Дата публикации: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_12
УДК 612.176.4

Publication date: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_12
UDC 612.176.4

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ И УМСТВЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ВЕГЕТАТИВНЫХ ЦЕНТРОВ У СТУДЕНТОВ

Т.М. Николаева, Е.К. Голубева, Д.А. Скорлупкин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Иваново, Россия

Аннотация. Выраженность адаптивно-приспособительных реакций организма при комбинированном влиянии физической и умственной деятельности определяется соотношением тонуса вегетативных центров. Целью исследования является изучение влияния последовательного предъявления физической и умственной нагрузки на вариабельность сердечного ритма в зависимости от тонуса вегетативных центров у мужчин. Тонус центров вегетативной нервной системы оценивали по частоте сердечных сокращений в состоянии покоя. Динамика показателей вариабельности сердченого ритма при комплексном воздействии физической и умственной нагрузки зависит от исходного тонуса отделов вегетативной нервной системы. Наиболее выраженные изменения показателей сердечного ритма обнаружены у ваготоников, а наименьшие у симпатотоников. Последовательное действие физической и умственной нагрузки вызывает смещение симпатовагального баланса в сторону увеличения активности симпатического звена.
Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, вегетативная нервная система, физическая нагрузка, умственная нагрузка.

COMPREHENSIVE INFLUENCE OF PHYSICAL AND MENTAL WORKLOAD ON HEART RATE VARIABILITY DEPENDING ON THE TONIC ACTIVITY OF AUTONOMIC CENTERS IN STUDENTS

T.M. Nikolaeva, E.K. Golubeva, D.A. Skorlupkin
Ivanovo State Medical University, Ivanovo, Russia

Abstract. The intensity of adaptive-adaptive reactions of the organism under the combined influence of physical and mental activity is determined by the ratio of the tone of the vegetative centers. The aim of the study is to investigate the effect of successive presentation of physical and mental load on heart rate variability depending on the tone of the vegetative centers in men. The tone of the autonomic nervous system centers was assessed by the heart rate at rest. The dynamics of the heart rate variability indices under the complex influence of physical and mental load depends on the initial tone of the autonomic nervous system departments. The most pronounced changes in heart rate indices were found in vagotonics, and the least in sympathotonics. The successive action of physical and mental load causes a shift in the sympathovagal balance towards an increase in the activity of the sympathetic link.
Keywords: heart rate variability, autonomic nervous system, physical load, mental load.

Введение. Известно, что во время обучения в вузе студенты испытывают высокую психоэмоциональную нагрузку, что может приводить к изменению работы многих систем организма [1]. Продолжительная напряженная умственная деятельность часто сопровождается снижением двигательной активности, психовегетативными проявлениями, повышением утомляемости и снижением работоспособности [2]. Значительное напряжение адаптационно-приспособительных механизмов сопровождается снижением подвижности нервных процессов и нарушением регуляции вегетативных функций [3]. Известно, что существует тесная связь между умственной деятельностью студентов и уровнем их двигательной активности [4]. Регулярное продолжительное когнитивное напряжение, физическая инертность влияют на адаптационные возможности организма, приводят к рассогласованию механизмов вегетативной регуляции [5]. Следовательно, актуальным является повышение эффективности двигательной активности и оценка комплексного эффекта умственных и

физических нагрузок на процессы, обеспечивающие приспособительные возможности организма к учебной деятельности [6]. Проявление адаптационно-приспособительных реакций организма при сочетанном влиянии физической и умственной деятельности зависит от соотношения тонуса вегетативных центров [7]. Для анализа адаптивных возможностей организма и исследования функционального состояния регуляторных систем применяется метод анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) [8]. Показатели ВСР позволяют оценить эффективность взаимодействия сердечно-сосудистой и других систем организма, его адаптационные возможности и вегетативный баланс [9]. Актуальным является изучение кардиоваскулярных проявлений адаптивных реакций при последовательном проведении физической и умственной нагрузки в зависимости от исходного тонуса вегетативной нервной системы.

Цель исследования – изучить комплексное влияние физической и умственной нагрузки на вариабельность сердечного ритма в зависимости от тонуса вегетативных центров у студентов мужчин.

