

## Особенности перестроек кардиогемодинамики и вариабельности сердечного ритма у европеоидов – мигрантов и уроженцев Севера первого и второго поколений при активной ортостатической пробе

И.В. Аверьянова<sup>1</sup>, А.Л. Максимов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> НИЦ «Арктика» ДВО РАН  
685000, г. Магадан, пр. Карла Маркса, 24

<sup>2</sup> Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН  
167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 50

### Резюме

Цель исследования состояла в выявлении особенностей перестроек показателей функциональных резервов гемодинамики и вариабельности сердечного ритма при выполнении активной ортостатической пробы (АОП) мигрантами (нулевое поколение) и уроженцами первого и второго поколений, постоянными жителями Магаданской области. **Материал и методы.** Обследовано 106 лиц мужского пола в возрасте от 17 лет до 21 года, постоянно проживающих в условиях Севера. Все юноши были разделены на три группы: приезжие мигранты–европеоиды (нулевое поколение), а также уроженцы области в первом и втором поколениях. Изучены перестройки кардиоритма и гемодинамики в ответ на активную ортостатическую пробу. **Результаты и их обсуждение.** В состоянии покоя у юношей в ряду от нулевого ко второму поколению в регуляции сердечного ритма возрастает степень влияния парасимпатического звена вегетативной системы, что наблюдается на фоне более экономичного режима функционирования сердечно-сосудистой системы. В ответ на ортостатическую пробу у юношей второго поколения отмечалось оптимальное вегетативное обеспечение гемодинамики в ответ на АОП путем снижения активности парасимпатического звена, отражающее торможение вагусной активности с целью умеренной активации симпатического звена вегетативной регуляции. **Заключение.** С увеличением поколения проживания в условиях Севера в состоянии покоя наблюдается оптимизация показателей сердечно-сосудистой системы с уменьшением степени реактивности в ряду от нулевого ко второму поколению в ответ на АОП, что происходит на фоне возрастания степени влияния парасимпатического звена вегетативной нервной системы в состоянии покоя и с большей выраженностью снижения в ответ на ортостаз.

**Ключевые слова:** уроженцы Севера, кардиоритм, сердечно-сосудистая система, ортостатическая проба, юноши, адаптация, Север.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование.** Работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках выполнения темы «Исследование физиологических механизмов перекрестных адаптаций (гипоксия, холод, гиперкапния) и их следовых реакций у человека в целях отбора и прогноза его работоспособности в экстремальных природно-климатических и техногенных условиях окружающей среды».

**Автор для переписки:** Аверьянова И.В., e-mail: Inessa1382@mail.ru

**Для цитирования:** Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Особенности перестроек кардиогемодинамики и вариабельности сердечного ритма у европеоидов – мигрантов и уроженцев Севера первого и второго поколений при активной ортостатической пробе. *Сибирский научный медицинский журнал.* 2021; 41 (3): 45–52. doi: 10.18699/SSMJ20210306

## Cardiohemodynamic and heart rate variability changes observed in the North newcomer Caucasians and people born to them in the 1st – 2nd generations at active orthostatic test exposure

I.V. Averyanova<sup>1</sup>, A.L. Maksimov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Scientific Research Center «Arctica», FEB of RAS  
685000, Magadan, Karl Marks ave., 24

<sup>2</sup> Institute of Physiology of Komi Science Centre of UB of RAS  
167982, Syktyvkar, Pervomayskaya str., 50

## Abstract

**Objective:** to specify changes in functional reserves of hemodynamics and heart rate variability at performing active orthostatic test by migrants (0-th generation) and those born in the North in the 1st and 2nd generation, all residents of Magadan region. **Material and methods:** 106 young males aged 17–21, permanently residing in the North, were examined. All the young men were divided into 3 groups: newcomer Caucasians (0-th generation) and people born to them in the region (in the 1st and 2nd generations). Readjustments in cardiorythm and hemodynamics in response to the active orthostatic test were studied. **Results.** At the resting state, young male examinees demonstrated their parasympathetic influence of the autonomic system on the heart rate regulation to increase from the 0th to the 2nd generation, which is observed together with more economical functioning of the cardiovascular system. In response to the orthostatic test, the 2nd generation subjects showed optimum autonomic support in hemodynamics by reducing the activity of the parasympathetic link which reflected the inhibition of vagal activity in order to moderately activate the sympathetic link of autonomic regulation. **Conclusion.** We could observe optimization in cardiovascular system in each next generation in the North with the decrease in reactivity to active orthostatic test and the growth in the parasympathetic link of autonomic nervous system at rest.

