

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК (612.216.2+612.15)616-057.875]612.273.2

СОСТОЯНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ У СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ УСТОЙЧИВОСТИ К ГИПОКСИИ

И.С.Чуб, А.В.Милькова, Н.С.Елисеева

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В.Ломоносова, Институт естественных наук и биомедицины, 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17

РЕЗЮМЕ

Исследованы показатели кардиореспираторной системы у студентов с различным уровнем устойчивости к транзиторной гипоксии-гиперкапнии. Выявлены различия в параметрах внешнего дыхания, вегетативного обеспечения сердечного ритма и центральной гемодинамики у молодых людей в зависимости от результатов пробы Штанге. Установлено, что студенты с низкой устойчивостью к гипоксии обладают сниженными параметрами лёгочной вентиляции и спектральных характеристик сердечного ритма. Изучена вариабельность гемодинамических характеристик в различных фазах произвольного порогового апноэ. В результате проведённого исследования установлено, что более половины студентов в возрасте от 18 до 23 лет обладают высоким уровнем устойчивости к транзиторной гипоксии-гиперкапнии. Отмечены более низкие значения адаптивных резервов у молодых людей с низким уровнем толерантности к гипоксии. У 51% обследованных студентов наблюдаются неудовлетворительные адаптационные резервы, 3% контингента демонстрируют срыв адаптации. В ходе исследования установлены компенсаторные перестановки в системе лёгочной вентиляции у лиц с низким пороговым апноэ. Впервые изучена фазовая динамика параметров центральной гемодинамики у лиц с различным уровнем устойчивости к транзиторной гипоксии в условиях Европейского Севера России. Разрозненность и дезорганизованность факторной структуры взаимодействий исследуемых параметров у лиц с низким уровнем устойчивости к гипоксии отражает несовершенство механизмов регуляции, неспособных обеспечивать должный уровень устойчивости. У студентов с высоким пороговым апноэ ведущим компонентом является состояние модулирующей системы, звеньев гемодинамики и системы лёгочной вентиляции.

Ключевые слова: студенты, гипоксия, гиперкапния, проба Штанге, лёгочная вентиляция, спирометрия, ва-

риабельность сердечного ритма, центральная гемодинамика, реография.

SUMMARY

THE CONDITION OF CARDIORESPIRATORY SYSTEM IN STUDENTS WITH DIFFERENT DEGREE OF RESISTANCE TO HYPOXIA

I.S.Chub, A.V.Mil'kova, N.S.Eliseeva

Northern (Arctic) Federal University, Institute of Natural Science and Biomedicine, 17 Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

The parameters of cardiorespiratory system of students with different levels of resistance to transient hypoxia-hypercapnia were studied. Differences in the lung function indices, heart rate variability and central hemodynamic in young people depending on the results of Shtange's respiratory test were identified. It was found out that students with low resistance to hypoxia had reduced ventilation indices and heart rate spectral characteristics. The variability of hemodynamic characteristics in different phases of arbitrary apnea was studied. The study found that more than a half of students aged 18 to 23 years old have a high level of resistance to transient hypoxia-hypercapnia. Lower values of adaptive reserves in young people with low tolerance to hypoxia were found. 51% of the examined students had unsatisfactory adaptation reserves, 3% demonstrated the failure of adaptation. The study established the compensatory changes in the pulmonary ventilation in patients with a low threshold of apnea. Phase dynamics of central hemodynamics parameters in patients with various degrees of resistance to transient hypoxia in the European North of Russia was studied first time. Inconsistency and disorganization of factor structure of correlations of the studied quantities in people with the low level of resistance to hypoxia reflects the imperfection of regulation mechanisms which cannot provide the necessary level of tolerance. In students with the high threshold apnea the state of modulating system,

hemodynamics elements and the systems of pulmonary ventilation play the most important role.

Key words: students, hypoxia, hypercapnia, Shtange's test, spirometry, heart rate variability, central hemodynamic, rheography.

