

УДК 612: 616-053.7

ОСОБЕННОСТИ МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ И МЕЖСИСТЕМНЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ У ЮНОШЕЙ – УРОЖЕНЦЕВ СЕВЕРА С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ

© 2016 г. И. В. Аверьянова, А. Л. Максимов

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения РАН, г. Магадан

В исследованиях приняли участие 320 юношей – уроженцев Северо-Востока России из числа европеоидов. Все обследованные были дифференцированы на три группы в зависимости от исходного типа вегетативной регуляции. У испытуемых исследовали показатели физического развития, гемодинамики, газоанализа, функции внешнего дыхания и вариабельности сердечного ритма. Установлено, что у представителей всех трех групп отмечается напряжение регуляторных механизмов саморегуляции, в большей степени выраженное у испытуемых с симпатикотонической направленностью в регуляции сердечного ритма. Проведенные нами исследования выявили, что тип вегетативной регуляции не только определяет различия в параметрах вариабельности сердечного ритма, но и связан с морфофункциональными показателями. При этом у юношей с различным типом вегетативной регуляции формируется характерный только для них морфофункциональный профиль, структура которого определяется количеством статистически информативных показателей, объединяемых в определенное число факторов. Отмечено, что на основании структуры морфофункциональных портретов можно оценивать динамику хода адаптивных перестроек среди юношей – уроженцев Севера, где сдвиги структуры матрицы в сторону, характерную для ваготоников, указывают на увеличение адаптационного потенциала изучаемых лиц.

Ключевые слова: юноши, тип вегетативной регуляции, морфофункциональные показатели, факторный анализ, морфофункциональный профиль

PECULIARITIES OF MORPHOFUNCTIONAL PROFILES AND INTERSYSTEM RELATIONS OBSERVED IN YOUNG MALE NORTH-BORN RESIDENTS WITH DIFFERENT TYPES OF VEGETATIVE REGULATION

I. V. Averyanova, A. L. Maksimov

SRC "Arktika" FEB RAS, Magadan, Russia

320 European young males born in the northeast of Russia took part in the study. All the examinees were divided into three groups depending on original type of vegetative regulation to study physical development, hemodynamic, gas analysis, external respiration functioning, and heart rate variability indices. The examined subjects of the three groups proved to have their autoregulation mechanisms stressed. The stress was more pronounced in the individuals with sympathicotonic regulation in the heart rate. Our study revealed that, type of vegetative regulation not only ascertains difference in heart rate variability parameters, but also relates to morphofunctional indices. Besides, depending upon their type of vegetative regulation, the young male subjects have their specific morphofunctional profile which structure is determined by a number of statistically informative indices integrated into a certain series of factors. Of note that, structures of morphofunctional portraits enable to assess dynamics of adaptation change developments among north-born young males. The changes in the matrix structure towards vagotonic specific area testify to higher adaptabilities that the examined subjects have acquired.

Keywords: young males, type of vegetative regulation, morphofunctional indices, factor analysis, morphofunctional profile

Библиографическая ссылка:

Аверьянова И. В., Максимов А. Л. Особенности морфофункциональных профилей и межсистемных взаимосвязей у юношей – уроженцев Севера с различным типом вегетативной регуляции // Экология человека. 2016. № 9. С. 21–29.

Averyanova I. V., Maksimov A. L. Peculiarities of Morphofunctional Profiles and Intersystem Relations Observed in Young Male North-Born Residents with Different Types of Vegetative Regulation. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 9, pp. 21-29.

Важным интегральным параметром, отражающим состояние вегетативного гомеостаза, является исходный вегетативный тонус — степень выраженности симпатических и парасимпатических влияний на организм в состоянии относительного покоя [15]. Известно, что по преобладанию или сбалансированности звеньев вегетативной нервной системы (ВНС) всех лиц можно разделить на нормотоников, ваготоников и симпатотоников.

Многочисленные исследования вегетативной регуляции сердечного ритма подтверждают, что коле-

бания статистических характеристик вариабельности сердечного ритма (ВСР) раньше, чем другие функциональные показатели, сигнализируют о напряжении в деятельности всего организма, так как нервная и гуморальная регуляции кровообращения изменяются раньше, чем выявляются энергетические, метаболические и гемодинамические нарушения [2]. Известно, что учет типологических характеристик вегетативных регуляций позволяет определить уровень функционального напряжения и внутреннюю структуру системной организации гомеостаза организма [15].

Однако вопрос зависимости морфофункциональных показателей организма от исходного типа вегетативной регуляции у молодых мужчин практически не изучен. В связи с вышесказанным мы решили изучить основные характеристики физического развития, показатели сердечно-сосудистой системы, газоанализ, оксигенацию артериальной крови, а также вариабельность сердечного ритма у молодых людей призывного возраста — уроженцев Магаданской области в зависимости от исходного состояния вегетативного баланса.

Методы

Было обследовано 320 юношей — студентов г. Магадана (возраст $(18,3 \pm 0,9)$ года, масса тела $(70,5 \pm 0,7)$ кг, длина тела $(179,6 \pm 0,6)$ см). Функциональные резервы кардиогемодинамики оценивались с помощью регистрации показателей вариабельности кардиоритма по методу Р. М. Баевского с использованием прибора «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi. Изучаемые показатели ВСР и их диапазоны были подробно представлены в ранее проведенных исследованиях [11].

Тип исходного вегетативного тонуса определяли на основании значений следующих показателей: MxDMn, SI, TP, где диапазон эйтонии для MxDMn мы учитывали равным от 200 до 300 мс, для SI — от 70 до 140 усл. ед., для TP — от 1 000 до 2 000 мс². Если исследуемые показатели MxDMn и TP находились ниже данных диапазонов, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, при повышении величин данного коридора — как ваготонический. Напротив, относительно показателей SI: повышение значений SI служило критерием оценки вегетативного баланса как с преобладанием симпатических влияний на сердечный ритм, а их понижение — преобладанием ваготонической составляющей соответственно.