**Key words:** north born people, heart rate, cardiovascular system, orthostatic test, young men, adaptation, North.

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

**Funding.** Budget financing of the «Arctic» Scientific Research Center, FEB RAS within the framework of the research theme entitled «Study of the physiological mechanisms of cross-adaptation (hypoxia, cold, hypercapnia) and their trace reactions in humans for the purpose of selecting and predicting their performance in extreme climatic and technogenic environmental conditions».

**Correspondence author:** Averyanova I.V., e-mail: Inessa1382@mail.ru

**Citation:** Averyanova I.V., Maksimov A.L. Cardiohemodynamic and heart rate variability changes observed in the North newcomer Caucasians and people born to them in the 1st–2nd generations at active orthostatic test exposure. *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2021; 41 (3): 45–52. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20210306

## Введение

Активная ортостатическая проба (АОП), являясь одним из способов воздействия на венозный возврат крови к сердцу, позволяет изучать компенсаторные гемодинамические и вегетативные сдвиги и, тем самым, судить о функциональных резервах и регуляторных перестройках системы кровообращения в целом [1].

В настоящее время на территории Магаданской области сформировались популяции уроженцев 1–2-го поколений укорененных жителей из числа европеоидов, родители которых (мигранты, нулевое поколение) прибыли на Северо-Восток России в 1940–1960-х годах, где у них родились дети (первое поколение), которые, в свою очередь, дали начало следующим поколениям (второе поколение), постоянно там проживающим [2]. В связи с этим сравнительное изучение функциональных перестроек физиологических систем уроженцев Крайнего Севера различных поколений на фоне стандартных тестирующих нагрузок позволяет исследовать долгосрочные механизмы онтогенетических адаптационных процессов при жизнедеятельности человека в экстремальных природно-климатических условиях.

Отметим, что если адаптационные перестройки мигрантов-европеоидов на Севере достаточно хорошо изучены и отражены в монографических

публикациях и даже учебниках [3–5], то относительно уроженцев первого и последующих поколений из числа постоянных жителей Северо-Востока имеются лишь одиночные публикации последних лет [2]. Проводимые в этом направлении исследования позволят определить не только время, необходимое для закрепления положительных адаптационных механизмов, но и степень истощения функциональных резервов при хроническом воздействии негативных факторов окружающей среды на организм человека. При этом помимо исследования ряда фундаментальных аспектов формирования физиологических механизмов, определяющих состояние стабильной адаптации у различных поколений уроженцев Крайнего Севера из числа укорененных европеоидов, представляется возможным решение и ряда прикладных задач, направленных на сохранение функциональных возможностей, состояния здоровья и адекватного медицинского профилактического обеспечения, закрепляемого на этих территориях населения.

В этой связи, учитывая современные тенденции популяционных процессов, характерных для северо-восточных территорий, где идет процесс формирования укорененного европеоидного населения, нами проведено изучение перестроек показателей функциональных резервов гемо-

динамики и регуляции сердечного ритма (ВСР) среди юношей, уроженцев Магаданской области первого и второго поколений, в сравнении с их сверстниками-мигрантами (нулевое поколение) при выполнении АОП.

## Материал и методы

В исследовании приняли участие 106 юношей, из которых 32 человека (представители нулевого поколения (мигранты), 43 (первого поколения) и 31 (второго поколения), при этом все обследуемые имели в покое исходно нормоваготонический тип вегетативной регуляции. Для оценки кардиогемодинамического ответа на функциональную нагрузку использовалась АОП [6]. Во время ее выполнения испытуемый не менее 5 минут лежал на твердой кушетке (фон), затем по команде быстро вставал. Во время фона и ортостаза проводилась запись кардиоритма в течение 5 минут. При анализе показателей ВСР значения R-R-интервалов за первую минуту исключались, так как соответствовали активной фазе переходного процесса, изучение которого не входило в задачу исследований. Показатели артериального давления регистрировались на фоне (лежа) и после выполнения АОП (на первой минуте). Из полученных показателей рассчитывали: общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС) ( $\text{дин} \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$ ) по формуле Пуайзеля; минутный объем кровообращения (МОК, л/мин) [7], ударный объем (УОК, мл, по Старру) [8].