В настоящее время особую актуальность приобретают исследования, связанные с определением адаптивных возможностей организма человека, его толерантности к различным факторам среды, особенно в специфических эколого-климатических условиях Европейского Севера России. Воздействие комплекса климатических, геофизических и космических факторов, по мнению А.Я.Чижова и соавт. [13] может приводить к развитию стрессорной реакции, которая сопровождается гипоксией. Особую роль в адаптивных механизмах функциональной перестройки в таких условиях играет кардиореспираторная система. Показатели кровообращения служат надёжными маркерами успешности адаптации организма, так как являются в наибольшей степени лабильными. Гипоксические состояния могут наступать периодически как в состоянии покоя, так и при нагрузках различного рода, что оказывает постоянное воздействие на компенсаторные механизмы адаптации. По данным И.В.Сухановой [14], толерантность бульбарного центра продолговатого мозга к гипоксическому воздействию возрастает в процессе адаптации к холоду. Устойчивость к гипоксии-гиперкапнии реализуется посредством многоуровневой системы, включающей хеморецепторные механизмы, функциональное состояние дыхательного центра, регуляторные влияния со стороны высших корковых центров регуляции дыхания и др. [11]. По данным А.В.Ненасеиной и соавт. [11], умеренная гипоксия стимулирует хеморецепторы каротидных зон и повышает симпатико-адреналовые воздействия на сердце, что отражает модулирующее влияние вегетативной нервной системы на механизмы адаптации к гипоксии-гиперкапнии.

Индивидуальная оценка устойчивости к произвольному пороговому апноэ позволяет судить о потенциале резервных возможностей данных механизмов. Проба Штанге является одной из функциональных дыхательных проб, для которой, в отличие от других, почти нет ограничений для испытуемых по состоянию здоровья, и для которой имеется возможность четкой градации по «пороговости» [4]. Известно, что при проведении пробы Штанге можно выделить две фазы толерантности к гипоксии-гиперкапнии: первая – до начала сокращений дыхательных мышц диафрагмы (определяет чувствительность бульбарного центра к гуморальным факторам); вторая – до возобновления дыхания («волевой» компонент торможения респираторной активности). В отечественной научной литературе имеется большое число исследований, посвящённых изучению состояния кардиореспираторной системы [5, 9] и вегетативной нервной системы [3, 6] в процессе адаптации к гипоксии-гиперкапнии. Показано, что различия толерантности к транзиторной гипоксии определяются параметрами внешнего дыхания, состоянием

кислородтранспортной системы, метаболической спецификой кислотно-основного гомеостаза. Достаточно подробно изучены механизмы функционирования системы внешнего дыхания и газообмена при различных видах гипоксических состояний [7, 8]. Согласно результатам исследования Н.А.Агаджаняна и А.Я.Чижова [1], последовательная сочетанная гипоксия-гиперкапния вызывает продолжительное и выраженное увеличение минутного объёма дыхания. Однако в имеющейся литературе встречаются единичные исследования взаимосвязи центральной гемодинамики и параметров вегетативного обеспечения хронотропной функции сердца при различной продолжительности и соотношении фаз в развитии гипоксического состояния [12]. Актуальность данных исследований связана с необходимостью повышения успешности освоения учебных программ студентами посредством минимизации негативного влияния факторов окружающей среды, в частности, развивающейся в ходе длительного умственного и психоэмоционального напряжения гипоксии. Исследования А.А.Боченкова и соавт. [2] показывают, что результаты пробы Штанге могут являться прогностическим критерием обучения студентов в учебных заведениях.