У обследуемых общепринятыми методами определяли основные соматометрические показатели: длину и массу тела, окружность грудной клетки и по этим данным рассчитывали индексы Пинье (ИП, усл. ед.) и пропорциональности телосложения (ПТ, %), а также отношение массы тела к площади тела (MT/S, кг/м²). На основе метода биоэлектрического сопротивления определяли общее содержание жира (в % от массы тела) в организме.

Анализ функционального состояния сердечно-сосудистой системы в покое производился путем измерения показателей систолического (САД, мм рт. ст.) и диастолического (ДАД, мм рт. ст.) артериального давления, а также частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) автоматическим тонометром Nesei DS-1862 (Япония). В дальнейшем рассчитывали пульсовое давление (ПД, мм рт. ст.), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС, дин² · с · см⁻⁵), ударный объем по Старру (УО, мл) и минутный объем кровообращения (МОК, мл) [16].

Для оценки ряда параметров системы внешнего дыхания (ВД) и газообмена у юношей в состоянии

покоя с помощью метаболога MedGraphics VO2000 (США) определяли уровни содержания кислорода (O₂, %) и углекислого газа (CO₂, %) в выдыхаемом воздухе, потребление кислорода (ПО₂, мл/мин), минутный объем дыхания (МОД, л), частоту дыхания (ЧД, цикл/мин), дыхательный объем (ДО, мл) и энергозатраты в состоянии покоя (ккал/мин) (ЭЗП), коэффициент использования кислорода (КИО₂, мл/л). Легочные объемы (ДО) и показатели вентиляции (МОД) автоматически приводились к системе VTPS, а величина потребления кислорода (ПО₂) — к системе STPD.

Все обследования осуществлялось в помещении с комфортной температурой в первой половине дня. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНЦ ДВО РАН. До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Полученные результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ «Statistica 7.0» Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро — Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей (C25 и C75), а параметрических — среднего значения (M) и ошибки средней арифметической ($\pm m$). Статистическая значимость различий определялась с помощью критерия Штеффе для выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна — Уитни для выборок с ненормальным распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0.05; 0.01; 0.001. При факторном анализе использовался метод главных компонент с вращением Varimax с нормализацией Кайзера [5].

Результаты

Анализ распределения всей выборки изучаемого контингента юношей-студентов показал, что лица, имеющие симпатотонический тип вегетативной регуляции, составляли 14 % от общей группы, с нормотонией было выявлено 27 %, а с ваготонией 59 %. Значения ВСР, представленные в табл. 1, показали, что практически по всем изучаемым показателям между группами обследуемых лиц, сформированными в зависимости от ведущего типа вегетативной нервной регуляции (ВНР), наблюдаются статистически значимые различия. Так в ряду от симпатотоников к ваготоникам отмечается увеличение показателей MxDMn, RMSSD, pNN50%, SDNN, CV, TP, HF мс², LF мс², VLF мс² на фоне снижения показателей HR, AMo, SI, показателя HF/LF, IC и ПАРС.

В табл. 2 представлены морфофункциональные показатели в изучаемых группах, из которых следует, что статистически значимо меньшая длина тела

Таблица 1

Показатели вариабельности сердечного ритма у юношей г. Магадана в зависимости от исходного типа вегетативной нервной регуляции, Ме (25; 75)

| Исследуемый показатель | Исходный вегетативный тонус | | | Уровень значимости различий (p) | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| | Симпатотоники | Нормотоники | Ваготоники | 1–2 | 2–3 | 1–3 |
| HR, уд./мин | 92,9 (86,2;103,2) | 78,0 (73,5;80,2) | 67,2 (64,2; 74,5) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| MxDMп, мс | 179,3 (159,0;188,9) | 247,9 (229,7; 270,0) | 418,8 (349,8; 529,0) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| RMSSD, мс | 19,7 (14,7; 24,8) | 28,6 (26,7; 33,7) | 55,0 (43,2; 71,9) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| pNN50, % | 1,9 (0,2; 4,1) | 6,8 (4,8; 11,3) | 25,0 (14,9; 41,5) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| SDNN, мс | 30,3 (28,1; 33,6) | 45,0 (40,5; 48,6) | 68,9 (61,1; 82,7) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| CV, % | 4,7 (4,2; 5,1) | 6,1 (5,5; 6,6) | 8,6 (7,6; 10,1) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| Mo, мс | 629,7 (574,7; 715,3) | 725,9 (680,3;775,9) | 821,1 (725,2; 879,2) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| AMo50, мс | 58,8 (50,9; 63,9) | 42,7 (37,9; 46,1) | 31,3 (25,5; 35,0) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| SI, усл. ед. | 226,9 (205,8; 291,7) | 113,8 (94,7; 131,4) | 42,8 (32,5; 60,3) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| TP, мс ² | 653,8 (568,2; 820,7) | 1525,8 (1214,7; 1830,8) | 3527,1 (2693,4; 5054,5) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| HF, мс ² | 160,5 (90,6; 213,8) | 338,8 (253,4; 513,9) | 1232,9 (705,6; 2184,5) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| LF, мс ² | 365,5 (266,3; 450,2) | 747,1 (578,2; 912,4) | 1583,2 (1011,5; 2120,7) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| VLF, мс ² | 117,9 (69,9; 149,1) | 241,3 (179,1; 402,6) | 597,5 (384,3; 852,6) | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| LF/HF, усл. ед. | 2,7 (2,2; 3,9) | 2,2 (1,4; 3,2) | 1,2 (0,7; 2,5) | 0.032 | 0.008 | 0.006 |
| IS, усл. ед. | 3,7 (3,2; 4,2) | 3,0 (3,0; 5,0) | 1,7 (1,0; 3,5) | 0.48 | <0.001 | 0.007 |
| ПАРС, усл. ед. | 7,0 (5,0; 8,0) | 4,0 (3,0; 5,0) | 4,0 (3,0; 5,0) | <0.001 | 0.023 | <0.001 |

наблюдалась в группе лиц с ваготоническим типом относительно значений, характерных для двух других групп. При этом все остальные изучаемые соматометрические показатели: масса тела, окружность грудной клетки, общее содержание жира, индекс Пинье, статистически не различались.