Вариабельность кардиоритма (ВСР) регистрировалась при помощи комплекса «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KAR-Di [9]. Анализ ВСР проводился по общепринятой методике в соответствии с методическими рекомендациями группы Российских экспертов [10]. У испытуемых регистрировались HR (частота сердечных сокращений – ЧСС, уд./мин), MxDMn (разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов, или вариационный размах, мс), SDNN (стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов, мс), RMSSD (квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов, мс), Mo (мода, мс), Aмо (амплитуда моды, мс), SI (стресс-индекс – индекс напряжения регуляторных систем, усл. ед.), TP (суммарная мощность спектра временных значений R-R-интервалов сердечного ритма, которая учитывалась без ультранизкочастотных составляющих и определялась как сумма мощностей спектра высоко-, низко- и очень низкочастотного компонентов ВСР, соответственно LF (диапазон 0,4–0,15 Гц, дыхательные волны), HF (0,15–0,04 Гц, сосудистые волны) и VLF (0,04–0,015 Гц, мс<sup>2</sup>). Помимо этого опреде-

лялись отношение LF/HF, индекс централизации (IC, усл. ед.). Мощность спектра ультранизкочастотных составляющих ритма сердца (ULF) не учитывалась исходя из того, что в случае коротких записей кардиоритма (до 5 мин), что наиболее часто практикуется при изучении ВСР, расчет численных значений ULF является некорректным, согласно методам математического анализа, с использованием Фурье-преобразования [11].

Тип исходного вегетативного тонуса определяли на основании значений математических показателей кардиоритма MxDMn, SI, TP, для которых диапазоны эйтонии учитывали в пределах соответственно 200–300 мс, 70–140 усл. ед. и 1000–2000 мс<sup>2</sup> [12]. Если значения MxDMn и TP были меньше соответственно 200 мс и 1000 мс<sup>2</sup>, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, если больше верхних границ указанных коридоров – как ваготонический. Напротив, при величине SI, превышающей 140 усл. ед. (с учетом двух других показателей), считали, что вегетативный баланс имеет симпатикотоническую направленность, при значении менее 70 усл. ед. – ваготоническую. При этом к конкретной группе обследуемого относили минимум по двум показателям, используемым для типизации.

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол его проведения одобрен комиссией по биоэтике ФГБУН Институт биологических проблем ДВО РАН (№ 001/019 от 29.03.2019). У всех обследуемых получено письменное информированное согласие для включения в исследование.

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 (Me (Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>)), а параметрических – как среднее значение и его ошибка ( $M \pm m$ ). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилкоксона для выборок с распределением, отличающимся от нормального. При множественном сравнении для выборок с нормальным распределением использован параметрический однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Статистическую значимость различий между конкретными группами выявляли с помощью апостериорного анализа с применением теста для множественных сравнений Шеффе. При множественном сравнении выборок с распределением, отличающимся от нормального, использовали ранговый дисперси-

онный анализ Краскела – Уоллиса с дальнейшим применением теста Манна – Уитни с поправкой Бонферрони [13].

### Результаты

В табл. 1 представлены основные показатели сердечно-сосудистой системы в состоянии лежа (фон) и в процессе АОП у юношей нулевого, первого и второго поколений. Из приведенных данных видно, что в состоянии лежа значимых межгрупповых различий значений систолического артериального давления (САД) и МОК не выявлено, при этом более низкие величины диастолического артериального давления (ДАД), ЧСС были характерны для юношей второго поколения, тогда как значимо более высокие показатели ОПСС на фоне значимо низкого УОК были отмечены в группе мигрантов. Как показывают результаты исследования (см. табл. 1), представители нулевого, первого и второго поколений имеют ряд различий по основным характеристикам гемодинамики в состоянии лежа, что проявляется в статистически значимо меньших показателях ДАД, ЧСС и ОПСС в группе юношей второго поколения на фоне значимо более высоких значений УОК относительно мигрантов. Данные межгруп-

повые различия по основным показателям гемодинамики наблюдались при отсутствии различий по величине МОК.

Поддержание МОК на оптимальном уровне у юношей нулевого поколения достигалось за счет сосудистого (ОПСС) и хронотропного (ЧСС) компонента сердечно-сосудистой системы, а у представителей второго поколения – за счет значимо более высоких величин УОК, что является отражением более эффективного, чем у мигрантов, функционирования сердечно-сосудистой системы в процессе длительного проживания в условиях Севера.