Методы и организация исследования. Обследовано 40 практически здоровых мужчин 18-20 лет (студентов ИвГМУ). Параметры ВСР регистрировали с помощью комплекса «Поли-Спектр» компании «Нейрософт» (г. Иваново) в течение пяти минут в соответствии с Международным стандартом. Запись кардиоритмограммы проводили перед нагрузками (контроль) и сразу после последовательного проведения физической и умственной нагрузки. Анализировались следующие показатели ВСР: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин); средняя длительность интервала RR (RRNN, мс); минимальные значения интервалов между нормальными кардиоциклами (RRmin, мс); полученное за весь период записи количество пар соседних интервалов, различающихся более, чем на 50 мс (pNN50, %); общая мощность спектра (TP, мс^2); процент высокочастотных колебаний (0,15-0,40 Гц) (%HF, %); процент низкочастотных колебаний (0,04-0,15 Гц) (%LF, %); мощность очень низкочастотных колебаний (0,003-0,04 Гц) (VLF, мс^2); мощность спектра в диапазоне высоких частот (HF, мс^2); симпатовагальный индекс (LF/HF, усл.ед.); индекс централизации ИЦ (усл.ед.); амплитуда моды (AMo, %); стресс-индекс (SI, усл.ед.). Рассчитывали отклонение показателей ВСР (Δ).

Для воспроизведения физической нагрузки использовали Гарвардский степ-тест. Умственную нагрузку моделировали с помощью корректурного буквенного теста. Тонус центров ВНС оценивали по ЧСС в состоянии покоя. Испытуемые были разделены на три группы: нормотоники (ЧСС составляла 60-80 уд/мин, n=23 чел.), ваготоники (ЧСС менее 60 уд/мин, n=7 чел.) и симпатотоники (ЧСС превышала 80 уд/мин, n=10 чел.). Статистическую обработку результатов производили с помощью программ Excel, STATISTICA. Нормальность распределения данных в выборках оценивали по критерию Шапиро-Уилка. Распределение не подчинялось закону нормальности, поэтому статистическую значимость различий оценивали с использованием критерия Уилкоксона (для зависимых выборок) и критерия Манна-Уитни (для независимых выборок). Количественные показатели описывали с помощью значений медианы и интерквартильного размаха (Me [Q1; Q3]). Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнительный анализ динамики ВСР при комплексном воздействии физической и умственной нагрузки позволил обнаружить более существенные отклонения показателей у студентов-ваготоников (табл.). Так, у лиц с высокой исходной вагусной активностью отмечается более значительное увеличение ЧСС, чем у испытуемых с нормальным и повышенным тонусом симпатического отдела, что отражает более выраженную активацию симпатических структур. Наименьший прирост ЧСС отмечается в группе симпатотоников, что может быть взаимосвязано с исходно повышенным тонусом симпатических центров.

Таблица

Изменение вариабельности сердечного ритма при комплексном влиянии физической и умственной нагрузки в зависимости от тонуса вегетативной нервной системы испытуемых, Me [Q1; Q3]

Показатель	Нормотоники (n=23)	Ваготоники (n=7)	Симпатотоники (n=10)
ΔЧСС, уд/мин	+8,60 [5,12; 14,70]	+21,85 [21,40; 25,50] *p=0,0005	+5,00 [2,30; 6,20] p″=0,0043; p#=0,0479
ΔRRNN, мс	–55,00 [23,75; 99,75]	–194,00 [117,00; 279,00] *p=0,0018	–56,00 [36,00; 116,00] p″=0,0152
ΔpNN50, %	–9,70 [4,20; 11,20]	–11,4 [4,62; 15,22]	–1,00 [0,20; 3,20] p″=0,0275; p#=0,0265
ΔTP, мс²	–3104,00 [1761,00; 3942,00]	–4525,00 [3233,00; 4948,00] *p=0,0423	–1597,00 [634,00; 2345,00] p″=0,0285; p#=0,0426
ΔLF/HF, усл.ед.	+1,05 [0,59; 1,52]	+1,86 [1,24; 4,11] *p=0,0357	+0,86 [0,65; 1,20] p″=0,0285
ΔVLF, мс²	–646,00 [345,00; 1483,00]	–390,00 [198,00; 776,00]	–2661,00 [2273,50; 2852,00] p″=0,0143; p#=0,0020
ΔHF, мс^2	–1596,00 [793,50; 2133,50]	–3820,00 [2844,25; 4611,25] *p=0,0012	–1404,50 [1216,00; 1604,00] p″=0,0090
ΔИЦ, усл.ед.	+1,33 [1,10; 3,05]	+4,78 [2,41; 5,26] *p=0,0109	+1,13 [0,36; 1,77] p″=0,0105
ΔAMo, %	–10,15 [5,20; 15,90]	–22,10 [21,00; 23,40] *p=0,0089	–9,60 [7,70; 11,82] p″=0,0062
ΔSi, усл.ед.	+36,44 [14,43; 44,07]	+57,31 [44,37; 82,47] *p=0,0478	+25,63 [18,81; 30,66] p″=0,0285; p#=0,0459