Целью работы явилась оценка состояния кардиореспираторной и вегетативной нервной систем при различном уровне устойчивости к нормобарической гипоксии-гиперкапнии.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось в 2013 году на выборке 40 студентов мужского пола в возрасте от 17 до 22 лет, обучающихся в САФУ им. М.В.Ломоносова (г. Архангельск). Средний возраст испытуемых составил $19,24 \pm 1,48$ года. С целью дифференцировки участников исследования на группы по устойчивости к транзиторной гипоксии-гиперкапнии проводили пробу Штанге, контроль выполнения осуществлялся пальпаторно по сокращению диафрагмы. По итогам проведения пробы с произвольным пороговым апноэ (ППА) были сформированы 3 группы устойчивости к гипоксии: 1 группа – с низким уровнем ППА (менее 45 с), 2 группа – со средним ППА (45-59 с), 3 группа – с высоким ППА (60 с и более). Система внешнего дыхания является одной из «контактных» систем, состояние которой в значительной мере определяется внешними факторами [7]. Регистрация параметров внешнего дыхания осуществлялась на компьютерном комплексе для функциональной диагностики Валента (Нео, Санкт-Петербург) в положении стоя при соблюдении установленных правил регистрации. Определялись показатели: жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ), дыхательный объём (ДО), минутный объём дыхания (МОД) и частота дыхания (ЧД). Применение пробы с форсированным выдохом (ФЖЕЛ) позволяет судить о механических свойствах дыхательных путей, анализу подвергались объёмы форсированного выдоха за первую секунду ($ОФВ_1$), средняя объёмная скорость выдоха от 25% и 75% ФЖЕЛ ($СОС_{25-75\%}$) и пиковая объёмная скорость (ПОС). Выбор системы должных

величин осуществлялся на основании рекомендаций Европейского общества стали и угля (EGKS). Информативным критерием процесса адаптации выступают показатели вариабельности ритма сердца. Регистрировали кардиоинтервалограммы на аппаратно-программном комплексе ВНС-спектр (Нейрософт, Иваново) по международным стандартам метода с продолжительностью записи 5 минут в положении лёжа, при условии регистрации не менее 150 QRS-комплексов и менее 5% артефактов. Адаптационные возможности системы регуляции хронотропной функции сердца определялись в активной ортостатической пробе (2 минуты, переход из горизонтального в вертикальное положение). Анализировались значения временных (RRNN, SDNN, pNN50 и т.д.) и спектральных (TP, VLF, LF, HF – в абсолютных и нормализованных единицах) характеристик ритмограммы. На основании реакции сердечного ритма на активную ортостатическую пробу (АОП) и характера мощности спектра были оценены адаптационные резервы, отражающие степень активации симпат-адреналовой системы. Регистрировали параметры центральной гемодинамики методом интегральной реографии тела по М.И.Тищенко (тетраполярная схема) с помощью аппаратно-программного комплекса функциональной диагностики Валента (Нео, Санкт-Петербург). Величина базового импеданса была в пределах 170-400 мОм. Расстановка реперных точек осуществлялась по зубцам дифференциальной реограммы. Исследуемые параметры регистрировались в горизонтальном положении тела испытуемого, в фоне и различных фазах пробы Штанге: 1 фаза – 25% общего времени ППА, 2 фаза – 50% ППА, 3 фаза – 90% ППА. Регистрировали количественные характеристики реограмм: реографический индекс с целью оценки пульсового кровенаполнения, амплитудно-частотный показатель (АЧП) – величина объёмного кровотока в единицу времени, скорость быстрого (СБН) и медленного наполнения сосудов (СМН). Также анализу подвергались параметры центральной гемодинамики: ударный объём (УО, по М.И.Тищенко), ударный индекс (УИ) и коэффициент резерва (МОК/МОК_{доп}). Статистическая обработка полученных данных выполнялась с помощью ППП SPSS 14.0 for Windows, Neurostat (Neurosoft). Проводилась проверка на нормальность распределения (тест Колмогорова-Смирнова), анализ различий с помощью непараметрических критериев Манна-Уитни, Уилкоксона. Осуществлялся факторный анализ параметров с ротацией варимакс. Применение непараметрических методов статистической обработки позволяет включать в анализ малочисленные выборки (менее 10 человек), при достаточно высоком уровне достоверности.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ распределения студентов по группам устойчивости к гипоксии (УГ) демонстрирует следующие результаты: 1 группу составили 5 человек (16,1%), 2 группу – 6 человек (19,4%), 3 группу – 20 человек (64,5%). Среднее время ППА в 1 группе – $33,40 \pm 7,09$ с, во 2 группе – $45,33 \pm 2,34$ с, в 3 группе – $70,81 \pm 16,36$