В ответ на ортостаз во всех группах юношей наблюдалась значимая положительная динамика показателей ДАД, ЧСС и МОК с одновременным снижением УОК, при этом в группе юношей нулевого поколения данные изменения наблюдались при снижении САД и ОПСС, а в группе представителей второго поколения – с одновременным приростом ОПСС. Необходимо отметить разнонаправленный характер ответных реакций в процессе пробы по показателям МОК и ОПСС у представителей трех групп: так, у лиц нулевого поколения статистически значимо увеличивался МОК с одновременным снижением ОПСС, тогда как у

**Таблица 1.** Показатели сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя и при выполнении АОП у юношей – уроженцев различных поколений постоянных жителей Магаданской области

**Table 1.** Indicators of the cardiovascular system at rest and when performing AOT in young men born in different generations of permanent residents of the Magadan region

| Показатель   | Группа изучения   |                   |                   | Уровень значимости различий между группами |           |           |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|--|-----------|-----------|
|  | 0-е поколение (1) | 1-е поколение (2) | 2-е поколение (3) | $P_{1-2}$                                  | $P_{2-3}$ | $P_{1-3}$ |
| <b>Фон</b>   |                   |                   |                   |  |           |           |
| САД, мм рт. ст.  | 122,1 ± 1,1       | 122,2 ± 0,8       | 122,8 ± 0,7       | 0,93                                       | 0,56      | 0,61      |
| ДАД, мм рт. ст.  | 67,2 ± 0,9        | 62,3 ± 0,7        | 62,4 ± 0,8        | < 0,01                                     | 0,86      | < 0,001   |
| ЧСС, уд./мин   | 66,6 ± 1,0        | 66,1 ± 0,9        | 63,7 ± 0,9        | 0,70                                       | 0,08      | < 0,01    |
| УОК, мл  | 79,1 ± 1,0        | 82,1 ± 0,8        | 83,7 ± 0,8        | < 0,05                                     | 0,12      | < 0,001   |
| МОК, мл/мин  | 5279,8 ± 107,3    | 5420,1 ± 89,2     | 5307,6 ± 80,5     | 0,32                                       | 0,34      | 0,82      |
| ОПСС, $\text{дин}^2 \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$ | 1436,5 ± 22,4     | 1333,6 ± 20,7     | 1357,4 ± 21,3     | < 0,01                                     | 0,18      | < 0,05    |
| <b>АОП</b>   |                   |                   |                   |  |           |           |
| САД, мм рт. ст.  | 119,6 ± 1,2*      | 123,1 ± 1,4       | 122,6 ± 1,1       | < 0,05                                     | 0,81      | < 0,05    |
| ДАД, мм рт. ст.  | 78,3 ± 0,7*       | 76,2 ± 0,7*       | 76,0 ± 0,8*       | < 0,05                                     | 0,84      | < 0,05    |
| ЧСС, уд./мин   | 90,5 ± 2,1*       | 85,5 ± 1,2*       | 80,2 ± 1,6*       | < 0,05                                     | < 0,01    | < 0,01    |
| УОК, мл  | 64,6 ± 0,8*       | 67,7 ± 0,8*       | 68,6 ± 0,9*       | < 0,001                                    | 0,49      | < 0,01    |
| МОК, мл/мин  | 5847,2 ± 150,2*   | 5792,7 ± 90,2*    | 5581,5 ± 98,3*    | 0,75                                       | < 0,05    | 0,08      |
| ОПСС, $\text{дин}^2 \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$ | 1335,5 ± 29,5*    | 1362,8 ± 24,7     | 1447,7 ± 37,7*    | 0,54                                       | < 0,01    | < 0,05    |

*Примечание.* Здесь и в табл. 2 \* – отличие от величины соответствующего фонового значения статистически значимо при  $p < 0,05$ .

**Таблица 2. Показатели ВСП лежа и при выполнении АОП уроженцев различных поколений постоянных жителей Магаданской области**  
**Table 2. Indicators of HRV lying down and performing АОП of natives of different generations of permanent residents of the Magadan region**