Примечание: * – статистически значимые различия изменения показателей у ваготоников и нормотоников; ″ – статистически значимые различия изменения показателей ВСР у ваготоников и симпатотоников; # – статистически значимые различия изменения показателей ВСР у нормотоников и симпатотоников; Δ – отклонение показателей ВСР при комплексном влиянии физической и умственной нагрузки от контрольных значений; ЧСС – частота сердечных сокращений; RRNN – средняя длительность интервала R–R; pNN50 – полученное за весь период записи количество пар соседних интервалов, различающихся более, чем на 50 мс; TP – общая мощность спектра; %HF – процент высокочастотных колебаний; %LF – процент низкочастотных колебаний; VLF – мощность очень низкочастотных колебаний; HF – мощность спектра в диапазоне высоких частот; LF/HF – симпатовагальный индекс; ИЦ – индекс централизации; AMo – амплитуда моды; SI – стресс-индекс.

Сочетанное действие физической и умственной деятельности приводит к более значительному укорочению RRNN у студентов с преобладанием фоновой вагусной активности, что подтверждает большее снижение роли парасимпатических влияний на сердечную деятельность. Сопоставление степени уменьшения RRNN у нормотоников и симпатотоников выявило отсутствие достоверных различий. Понижение RRNN может быть сопряжено со значительным уменьшением значений RRmin, при этом максимальное понижение RRmin наблюдается у ваготоников, а наименьшее у симпатотоников. Отклонение RRmin у ваготоников составляет –111,00 [96,00; 124,00], а у симпатотоников –37,50 [29,00; 47,00] (p=0,0159). У нормотоников ΔRRmin составляет –84,00 [42,00; 109,00], что достоверно ниже, чем у ваготоников (p=0,03380), но больше, чем у симпатотоников (p=0,0290). У ваготоников и

нормотоников наблюдается наиболее выраженное понижение pNN50 по сравнению с изменением этого параметра у симпатотоников, что может свидетельствовать о значительном уменьшении степени возбуждения парасимпатического отдела ВНС при последовательной физической и умственной деятельности. Это подтверждается большим снижением HF (мс^2) и HF% у ваготоников и нормотоников (рис. 1).

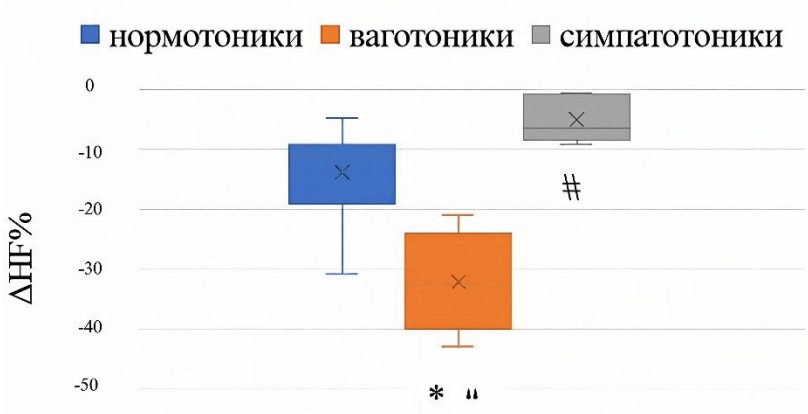


Рис. 1. Отклонение HF% при комплексном влиянии физической и умственной нагрузки
Примечание: * – статистически значимые различия изменения показателей у ваготоников и нормотоников; ″ – статистически значимые различия изменения показателей ВСР у ваготоников и симпатотоников; # – статистически значимые различия изменения показателей ВСР у нормотоников и симпатотоников.

Наибольшее уменьшение %HF происходит у лиц с высокой вагусной активностью (–37,50 [20,40; 41,80]) по сравнению с нормотониками (–11,30 [9,27; 19,11] (p=0,003)) и симпатотониками (–3,20 [0,35; 13,50] (p=0,033)), что связано с большим уменьшением активности парасимпатического отдела ВНС после последовательного предъявления физической и умственной нагрузки.