Среди изученных шести показателей гемодинамики значимые различия между изучаемыми типизированными группами наблюдались только по двум – МОК и ОПС, при этом значения МОК уменьшались, а ОПС увеличивались от симпатотоников к ваготоникам (табл. 2).

Показатели внешнего дыхания и газообмена представлены в табл. 3. Из приведенных данных видно, что в ряду от симпатотоников к ваготоникам отмечается увеличение дыхательного объема. Наименьшие величины частоты дыхания выявлены в группе нормотоников, что, в свою очередь, ведет к снижению минутного объема дыхания и энергозатрат в состоянии покоя у представителей этой группы. Наивысшие показатели уровня потребления кислорода отмечены в группе ваготоников. Самые низкие значения коэффициента использования кислорода были зафиксированы в группе юношей-симпатото-

Таблица 2

Соматометрические и гемодинамические показатели юношей г. Магадана в зависимости от исходного вегетативного баланса (M ± m)

| Исследуемый показатель | Исходный вегетативный тонус | | | Уровень значимости различий | | |
|--|-----------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|-------|--------|
| | Симпатотоники | Нормотоники | Ваготоники | 1–2 | 2–3 | 1–3 |
| Масса тела, кг | 71,8±1,7 | 71,4±1,3 | 69,8±0,7 | 0.962 | 0.363 | 0.326 |
| Общее содержание жира, % | 11,3±0,6 | 11,3±0,6 | 10,4±0,3 | 0.912 | 0.201 | 0.234 |
| Длина тела, см | 181,5±1,0 | 180,5±0,7 | 178,8±0,5 | 0.451 | 0.032 | 0.045 |
| Окружность грудной клетки, см | 91,1±1,0 | 91,2±0,6 | 90,9±0,4 | 0.991 | 0.704 | 0.963 |
| ИП, усл. ед. | 21,4±2,3 | 21,3±2,0 | 21,7±1,1 | 0.994 | 0.823 | 0.901 |
| ПТ, % | 92,0±0,6 | 92,3±0,6 | 92,0±0,4 | 0.712 | 0.611 | 0.992 |
| MT/S, кг/ м ² | 37,3±0,5 | 37,3±0,3 | 37,1±0,2 | 0.991 | 0.624 | 0.722 |
| САД, мм рт. ст. | 131,0±1,6 | 131,4±1,2 | 130,2±0,7 | 0.862 | 0.401 | 0.751 |
| ДАД, мм рт. ст. | 77,0±1,6 | 77,6±1,0 | 75,5±0,8 | 0.742 | 0.205 | 0.561 |
| ПД, мм рт. ст. | 54,0±1,6 | 53,8±1,1 | 54,3±0,9 | 0.905 | 0.721 | 0.825 |
| УО, мл | 70,9±1,6 | 70,5±1,0 | 72,0±0,8 | 0.921 | 0.102 | 0.506 |
| МОК, мл/мин | 6102,0±197,0 | 5500,5±96,3 | 5196,5±70,9 | 0.005 | 0.045 | <0.001 |
| ОПС, дин ² · с · см ⁻⁵ | 1368,3±47,6 | 1496,4±30,1 | 1577,0±26,8 | 0.046 | 0.021 | <0.001 |

Таблица 3

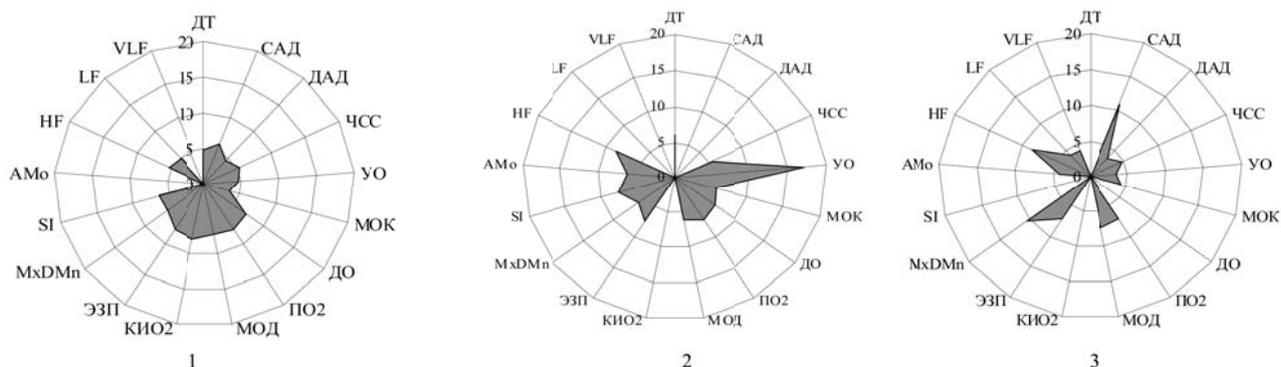
Показатели внешнего дыхания и газоанализа у юношей г. Магадана в зависимости от исходного типа вегетативной нервной регуляции ($M \pm m$)