| Показатель           | Группа изучения         |                          |                         | Уровень значимости различий между группами |            |            |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--|------------|------------|
|                      | 0-е поколение (1)       | 1-е поколение (2)        | 2-е поколение (3)       | $p_{1-2}$                                  | $p_{2-3}$  | $p_{1-3}$  |
| <b>Фон</b>           |                         |                          |                         |  |            |            |
| MxDMn, мс            | 350,2 (244,3; 395,0)    | 348,9 (256,6; 414,5)     | 363,9 (294,0; 426,0)    | 0,72                                       | 0,62       | 0,68       |
| RMSSD, мс            | 55,3(35,3; 62,0)        | 53,4 (40,0; 64,7)        | 59,7 (50,8; 79,5)       | 0,56                                       | 0,22       | 0,10       |
| SDNN, мс             | 68,9 (44,4; 77,8)       | 62,3 (43,8; 71,9)        | 63,5 (54,2; 80,0)       | 0,36                                       | 0,96       | 0,19       |
| Mo, мс               | 837,4 (763,7; 975,8)    | 917,0 (824,6; 976,4)     | 976,0 (820,9; 1027,5)   | < 0,05                                     | < 0,05     | < 0,05     |
| AMo50, мс            | 31,2 (27,5; 44,4)       | 32,8 (27,6; 44,4)        | 33,3 (24,3; 40,8)       | 0,89                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| SI, усл. ед.         | 52,7 (35,9; 119,6)      | 52,9 (38,0; 94,1)        | 39,1 (29,4; 94,3)       | 0,92                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| TP, мс <sup>2</sup>  | 2576,3 (1567,9; 4116,7) | 2693,6 (1617,9; 4316,0)  | 2986,7 (2003,0; 4750,2) | 0,87                                       | 0,23       | < 0,05     |
| HF, мс <sup>2</sup>  | 943,0 (569,0; 1574,6)   | 1009,7 (532,9; 1857,6)   | 1344,7 (785,1; 2170,0)  | 0,94                                       | 0,19       | < 0,05     |
| LF, мс <sup>2</sup>  | 1037,8 (592,2; 1688,0)  | 1035,6 (654,2; 1574,6)   | 1078,3 (682,7; 1389,1)  | 0,89                                       | 0,78       | 0,85       |
| VLF, мс <sup>2</sup> | 596,3 (354,2; 979,9)    | 506,6 (228,9; 738,9)     | 495,7 (393,1; 773,0)    | < 0,05                                     | 0,85       | < 0,05     |
| LF/HF                | 1,2 (0,7; 1,7)          | 1,0 (0,7; 1,5)           | 0,9 (0,5; 1,6)          | 0,36                                       | 0,56       | < 0,05     |
| IC, усл. ед.         | 1,7 (1,2; 2,9)          | 1,5 (1,1; 2,0)           | 1,3 (0,8; 2,4)          | $p < 0,05$                                 | $p < 0,05$ | $p < 0,05$ |
| <b>АОП</b>           |                         |                          |                         |  |            |            |
| MxDMn, мс            | 245,5 (183,5; 297,6)*   | 269,6 (221,2; 336,0)*    | 268,0 (219,0; 361,4)*   | 0,32                                       | 0,96       | 0,29       |
| RMSSD, мс            | 21,7 (13,9; 36,0)*      | 21,4 (17,3; 33,5)*       | 25,5 (18,7; 37,0)*      | 0,97                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| SDNN, мс             | 47,9 (35,2; 58,7)*      | 47,4 (36,9; 54,9)*       | 51,4 (37,3; 65,5)*      | 0,79                                       | 0,56       | 0,33       |
| Mo, мс               | 640,0 (588,3; 686,5)*   | 639,5 (578,5; 694,8)*    | 676,1 (610,0; 731,0)*   | 0,69                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| AMo50, мс            | 48,1 (39,9; 59,2)*      | 46,3 (40,1; 51,1)*       | 38,8 (31,2; 52,7)*      | 0,72                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| SI, усл. ед.         | 139,7 (97,8; 265,9)*    | 130,2 (98,8; 171,8)*     | 104,1 (71,6; 195,2)*    | 0,78                                       | < 0,05     | < 0,05     |
| TP, мс <sup>2</sup>  | 1562,4 (823,2; 2985,4)* | 1647,3 (1185,7; 2521,2)* | 1984,2 (942,5; 3526,1)* | 0,69                                       | 0,77       | < 0,05     |
| HF, мс <sup>2</sup>  | 191,8 (92,7; 507,8)*    | 239,2 (123,5; 404,1)*    | 288,9 (136,0; 451,5)*   | 0,82                                       | 0,23       | < 0,05     |
| LF, мс <sup>2</sup>  | 955,6 (418,3; 1626,2)   | 1008,0 (587,6; 1524,2)   | 1156,9 (411,9; 2012,8)  | 0,66                                       | 0,63       | < 0,05     |
| VLF, мс <sup>2</sup> | 340,3 (167,4; 487,8)*   | 318,9 (220,2; 633,4)*    | 280,6 (140,6; 612,3)*   | 0,62                                       | 0,56       | 0,23       |
| LF/HF                | 4,9 (3,3; 6,2)*         | 4,7 (2,9; 7,9)*          | 4,2 (2,8; 7,2)*         | 0,75                                       | 0,31       | < 0,05     |
| IC, усл. ед.         | 6,9 (4,9; 9,1)*         | 7,0 (4,3; 8,3)*          | 5,7 (3,7; 8,6)*         | 0,98                                       | < 0,05     | < 0,05     |

юношей второго поколения на фоне возрастания МОК зафиксировано повышение ОПСС, а у представителей первого поколения увеличение МОК наблюдалось с сохранением фоновых величин ОПСС.