с. Процесс реализации адаптивных механизмов компенсации гипоксических эффектов обязательно регулируется при участии нейрогуморальной системы. Сердечный ритм является индикатором данных механизмов, в связи с чем исследование его изменчивости во времени имеет важное прогностическое значение при оценке адаптации организма к изменяющимся условиям среды. Согласно исследованиям С.В.Нестерова и соавт. [12], исход гипоксического воздействия на организм определяется эффективностью деятельности вегетативной нервной системы. Информативным критерием, характеризующим исходный вегетативный тонус, является индекс напряжения (ИН). В процессе развития стрессовой ситуации происходит усиление централизации ритма с переходом на энергодефицитный уровень, что отражается на росте ИН. Представленность групп с различным исходным вегетативным тонусом в исследуемой выборке студентов следующая: нормотония – 20%, симпатикотония – 30%, ваготония – 50%. АОП является информативным методом оценки устойчивости звеньев вегетативной регуляции. Результаты АОП демонстрируют, что среди обследованных нами студентов удовлетворительные адаптивные резервы отмечаются у 45%, неудовлетворительные – у 51% и срыв адаптации – у 3% выборки.

Отмечаются более низкие адаптивные возможности у молодых людей с низким ППА (Me=-3,5 усл. ед.), по сравнению со средним и высоким уровнем ППА (-1,0 и 0 усл. ед., соответственно). Индивиды с низким ППА характеризуются более низкими значениями временных характеристик ритмограммы в покое, что отражает преобладание симпатических влияний вегетативной нервной системы. Общая мощность спектрального ритма (TP) в 1 группе на 50% ниже, чем во 2 и 3 группах. В целом спектр сердечного ритма у молодых людей с низким уровнем ППА характеризуется сниженным вкладом всех частотных компонентов. Степень централизации сердечного ритма, т.е. преобладание надсегментарных влияний на модуляцию спектра, уменьшается от 1 к 3 группе.

Прирост частоты сердечных сокращений в ортостазе по отношению к фону в 1 группе составил 24,0%, во 2 группе – 22,75%, в 3 группе – 22,66%. Влияние АОП сказывается, прежде всего, на сокращении среднего межинтервального расстояния (RRNN), что связано с неспецифической активацией симпат-адреналовой системы. Уменьшение RRNN в ортостазе, по отношению к фону, заметнее у представителей 1 группы – на 22,27%, минимальное установлено у обследованных 2 группы – на 19,0%. Изменение положения тела в пространстве отражается на показателях спектральной мощности, но происходит неодинаково в группах: значительно повышается в 1 группе (прирост TP – 61,52%), снижается во 2 группе (46,38%) и незначительно повышается в 3 группе (19,56%). Изменения спектральных мощностей волн разного порядка схоже происходит у студентов 1 и 3 групп, однако выраженность данных реакций больше проявляется в 1 группе. Значительное увеличение общей модуляции спектра (TP) по отношению к фону у студентов с низ-

ким ППА происходит за счёт прироста VLF-составляющей (с $233,61 \text{ мс}^2$ в фоне до $1976,64 \text{ мс}^2$ в ортостазе). Также происходит усиление активации симпатической нервной системы (прирост LF в 2 раза к фону). При этом резко уменьшается модуляция со стороны парасимпатической нервной системы, что демонстрирует сокращение числа быстрых волн на 67,68%. Во 2 группе происходит снижение спектров мощности по всем составляющим, что является типичной реакцией на ортостаз.