| Исследуемый показатель | Исходный вегетативный тонус | | | Уровень значимости различий | | |
|---|-----------------------------|-------------|------------|-----------------------------|--------|--------|
| | Симпатотоники | Нормотоники | Ваготоники | 1–2 | 2–3 | 1–3 |
| ДО, мл | 552,4±24,3 | 639,5±26,2 | 700,8±16,8 | 0.045 | 0.023 | <0.001 |
| ЧД, цикл/мин | 17,3±0,6 | 12,6±0,4 | 13,3±0,3 | <0.001 | 0.035 | <0.001 |
| Уровень CO ₂ в выдыхаемом воздухе, % | 3,64±0,06 | 3,78±0,07 | 3,79±0,04 | 0.213 | 0.921 | 0.035 |
| Уровень O ₂ в выдыхаемом воздухе, % | 17,12±0,08 | 16,77±0,09 | 17,02±0,05 | 0.008 | 0.002 | 0.323 |
| МОД, л | 9,1±0,4 | 8,0±0,2 | 9,4±0,2 | 0.041 | <0.001 | 0.522 |
| ПО ₂ , мл/мин | 309,0±11,4 | 307,2±9,7 | 334,5±7,6 | 0.901 | 0.049 | 0.043 |
| КИО ₂ , мл/л | 34,5±0,7 | 38,6±0,8 | 36,2±0,4 | <0.001 | 0.007 | 0.048 |
| Энергозатраты в состоянии покоя, ккал/мин | 1,70±0,06 | 1,48±0,08 | 1,75±0,05 | 0.032 | 0.011 | 0.523 |

Таблица 4

Показатели факторного анализа морфофункциональных характеристик и варибельности сердечного ритма у юношей с различными исходными типами вегетативной нервной регуляции

| Тип вегетативной регуляции | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|---|-------------------------------|--------------|------------|---|-------------------------------|--------------|-----------------|---|-------------------------------|
| Симпатотоники | | | | Нормотоники | | | | Ваготоники | | | |
| Ранг фактора | Показатель | Удельное значение показателя в структуре фактора, % | Суммарное значение фактора, % | Ранг фактора | Показатель | Удельное значение показателя в структуре фактора, % | Суммарное значение фактора, % | Ранг фактора | Показатель | Удельное значение показателя в структуре фактора, % | Суммарное значение фактора, % |
| 1 | ДО | 7,2 | 30 | 1 | ДО | 6,5 | 27 | 1 | ПО ₂ | 7,2 | 22 |
| | ПО ₂ | 7,7 | | | МОД | 7,5 | | | | | |
| | МОД | 7,4 | | | ЭЗП | 7,2 | | | | | |
| | ЭЗП | 7,7 | | | МхДМп | 10,5 | | | | | |
| 2 | ЧСС | 5,3 | 28 | 2 | УО | 17 | 17 | 2 | HF | 8,5 | 19 |
| | МхДМп | 6,3 | | | 3 | AMo | | | 4,1 | | |
| | SI | 6,3 | | LF | | 4,1 | 12 | | | | |
| | HF | 5,3 | | VLF | | 3,9 | | | | | |
| | LF | 4,8 | | 4 | МхДМп | 5,9 | 12 | 4 | САД | 11 | 11 |
| 3 | ДАД | 4,5 | 13 | 5 | AMo | 6,2 | | | 11 | 5 | |
| | УО | 4,7 | | | МОК | 5,6 | МОК | 4,3 | | | |
| | МОК | 3,7 | | | 4 | 6 | ДТ | 6 | | | 6 |
| ДАД | 4,5 | УО | 3,5 | | | | | | | | |
| 4 | ДТ | 4,9 | 11 | 6 | ДТ | 6 | 6 | 6 | УО | 3,5 | 7 |
| | САД | 6,0 | | | | | | | | | |
| 5 | КИО ₂ | 8,0 | 8 | | | | | | | | |



Морфофункциональные профили у юношей с различными типами вегетативной нервной регуляции
 Примечание. 1 – симпатотоники, 2– нормотоники, 3 – ваготоники.

ников, а самые высокие — в группе испытуемых нормотоников.

Для комплексной оценки особенностей межсистемных взаимосвязей морфофункциональных показателей и характеристик кардиоритма у испытуемых с различным исходным вегетативным типом был проведен факторный анализ. Для количественной оценки влияния фактора на функциональное состояние организма, а в частности на вегетативный баланс организма, был вычислен удельный вес каждого из показателей, входящих в тот или иной фактор (табл. 4). В дальнейшем на основании полученных данных были построены портреты морфофункционального профиля симпатотоников, нормотоников и ваготоников, для определения их структуры были сформированы в едином масштабе лепестковые диаграммы, на которых в процентах представлены значения каждого из 17 изученных показателей, входящих в общую структуру выделенных факторов (рисунок).

Обсуждение результатов

Принимая во внимание высокую вариабельность параметров кардиоритма, в настоящее время ученые в своих работах указывают на ошибочность оценки ВСР в групповых и популяционных исследованиях без учета типологических особенностей регуляции кардиоритма [11, 15].

Анализируя показатели ВСР (см. табл. 1), мы выявили, что, самые низкие величины $MxDMn$, $pNN50$, $RMSSD$ характерны юношам-симпатотоникам, что свидетельствует о снижении активности автономного регуляторного контура относительно лиц с нормо- и ваготоническим типом ВНР. В работе Ю. В. Бушова и Н. Н. Несмеловой [6] отмечается, что лица, обладающие исходно ваготоническим типом вегетативной регуляции, проявляют энергетически экономный характер функционирования, определяющий повышенную устойчивость к действию факторов различной физической природы.