Особенности структуры variability сердечного ритма в состоянии покоя и при проведении АОП представлены в табл. 2. Из приведенных данных видно, что для юношей второго поколения в состоянии лежачих характерны статистически значимо более высокие значения TP, которые достигались за счет увеличения HF и Mo, при этом максимальные величины VLF отмечены в группе лиц нулевого поколения. Достоверно меньшие значения индекса централизации, соотношения LF/HF, SI зафиксированы у юношей второго поколения. Однако в процессе АОП активность парасимпатического звена ВНС уменьшается, что проявляется статистически значимым снижением MxDMn, RMSSD, SDNN, Mo. При этом у обследуемых трех групп в ответ на ортостаз зафиксировано уменьшение TP в большей степени за счет уменьшения мощности дыхательных высокочастотных волн (HF) на фоне снижения VLF только в группе представителей нулевого поколения с отсутствием достоверной динамики величины LF. Значимых различий относительно низкочастотной составляющей кардиоритма не отмечено ни в одной группе. Вектор динамики показателей VLF-компоненты спектрального анализа сердечного ритма при АОП во всех группах имел направление в сторону статистически значимого уменьшения.

## Обсуждение

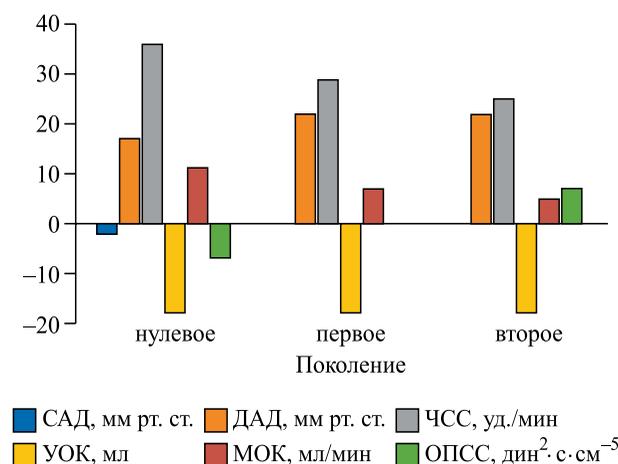
Известно, что у практически здоровых лиц молодого возраста перемещение тела в положение стоя не приводит к существенным изменениям артериального давления, при этом измерение ЧСС и артериального давления обычно регистрирует незначительное повышение САД и, как

правило, увеличение ДАД, приводящее к снижению пульсового давления и УОК на 5–10 % [6], что было отмечено нами во всех анализируемых группах.

Подчеркнем, что у всех обследованных юношей в ответ на АОП ЧСС относительно фона (положение лежа) в среднем возрастала на 25–36 % с уменьшением степени реактивности в ряду нулевого ко второму поколению, что является отражением симпатической активации и непосредственно направлено на поддержание оптимального уровня МОК, величина которого в ответ на пробу возрастала в каждой обследуемой группе. Отметим, что у юношей нулевого поколения выявлены некоторые особенности реагирования системы кровообращения на ортостаз, проявляющиеся незначительным уменьшением САД. Это, по-видимому, определяло значимое падение УОК как в состоянии покоя, так и на пике пробы при одновременном снижении вазоконстрикторной функции (уменьшение ОПСС) [14], что, однако, компенсируется выраженной симпатической реакцией, проявляющейся увеличением на 36 % ЧСС в ответ на выполнение пробы.

Анализ изменений показателей гемодинамики в процессе АОП относительно фона, принятого за нулевой уровень, показал, что в группе мигрантов отмечается наибольший прирост ЧСС при снижении ОПСС, при том что у юношей второго поколения увеличение ЧСС было значимо меньше, но при большей величине ОПСС, отражая энергетически более выгодный для организма процесс поддержания кровообращения при переходе в вертикальное положение (рисунок).