Снижение HF% у симпатотоников составляет (–3,20 [0,35; 13,50]), что значительно ниже, чем у нормотоников (p=0,046), что может быть связано с их исходно низким уровнем вагусных влияний. При последовательном выполнении степ-теста и корректурной пробы у ваготоников наблюдается значительное увеличение %LF, что свидетельствует о большем увеличении активности симпатических вегетативных центров (рис. 2). Наибольшее повышение %LF наблюдается в группе ваготоников (+34,45 [22,85; 41,05]) по сравнению с изменением у лиц с нормальным тонусом симпатического отдела ВНС (+17,82 [10,30; 24,45] (p=0,0472)) и высоким симпатическим тонусом (+8,40 [7,00; 16,60] (p″=0,0330)). Между нормотониками и симпатотониками достоверные отличия Δ%LF отсутствуют.

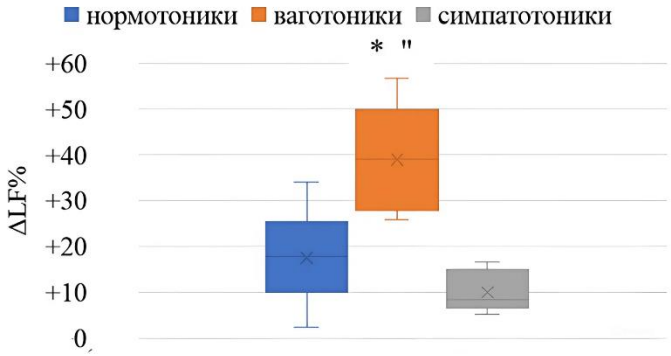


Рис. 2. Отклонение LF% при комплексном влиянии физической и умственной нагрузки
Примечание: * – статистически значимые различия изменения показателей у ваготоников и нормотоников; ″ – статистически значимые различия изменения показателей ВСР у ваготоников и симпатотоников

Комплексное проведение физической и умственной нагрузки приводит к более существенному смещению симпатовагального индекса LF/HF в группе с повышенным парасимпатическим тонусом по сравнению с испытуемыми других групп, что сопровождается более выраженным уменьшением общей мощности спектра (TP). Наибольшее снижение VLF наблюдается у симпатотоников, что может быть связано с исходно более высокой степенью напряжения регуляторных механизмов и исходно высоким уровнем психоэмоционального напряжения. Наибольшее снижение AMo проявляется у ваготоников, что указывает на преимущественное повышение активности симпатического звена ВНС в этой группе в сопоставлении изменений у нормотоников и симпатотоников. Кроме этого, понижение AMo демонстрирует стабилизирующий эффект централизации в регуляции сердечного ритма. Это подтверждается повышением ИЦ при последовательном предъявлении физической и умственной нагрузки. Наибольшее повышение ИЦ наблюдается у ваготоников, что свидетельствует о большем нарастании активности центрального контура. Наиболее выраженный у ваготоников прирост такого интегрального показателя как Si позволяет судить о большей степени напряжения регуляторных механизмов и активации симпатических центров у испытуемых этой группы по сравнению с нормотониками и симпатотониками.

Заключение. Таким образом, последовательное влияние физической и умственной нагрузки способствует возникновению напряжения механизмов регуляции сердечного ритма и приводит к отклонению вегетативного баланса в сторону превалирования активности симпатического отдела. Исходный тонус ВНС обуславливает динамику изменений показателей ВСР при комплексном воздействии физической и умственной деятельности. Более выраженные изменения показателей сердечного ритма отмечаются у ваготоников и менее выраженные – у симпатотоников.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чедов, К.В. Физическая культура. Здоровый образ жизни: Учебно-методическое пособие для студентов вузов / К.В. Чедов, Г.А. Гавронина, Т.И. Чедова. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2020. – 128 с.
2. Парахина, П.А. Влияние физической культуры и спорта на умственную работоспособность у студентов высших учебных заведений / П.А. Парахина, И.Ю. Лучкова // Достижения науки и образования. – 2020. – № 8 (62). – С. 56–59.
3. Особенности адаптации к умственной деятельности у студентов / Н.А. Литвинова, Д.Ю. Кувшинов, В.И. Иванов, А.И. Солобуев // Психология. Психофизиология. – 2021. – Т. 14. – № 4. – С. 114–127.
4. Веселова, А.В. Влияние физической активности на умственные способности студента высшего заведения / А.В. Веселова, Н.В. Васенков // Тенденции развития науки и образования. – 2023. – № 97-1. – С. 118–120. DOI: 10.18411/trnio-05-2023-37.
5. Кириллова, Т.Г. Влияние физических и умственных нагрузок на показатели вегетативной регуляции студенток / Т.Г. Кириллова, Т.Н. Ефимова // Таврический научный обозреватель. – 2017. – № 12-2 (29). – С. 47–51.
6. Фалеев, Д.И. Влияние физической активности на умственные способности студентов / Д.И. Фалеев // Молодой ученый. – 2022. – № 12 (407). – С. 288–291.
7. Вегетативный тонус и регуляция системы кровообращения у спортсменов при стрессовых ситуациях и профилактика аритмий / А.К. Журавлев, Г.И. Семикин, Ю.Ю. Голубев [и др.] // Живая психология. – 2017. – Т. 4. – № 3 (15). – С. 231–240. DOI: 10.18334/lp.4.3.38461.
8. Новиков, А.А. Подходы к оценке показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы) / А.А. Новиков, А.В. Смоленский, А.В. Михайлова // Вестник новых медицинских технологий. – 2023. – № 3.
9. Шлык, Н.И. Вариабельность сердечного ритма и методы ее определения у спортсменов в тренировочном процессе: методическое пособие / Н.И. Шлык. – Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2022. – 80 с.