Выявленные нами столь низкие значения $SDNN$, отражающие выраженную регуляторную активацию высших вегетативных центров гипоталамо-гипофизарного уровня, свидетельствуют о том, что у молодых людей-симпатотоников наблюдается постоянное высокое напряжение функциональных резервов системы кардиогемодинамики, что в полной степени согласуется с самыми высокими показателями ПАРС (более 7,0 баллов) у этих лиц. Необходимо отметить, что снижение $SDNN$ до 50 мс и ниже является неблагоприятным признаком функционирования сердечно-сосудистой системы и риском развития сердечно-сосудистых заболеваний и обусловлено значительным напряжением регуляторных систем, когда в процесс регуляции включаются высшие уровни управления, что ведет к почти полному подавлению активности автономного контура [13]. На это же указывают и значения стресс-индекса, которые в группе симпатотоников превышали показатели нормотоников в 2 раза, а относительно ваготоников в 6 раз. С по-

зиции оценки здоровья по методу Р. М. Баевского, в котором отмечается, что чем более низким SI обладает субъект, тем выше его адаптивный потенциал [3]. И напротив, при высоком стресс-индексе (в нашем случае у симпатотоников 227 усл. ед.) и симпатикотонической направленности регуляции сердечного ритма адапционные и функциональные возможности, включая уровень здоровья, снижены.

Общая мощность спектра (TP), которая характеризует суммарный уровень активности регуляторных систем организма, значимо выше у юношей с исходным ваготоническим тонусом. Наивысшие значения показателей HF мс², LF мс², VLF мс² были выявлены у ваготоников со снижением их к группе симпатотоников.

При этом нужно отметить, что статически значимо более высокие показатели HF составляющей в % от общей мощности спектра выявлены в группе юношей-ваготоников со снижением данного показателя у представителей 1-й и 2-й групп. Большой вклад в динамику сердечного ритма у испытуемых всех групп представлен LF -волнами (от 44 до 55 %). Необходимо отметить высокие значения мощности спектра низкочастотного компонента в % суммарной мощности колебаний (LF , %) у молодых людей-нормотоников, при этом мы выявили более низкие значения данного показателя у испытуемых с преобладанием ваготонической направленности в регуляции сердечного ритма. В настоящее время нет единого мнения о природе формирования LF -компонента в общей мощности спектра, которая, по мнению одних авторов, является маркером симпатических влияний [3], а по мнению других — обеспечивается как симпатическими, так и парасимпатическими механизмами, сопряженными с барорефлекторной регуляцией СР [18].

Следует подчеркнуть, что у юношей-симпатотоников и нормотоников отмечаются повышенные относительно принятой нормы (LF/HF 1,5–2,0; IC 0,3–2,5) значения соотношения мощностей низких и высоких частот, а также индекса централизации [20], что может свидетельствовать о преобладании церебральных эрготропных влияний на регуляцию сердечного ритма. У юношей с ваготоническим типом вегетативной регуляции наблюдаются статистически значимо более низкие значения этих показателей, однако даже у них значения ПАРС указывают, что состояние регуляторных систем находится в состоянии относительного напряжения, выходя из так называемой оптимальной зеленой зоны, согласно классификации уровней здоровья по принципу «светофора» [3]. При этом зависимостей абсолютного большинства соматометрических показателей (кроме длины тела) от исходных типов вегетативной регуляции установлено не было.

Анализ показателей гемодинамики по группам с различными типами вегетативной регуляции выявил значимые различия по частоте сердечных сокращений, более высокие показатели которых у симпатотоников и определяли повышенный уровень минутного объема

кровообращения у них относительно лиц с нормо- и ваготоническими типами ВНР. При этом величины АД статистически между обследуемыми группами лиц не различались.

Отметим, что поддержание артериального давления на определенном уровне и его изменения являются результатом многих сложных нейрогуморальных взаимодействий [19]. Как известно, организм поддерживает в результате компенсаторно-приспособительной реакции такую величину АД, которая требуется для обеспечения должного кровотока [1]. Так, в группе ваготоников поддержание уровня АД осуществляется преимущественно за счет сосудистого компонента, что имеет проявление в статистически значимо более высоких показателях ОПСС у обследуемых данной группы. Более высокие значения ОПСС могут быть следствием взаимодействия дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Исходя из величин показателей ЧД и ДО у юношей-ваготоников, отмечают редкий и глубокий тип дыхания, называемый брадипноидным типом дыхания, что ведет за собой возрастание альвеолярного и транспульмонального давления, а также легочного сосудистого сопротивления, обуславливающих уменьшение величины венозного кровотока к сердцу по сравнению с таковой во время выдоха при обычном типе дыхания [17]. Снижение венозного возврата к сердцу, в свою очередь, ведет к уменьшению ЧСС и МОК в группе юношей-ваготоников. При снижении МОК происходит снижение стимуляции барорецепторов, что ведет к рефлекторному повышению сосудистого тонуса. Данное обстоятельство приводит к повышению общего периферического сопротивления сосудов и ДАД [4]. Таким образом, эффективное движение крови обеспечивается не столько сократительной деятельностью сердца, сколько активностью сосудистого компонента, что способствует минимальной внешней работе сердца с низким энергетическим запросом. Тогда как в группе симпатотоников поддержание уровня артериального давления осуществляется путем высоких показателей МОК, обусловленных наивысшими значениями ЧСС, что свидетельствует о неэкономичном режиме функционирования сердечно-сосудистой системы у юношей этой группы.

В то же время все 8 показателей внешнего дыхания и газообмена (см. табл. 3) имели статистически значимые различия между обследуемыми группами. При этом самые высокие величины дыхательного объема и в соответствии с этим более высокие значения потребления кислорода были зафиксированы у юношей-ваготоников. Важно подчеркнуть, что эти показатели дыхания и газоанализа у представителей всех трех групп значительно превышают нормативы для данной возрастной группы [12].

Анализируя показатели газообмена и внешнего дыхания, мы отметили, что одинаковые уровни МОД у юношей-симпатотоников и ваготоников достигаются различными механизмами. Так, у испытуемых с преобладанием симпатотонической направленности в

регуляции сердечного ритма МОД в большей степени обусловлен высокими показателями частоты дыхания на фоне самых низких значений дыхательного объема. Данное обстоятельство ведет к формированию так называемого поверхностного типа дыхания и, как следствие его, к снижению эффективности дыхания (самые низкие значения KIO_2) и уровня потребления кислорода. Все это на фоне статистически более высоких показателей частоты дыхания у симпатотоников свидетельствует о выраженном напряжении функционирования респираторной системы даже в состоянии оперативного покоя. Напротив, у представителей с исходной нормо- и ваготонией мы можем отметить оптимальные значения основных параметров внешнего дыхания и газообмена, проявляющиеся высокими значениями KIO_2 на фоне более низких показателей ЧД, МОД и энергозатрат.