Показатели ВСР в состоянии покоя свидетельствуют о том, что в ряду от нулевого ко второму поколению в регуляции кардиоритма формируется преобладание активации парасимпатического звена вегетативной нервной системы. Отметим, что в ответ на АОП у лиц всех групп уменьшается активность парасимпатической составляющей



**Рис.** Степень ответных реакций сердечно-сосудистой системы в ответ на АОП у юношей различных поколений. Приведены показатели, имеющие значимые отличия от фоновых величин

**Fig.** The degree of response of the cardiovascular system to AOT in young men of different generations. Indicators that significantly differ from background are shown

вегетативной регуляции при кратковременном возрастании роли симпатического звена, активность которого была выше среди мигрантов и лиц первого поколения, на что указывали статистически более высокие, чем у юношей второго поколения, значения АМо50, SI и IC при меньших величинах Мо, RMSSD и HF. При этом значения HF- и VLF-составляющих спектра кардиоритма в группе уроженцев второго поколения практически совпадают при статистически более высоком значении показателя LF, отражающего эффективность вклада сосудодвигательного центра в обеспечение поддержания адекватного уровня МОК в процессе активного ортостаза, что в определенной мере препятствует возникновению нарушений кровотока головного мозга и развитию синкопе. При этом известно, что помимо характеристик системного кровотока в механизме успешного выполнения АОП значительную роль играет состояние эластичности сосудистого русла, влияющего на поддержание адекватного уровня артериального давления за счет реципрокных взаимосвязей в системе регуляции гемодинамики [15, 16].

### Заключение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в состоянии покоя у юношей в ряду от нулевого ко второму поколению в регуляции сердечного ритма возрастает степень влияния парасимпатического звена вегетативной системы, что наблюдается на фоне более экономичного режима функционирования сердечно-сосудистой системы, отражающегося в снижении ДАД, ЧСС, ОПСС и увеличении УОК. При этом поддержание МОК у юношей второго поколения обеспечивается за счет значимо более высоких величин УОК, тогда как в группе лиц нулевого поколения данная величина поддерживается включением сосудистого (ОПСС) и хронотропного (ЧСС) компонентов сердечно-сосудистой системы, что является отражением неэффективного функционирования сердечно-сосудистой системы в условиях Севера. В ответ на ортостатическую пробу у юношей второго поколения отмечалось оптимальное вегетативное обеспечение гемодинамики в ответ на АОП путем снижения активности парасимпатического звена в регуляции кардиоритма и краткосрочном повышении на этом фоне вклада симпатической составляющей вегетативной нервной системы. Более выраженное снижение парасимпатической активности во время ортостатической нагрузки у юношей второго поколения, исходя из основных положений теории «акцентированного антагонизма» [17], направлено на обеспечение адекватного уровня симпатической активации,

обеспечивающей поддержание оптимального уровня кровообращения при меньшем напряжении резервов сердечно-сосудистой системы и ее более экономном функционировании.

### Список литературы /References

1. Carlson J.E. Assessment of orthostatic blood pressure. *South. Med. J.* 1999; 92 (2): 167–173. doi: 10.1097/00007611-199902000-00002
2. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Состояние липидного и углеводного обмена у студентов-аборигенов и европеоидов с различными сроками проживания на территории Магаданской области. *Экол. человека.* 2015; (9): 44–49. doi: 10.33396/1728-0869-2015-9-44-49
3. Aver'yanova I.V., Maksimov A.L. Lipid and carbohydrate metabolism observed in aboriginal and european students having different terms of residing in territory of Magadan region. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology.* 2015; (9): 44–49. [In Russian]. doi: 10.33396/1728-0869-2015-9-44-49
4. Казначеев В.П., Казначеев С.В. Адаптация и конституция человека. Новосибирск: Наука, 1986. 118 с.
5. Kaznacheev V.P., Kaznacheev S.V. Human adaptation and constitution. Novosibirsk: Nauka, 1986. 118 p. [In Russian].
6. Хаснулин В.И. Введение в полярную медицину. Новосибирск: СО РАМН, 1998. 320 с.
7. Khasnulin V.I. Introduction to polar medicine. Novosibirsk: SO RAMN, 1998. 320 p. [In Russian].
8. Солонин Ю.Г. Исследования по широтной физиологии (обзор). *Ж. мед.-биол. иссл.* 2019; 7 (2): 228–239. doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.228
9. Solonin Yu.G. Studies on latitude physiology (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research.* 2019; 7 (2): 228–239. [In Russian]. doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.228
10. Smith J.J., Porth C.M., Erickson M. Hemodynamic response to the upright posture. *J. Clin. Pharmacol.* 1994; 34 (5): 375–386. doi: 10.1002/j.1552-4604.1994.tb04977.x
11. Юрьев В.В., Симаходский А.С., Воронович Н.Н., Хомич М.М. Рост и развитие ребенка. СПб.: Питер, 2007. 272 с.
12. Yur'ev V.V., Simakhodskiy A.S., Voronovich N.N., Khomich M.M. Growth and developments of a child. Saint-Petersburg: Piter, 2007. 272 p. [In Russian].
13. Starr I. Clinical tests of the simple method of estimating cardiac stroke volume from blood pressure and age. *Circulation.* 1954; 9: 664–681. doi: 10.1161/01.cir.9.5.664
14. Комплекс для анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард». Рязань: ЮИМН, 2005. 45 с.