REFERENCES
1. Chedov K.V., Gavronina G.A., Chedova T.I. Physical Education. Healthy Lifestyle: A Textbook for University Students. Perm: Perm State National Research University, 2020, p. 128. (in Russ.)
2. Parakhina P.A., Luchkova I.Yu. The Impact of Physical Education and Sports on the Mental Performance of Students of Higher Education Institutions. *Achievements of Science and Education*, 2020, no. 8 (62), pp. 56–59. (in Russ.)
3. Litvinova N.A., Kuvshinov D.Yu., Ivanov V.I., Solobuev A.I. Features of Adaptation to Mental Activity in Students. *Psychology. Psychophysiology*, 2021, vol. 14, no. 4, pp. 114–127. (in Russ.)
4. Veselova A.V., Vasenkov N.V. The influence of physical activity on the mental abilities of a student of a higher institution. *Trends in the development of science and education*, 2023, no. 97-1, pp. 118–120. DOI: 10.18411/trnio-05-2023-37. (in Russ.)
5. Kirillova T.G., Efimova T.N. The influence of physical and mental stress on the indicators of autonomic regulation of female students. *Tavrichesky Scientific Observer*, 2017, no. 12-2 (29), pp. 47–51. (in Russ.)
6. Faleev D.I. The Impact of Physical Activity on Students' Mental Abilities. *Young Scientist,* 2022, no. 12 (407), pp. 288–291. (in Russ.)
7. Zhuravlev A.K., Semikin G.I., Golubev Yu.Yu. et al. Vegetative Tone and Regulation of the Circulatory System in Athletes in Stressful Situations and Prevention of Arrhythmias. *Live Psychology*, 2017, vol. 4, no. 3 (15), pp. 231–240. DOI: 10.18334/lp.4.3.38461. (in Russ)
8. Novikov A.A., Smolensky A.V., Mikhailova A.V. Approaches to assessing heart rate variability indicators (literature review). *Bulletin of new medical technologies*, 2023, no. 3. (in Russ.)
9. Shlyk N.I. Heart Rate Variability and Methods for Its Determination in Athletes in the Training Process: A Methodological Guide. Izhevsk: Udmurt State University, 2022, p. 80. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Татьяна Михайловна Николаева – старший преподаватель кафедры патофизиологии и иммунологии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: tania020480@yandex.ru.
Елена Константиновна Голубева – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: elkgol@yandex.ru.
Дмитрий Андреевич Скорлупкин – ассистент кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Ивановский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Иваново, e-mail: sk_dmit96@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Tat'yana M. Nikolaeva – Senior Lecturer, Department of Pathophysiology and Immunology, Ivanovo State Medical University, Ivanovo, tania020480@yandex.ru.
Elena K. Golubeva – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Normal Physiology, Ivanovo State Medical University, Ivanovo, elkgol@yandex.ru.
Dmitrij A. Skorlupkin – Assistant of the Department of Normal Physiology, Ivanovo State Medical University, e-mail: sk_dmit96@mail.ru.

Для цитирования: Николаева, Т.М. Комплексное влияние физической и умственной нагрузки на вариабельность сердечного ритма в зависимости от тонической активности вегетативных центров у студентов / Т.М. Николаева, Е.К. Голубева, Д.А. Скорлупкин // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_12

For citation: Nikolaeva T.M., Golubeva E.K., Skorlupkin D.A. Comprehensive influence of physical and mental workload on heart rate variability depending on the tonic activity of autonomic centers in students. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_12