Подчеркнем, что в группе ваготоников высокий уровень МОД достигается путем увеличения дыхательного объема и формируется функционально более выгодный брадипноидный тип дыхания с глубоким вдохом и выдохом. В ряде работ было показано, что показатели ВСР и центральной гемодинамики зависят от частоты и глубины дыхания. ВСР повышается при уменьшении частоты дыхания и увеличении дыхательного объема [10].

В целом, как мы говорили выше, как у ваготоников, так и у симпатотоников отмечаются достаточно высокие показатели МОД, что влияет на повышение энергозатрат организма и косвенно может указывать на снижение его резервов [7]. При этом, как указывают в своих работах Г. С. Шишкин и С. А. Петрунева [14], высокие показатели МОД только у адаптированных жителей Севера достигаются за счет дыхательного объема, что и наблюдается у наших испытуемых-ваготоников. В работах В. Г. Евдокимова [8] указывается, что повышение легочной вентиляции, которое достигается путем увеличения глубины дыхания и снижения его частоты, создает более благоприятные условия для нормализации газообмена в легких, сбалансированным повышением как эффективности дыхательной деятельности, так и вывода CO_2 , что в наших исследованиях отмечается в группе ваготоников.

При этом у них наблюдается достаточно оптимальное соотношение показателей легочной вентиляции, дыхательного объема и частоты дыхания, что, в свою очередь, приводит к оптимальному уровню потребления кислорода и энергозатрат в состоянии покоя у представителей этой группы. Достаточно редкий и глубокий тип дыхания, характерный группе ваготоников с относительно высоким уровнем углекислоты в выдыхаемом воздухе, может указывать на снижение вентиляторной чувствительности дыхательной системы к уровню CO_2 [9].

Для сравнительной оценки внутрисистемных перестроек взаимосвязей морфофункциональных показателей у лиц с различными исходными типами ВНР нами был проведен многофакторный анализ всех изучаемых показателей. Известно, что количественная

оценка жесткости состояния системы определяется величиной фактора или факторной нагрузкой. Величина факторной нагрузки прямо пропорциональна вкладу фактора в описание системы. Функциональное напряжение системы прямо пропорционально величине факторной нагрузки с повышением доли показателя в структуре фактора. Для описания функционального состояния целостного организма составляется экспертная прогностическая система, объединяющая совокупность нескольких факторов [5]. Известно, что количественную оценку сложной совокупности различных показателей и даже отдельных систем можно провести, рассчитав в процентах удельный вес объединяющего их фактора [5]. В этой связи нами было вычислено для каждой группы обследованных лиц количество факторов, их значимость и удельный вес каждого из показателей, входящих в тот или иной фактор (см. табл. 4).

В ходе проведения факторного анализа у юношей-симпатотоников все количество изучаемых параметров было представлено пятью факторами, которые на 90 % определяют проявление всех изучаемых показателей. При этом из всех 17 показателей, включенных в анализ, 15 вошли в диаграмму, отражающую морфофункциональный профиль юношей-симпатотоников (см. рисунок). У лиц этой группы удельный вес первого наиболее значимого фактора составил 30 %, он объединил в себе показатели энергетического обмена: дыхательный объем, потребление кислорода, минутный объем дыхания и энергозатраты в состоянии покоя, что отражает значимую роль метаболических параметров в обеспечении физиологического гомеостаза на фоне хронического напряжения у симпатотоников регуляторных механизмов кардиогемодинамики. В состав второго фактора, определяющего в 28 % структуру системы, вошли характеристики кардиоритма: ЧСС, МхДМп, SI, HF, LF. В отдельный фактор со значением 13 %, объединялись показатели гемодинамики: ДАД, УО и МОК. В четвертый фактор вошли показатели длины тела и САД. Пятый фактор выделил лишь один показатель — коэффициент использования кислорода с нагрузкой в 8 %, что отражает отсутствие значимых связей этого параметра с остальными исследуемыми характеристиками.

Учитывая значимо более низкие значения этого показателя у юношей-симпатотоников относительно остальных изучаемых групп, можно предположить, что столь выраженное снижение эффективности газообмена и дыхания в целом является предопределяющим фактором в выраженном напряжении функционального состояния у симпатотоников.

Анализируя данные факторного анализа у юношей-нормотоников и ваготоников, мы отметили разветвление факторной структуры функционального состояния с выделением 6 факторов с общей суммарной нагрузкой в 89 и 80 % соответственно. При этом в группе нормотоников состав показателей, входящих в первый фактор, не меняется, но он имеет меньшее

удельное значение — 27 % относительно группы юношей-симпатотоников. Показатель УО выступает в качестве самостоятельного фактора с достаточно высоким удельным значением — 17 %. Показатели ВСР вошли в структуру третьего и четвертого факторов, в то время как в группе ваготоников они занимают второй и третий факторы, но при этом их удельный вклад в общую структуру матрицы оставался примерно одинаковым с симпатотониками, составляя 31 и 28 %. Однако необходимо отметить, что вклад стресс-индекса в группе ваготоников не имел значимой роли и не входил в структуру матрицы, в то время как у симпатотоников и нормотоников его величина находилась в пределах 6–8 %. Это указывает на то, что у лиц с ваготоническим типом ВНР уровень напряжения организма на фоне достаточной широты функциональных резервов не оказывает влияния на другие морфофункциональные показатели. Интересным аспектом многофакторной структуры группы лиц с нормотоническим типом ВНР является выпадение у них из общей матрицы значений артериального давления, показатели которого среди симпатотоников и ваготоников в общей сумме составляли соответственно 10 и 14 %. По всей видимости, для лиц с сбалансированной вагусной и симпатической активностью влияние роли артериального давления на структуру взаимосвязей между изучаемыми показателями практически исчезает, чего не наблюдается среди лиц, где активность одного из звеньев вегетативной регуляции выражено доминирует.