Complex for the analysis of heart rate variability «Varikard». Ryazan: YuIMN, 2005. 45 p. [In Russian].

10. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации). *Вестн. аритмол.* 2001; (24): 65–83.

Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ja., Kukushkin Ju.A., Mironova T.F., Prilutskiy D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleishman A.N., Medvedev M.M. Heart rate variability analysis at using different electrocardiographic systems (methodical recommendations). *Vestnik aritmologii = Journal of Arrhythmology.* 2001; (24): 65–83. [In Russian].

11. Витязев В.В. Анализ неравномерных временных рядов. СПб.: СПбГУ, 2001. 48 с.

Vityazev V.V. Analysis of non-uniform time series. Saint-Petersburg: SPbGU, 2001. 48 p. [In Russian].

12. Аверьянова И.В., Максимов А.Л. Сравнительная информативность оценки типов вегетативной регуляции по индексу Кердо и variability кардиоритма у юношей Магаданской области. *Валеология.* 2014; (3): 5–10. doi: 10.17238/issn2308-3174.2015.4.66

Averyanova I.V., Maksimov A.L. Comparative informational assessment of types of vegetative regulation according to Kerdo index and heart rate

variability observed in adolescents of Magadan region. *Valeologiya = Valeology.* 2014; (3): 5–10. [In Russian]. doi: 10.17238/issn2308-3174.2015.4.66

13. Боровиков В.П. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов* (2-е изд.). СПб.: Питер, 2003. 688 с.

Borovikov V.P. *Statistica. The art of analyzing data on a computer: for professionals.* Saint-Petersburg: Piter, 2003, 688 p. [In Russian].

14. Van Wijnen V.K., Hov D.T., Finucane C., Wieling W., van Roon A.M., Ter Maaten J.C., Harms M.P.M. Hemodynamic mechanisms underlying initial orthostatic hypotension, delayed recovery and orthostatic hypotension. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* 2018; 19 (9): 786–792. doi: 10.1016/j.jamda.2018.05.031

15. Kohara K., Tabara Y., Yamamoto Y., Miki T. Orthostatic hypertension: another orthostatic disorder to be aware of. *J. Am. Geriatr. Soc.* 2000; 48: 1538–1546. doi: 10.1111/jgs.2000.48.11.1538

16. Дороговцев В.Н., Гречко А.В. Значение ортостатических изменений кровообращения в развитии сосудистых нарушений. *Клин. мед.* 2017; 95 (11): 977–986.

Dorogovtsev V.N., Grechko A.V. The role of orthostatic circulatory changes in the development of vascular disorders *Klinicheskaya meditsina = Clinical Medicine.* 2017; 95 (11): 977–986. [In Russian]. doi: 10.18821/0023-2149-2017-95-11-977-986

17. Levy M.N. Neural control of cardiac function. *Baillieres Clin. Neurol.* 1997; 6: 227–244. doi: 10.1007/978-1-4613-3855-0\_4

#### Сведения об авторах:

**Инесса Владиславовна Аверьянова**, к.б.н., ORCID: 0000-0002-4511-6782, e-mail: Inessa1382@mail.ru

**Аркадий Леонидович Максимов**, чл.-корр. РАН, ORCID: 0000-0003-1089-4266, e-mail: arktika@online.magadan.su

#### Information about the authors:

**Inessa V. Averyanova**, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0002-4511-6782, e-mail: Inessa1382@mail.ru

**Arkady L. Maksimov**, corresponding member of RAS, ORCID: 0000-0003-1089-4266, e-mail: arktika@online.magadan.su

*Поступила в редакцию 10.02.2021*

*После доработки 01.04.2021*

*Принята к публикации 17.04.2021*

*Received 10.02.2021*

*Revision received 01.04.2021*

*Accepted 17.04.2021*