: *autonomic nervous system; stress; general adaptation syndrome; heart rate variability; sympathovagal.*