Среди особенностей структуры многофакторной матрицы среди ваготоников необходимо отметить отсутствие вклада такого показателя, как длина тела, роль которого в двух других изучаемых группах находилась на практически одинаковом уровне, составляя 5–6 %. По всей видимости, это указывает на то, что у ваготоников роль такого важного морфометрического показателя, как длина тела, не влияет на внутрисистемные взаимосвязи, отражающие состояние кардиореспираторной системы.

Отметим, что у ваготоников наблюдается снижение общей суммарной нагрузки всех факторов до 80 %, в то время как у симпатотоников она составляла 90 %. Известно, что пластическая адаптивность сложных функциональных систем тем выше, чем меньше корреляционные зависимости между показателями. В этом аспекте можно констатировать, что лица с исходным ваготоническим типом ВНР характеризуются большей пластичностью и адаптивными резервами, особенно относительно симпатотоников. Это находит свое отражение в выраженных различиях структуры морфофункциональных профилей лиц с различной активностью звеньев вегетативной нервной системы (см. рисунок).

Таким образом, анализ параметров variability сердечного ритма в зависимости от исходной активности ВНР выявил, что у представителей трех выделенных групп отмечается определенный уровень напряжения регуляторных механизмов саморегуля-

ции, степень которого у симпатотоников выходит за нормативные границы. Установлено, что тип вегетативной регуляции определяет не только различия в значениях и структуре взаимосвязей показателей ВСР, но и связан у симпатотоников и нормотоников с такой антропометрической характеристикой, как длина тела, однако показатели артериального давления не имеют статистически значимых различий у лиц с различным исходным уровнем ВНР. Показатель ОПС имеет наибольшее значение в группе ваготоников, что в определенной степени может быть связано с уровнем венозного возврата крови к сердцу на фоне меньшей величины МОК. При этом повышение ОПС в определенной степени определяет достаточно высокий уровень поддержания АД, который у юношей Магаданской области, вне зависимости от типа вегетативной регуляции, достигает верхних границ нормы и даже выходит за ее пределы. Установлено, что, несмотря на отсутствие значимых различий в показателях МОД между группами симпатотоников и ваготоников, ее уровень у ваготоников достигается путем увеличения дыхательного объема и снижения частоты дыхательных движений, что, в свою очередь, ведет к повышению уровня потребления кислорода. Тогда как в группе симпатотоников аналогичные значения МОД достигаются в результате повышения показателей ЧД на фоне низких значений ДО. Проведенный многофакторный анализ позволил определить особенности формирования морфофункционального портрета у юношей с различными типами вегетативной нервной регуляции и дать количественную оценку вклада показателей различных систем организма, объединенных значимыми корреляционными связями. На основании структуры морфофункциональных портретов можно оценивать динамику хода адаптивных перестроек среди юношей – уроженцев Севера, где сдвиги структуры матрицы в сторону, характерную для ваготоников, указывают на увеличение адаптационного потенциала изучаемых лиц.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Мишустин Ю. Н., Левкин С. Ф. Постоянное нарушение гомеостаза в виде хронической гипоксемии как болезнетворный фактор. Самара, 2004. 56 с.
2. Андрианов В. В., Василюк Н. А. Вариабельность сердечного ритма при выполнении различных результативных задач // Физиология человека. 2001. № 4. С. 50–55.
3. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний. М. : Медицина, 1997. 236 с.
4. Берн Р. М., Леви М. Н. Физиология сердечно-сосудистой системы. М. : Академия, 2004. 702 с.
5. Боровиков В. П. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов. СПб. : Питер, 2003. 668 с.
6. Бушов Ю. В., Несмелова Н. Н. Зависимость точности оценки и воспроизведения длительности звуковых сигналов от индивидуальных особенностей человека // Вопросы психологии, 1996. № 4. С. 88–93.
7. Гудков А. Б., Сарычев А. С., Лабутин Н. Ю. Реакции

кардиореспираторной системы нефтяников на экспедиционном режиме труда в Заполярье // Экология человека. 2005 № 8. С. 43–48.

8. Евдокимов В. Г. Функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека на Севере : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Сыктывкар, 2004. 34 с.

9. Кривошецов С. Г., Диверг Г. Э., Диверг Д. М. Реакция тренированных к задержке дыхания лиц на прерывистую нормобарическую гипоксию // Физиология человека. 2007. Т. 33, № 3. С. 75–80.

10. Кутерман Э. М., Хаспекова Н. Б. Ритм сердца при пробе 6 дыханий в минуту // Физиология человека. 1992. Т. 18, № 4. С. 52–55.

11. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Сезонные изменения показателей кардиоритма и гемодинамики у постоянных жителей Магаданской области в зависимости от ведущего типа вегетативной регуляции // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2014. № 3. С. 116–121.

12. Попова О. Н. Характеристика адаптивных реакций внешнего дыхания у молодых лиц трудоспособного возраста, жителей Европейского Севера : автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. Москва, 2009. 39 с.

13. Флейшман А. Н. Медленные колебания гемодинамики: теория, практическое применение в клинической медицине и практике. Новосибирск : Наука, 1999. 224 с.

14. Шишкин Г. С., Петрунев С. А. Особенности вентиляции легких при дыхании низкотемпературным воздухом // Физиология человека. 1995. Т. 21, № 2. С. 61.

15. Шлык Н. И., Сапожникова Е. Н., Кириллова Т. Г., Семенов В. Г. Типологические особенности функционального состояния регуляторных систем у школьников и юных спортсменов (по данным анализа вариабельности сердечного ритма) // Физиология человека. 2009. № 6. С. 85–93.

16. Юрьев В. В., Симаходский А. С., Воронович Н. Н. Рост и развитие ребенка. СПб. : Питер, 2003. 272 с.

17. Blaber A. P., Hughson R. L. Cardio-respiratory interaction during fix-paced resistive breathing // J. Appl. Physiol. 1996. Vol. 80, N 5. P. 1618–1626.

18. Murphy C. A., Sloan B. P., Myers M. M. Pharmacologic responses and spectral analyses of spontaneous fluctuations in heart rate and blood pressure in SHR rats // J. Auton. Nerv. Syst. 1991. Vol. 36, N 3. P. 237–250.

19. Rabbia F., Silke B., Conterno A. et al. Assessment of cardiac autonomic modulation during adolescent obesity // Obes Res. 2003. Vol. 11. P. 541–548.

20. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological interpretation, and Clinical Use // Circulation. 1996. N 93. P. 1043–1065.

References

1. Agadzhanian N. A., Mishustin Ju. N., Levkin S. F. *Postoyannoe narushenie gomeostaza v vide khronicheskoi gipokapnii kak boleznetvornyi faktor* [Repeated disorders in homeostasis expressed as a chronic hypocapnic illness]. Samara, 2004, 56 p.
2. Andrianov V. V., Vasiljuk N. A. Heart rate variability at performing different aim effects. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2001, 4, pp. 50-55. [in Russian]
3. Baevskij R. M., Berseneva A. P. *Otsenka adaptatsionnykh vozmozhnostei organizma i risk razvitiya zabolevanii* [Assessment of human adaptabilities and risks for disease development]. Moscow, Medicina Publ., 1997, 236 p.
4. Bern R. M., Lewy M. N. *Fiziologiya serdechno-*

sosudistoi sistemy [Cardiovascular physiology]. Moscow, Akademija Publ., 2004, 702 p.

5. Borovikov V. P. *Statistika. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere: dlya professionalov* [Statistica. The art of analyzing data on a computer: for professionals]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2003, 668 p.

6. Bushov Yu. V., Nesmelova N. N. The dependence of accuracy in assessment and reconstruction of sound signals upon human individual profiles. *Voprosy psikhologii*. [Psychology Issues]. 1996, 4, pp. 88-93. [in Russian]

7. Gudkov A. B., Sarychev A. S., Labutin N. Yu. Reaction of cardiorespiratory system of oil industry workers to expedition work regime in Polar region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2005, 8, pp. 43-48. [in Russian]

8. Evdokimov V. G. *Funktsional'noe sostoyanie serdechno-sosudistoi i dykhatel'noi sistem cheloveka na Severe (avtoref. dokt. dis.)* [Functional state of cardio-vascular and respiratory systems of residents of the North. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Syktyvkar, 2004, 34 p.

9. Krivoshekov S. G., Diverg G. Je., Diverg D. M. Reaction of trained people to the breath-holding on paused normobaric hypoxia. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2007, 33 (3), pp. 75-80. [in Russian]

10. Kuterman Je. M., Haspekova N. B. Heart rhythm while testing "6 breaths per minute". *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 1992, 18 (4), pp. 52-55. [in Russian]

11. Maximov A. L., Averyanova I. V. Season-related changes in heart rate and hemodynamics of Magadan region residents depending on their prevailing type of regulation. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra DVO RAN* [Bulletin of the Northeast Scientific Center FEB RAS]. 2014, 3, pp. 116-121. [in Russian]

12. Popova O. N. *Kharakteristika adaptivnykh reaksii vneshnego dykhaniya u molodykh lits trudosposobnogo vozrasta, zhitelei Evropeiskogo Severa (avtoref. dokt. dis.)* [Characteristics of adaptive reactions of the external respiration in European North young residents of the employable age. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Moscow, 2009, 39 p.

13. Flejshman A. N. *Medlennye kolebaniya gemodinamiki: teoriya, prakticheskoe primenenie v klinicheskoi meditsine i*

praktike [Slow fluctuations of hemodynamics: theory, practical use in clinical medicine and practice]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 224 p.

14. Shishkin G. S., Petrunev S. A. Specific features of lung ventilation while breathing of low-temperature air. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 1995, 21 (2), 61 p. [in Russian]

15. Shlyk N. I., Sapozhnikova E. N., Kirillova T. G., Semenov V. G. Typological profiles of regulation system functionality in schoolchildren and young sportsmen (by data of heart rate variability analysis. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2009, 6, pp. 85-93. [in Russian]

16. Jur'ev V. V., Simahodskij A. S., Voronovich N. N. *Rost i razvitie rebenka* [Growth and development of a child]. Saint Petersburg, Piter Publ., 2003, 272 p.

17. Blaber A. P., Hughson R. L. Cardio-respiratory interaction during fix-paced resistive breathing. *J. Appl. Physiol.* 1996, 80 (5), pp. 1618-1626.

18. Murphy C. A., Sloan B. P., Myers M. M. Pharmacologic responses and spectral analyses of spontaneous fluctuations in heart rate and blood pressure in SHR rats. *J. Auton. Nerv. Syst.* 1991, 36 (3), pp. 237-250.

19. Rabbia F., Silke B., Conterno A. et al. Assessment of cardiac autonomic modulation during adolescent obesity. *Obes Res.* 2003, 11, pp. 541-548.

20. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart Rate Variability. Standards of Measurements, Physiological interpretation, and Clinical Use. *Circulation.* 1996, 93, pp. 1043-1065.

Контактная информация:

Аверьянова Инесса Владиславовна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика»» Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 685000, г. Магадан, ул. Карла Маркса, д. 24

E-mail: Inessa1382@mail.ru