Среднегрупповые результаты нашего исследования без учёта групп по УГ сравнивали с результатами исследования юношей г. Красноярск (по данным Е.А.Мальцевой [10]). Среднее значение ДО у юношей-северян оказывается выше на 18,35%, МОД на 17,66%, ЧД на 20,63%, ЖЕЛ на 28,51%, по сравнению с их сверстниками из Сибири. Величина ФЖЕЛ в нашей выборке – $4,15 \pm 0,73 \text{ л}$, что составляет 89,6% ЖЕЛ (в пределах физиологической нормы) и выше на 7%, чем у их сверстников из средней полосы. Параметр ОФВ₁ является критерием наличия обструктивных нарушений дыхательных путей, у студентов-северян равен $3,71 \pm 0,51 \text{ л}$, что составляет 82% от условной нормы. Снижение таких показателей спирометрии как ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ОФВ₁ и увеличение индекса Генслара (ОФВ₁/ФЖЕЛ) в совокупности позволяет предположить наличие рестриктивных нарушений дыхательных путей у обследованных нами студентов, что согласуется с исследованиями Н.С.Копытовой, А.Б.Гудкова [7]. О максимальной скорости, достигаемой в момент форсированного выдоха, можно судить по показателю ПОС, его величина у студентов-северян на 35,24% выше, чем у жителей г. Красноярск. При этом время поддержания ПОС у северян составляет $0,16 \pm 0,07 \text{ с}$, у их сверстников – $0,65 \pm 0,05 \text{ с}$. Это согласуется с данными исследований А.Б.Гудкова о функциональном напряжении системы внешнего дыхания у северян. Такие физические факторы среды, как низкая температура и высокая относительная влажность воздуха приводят к напряжению вентиляционной функции лёгких и развитию дезадаптационных механизмов.

Анализ статистических результатов параметров внешнего дыхания позволил объединить студентов с удовлетворительной и хорошей УГ в одну группу (табл. 1). Таким образом, оценивали результаты в группе 1 (низкая УГ) и группе 2 (удовлетворительная УГ). В исследуемой выборке доминируют студенты со средним и высоким уровнем УГ (55,3%), группа студентов с низким временем ППА составляет 44,7%. Учитывая, что результаты исследования функции внешнего дыхания опосредованы антропометрическими параметрами, у обследуемых определялись длина и масса тела. Достоверных различий в показателях длины (рост) и массы тела между группами по УГ обнаружено не было: длина тела (рост) у студентов в 1 группе $172,78 \pm 1,31 \text{ см}$, во 2 группе – $175,78 \pm 0,97 \text{ см}$ ($p=0,081$), масса тела $71,11 \pm 4,72$ и $71,67 \pm 2,54 \text{ кг}$, соответственно, в 1 и 2 группах ($p=0,898$). Медиана ЖЕЛ вдоха в 1 группе меньше, чем во второй, и составляет $4,20 \text{ л}$, во 2 группе – $4,75 \text{ л}$ ($p=0,014$). Значимых разли-

чий в значениях ДО и РО в этих группах не установлено (табл. 1). Полученные различия ЖЕЛ и ФЖЕЛ, величины которых согласно международным рекомендациям, не должны различаться на 100-150 мл, могут быть объяснены малым объёмом выборок, также у некоторых испытуемых наблюдались трудности в завершении манёвра форсированного выдоха (укорочение выдоха) [13]. Объём ФЖЕЛ в 1 группе на 15% ниже, чем во 2 группе (3,70 и 4,35 л, соответственно, $p=0,001$). Медиана индекса Генслара достоверно выше в 1 группе (98,30%), чем во 2 группе (90,80%). Параметры ПОС, ОФВ₁, МОС₂₅ и МОС₅₀ в исследуемых группах не различаются. У студентов со средней и высокой УГ максимальная объёмная скорость на отрезке 75% форсированного выдоха больше, чем у студентов с низкой УГ (3,37 и 2,90 л/с, соответственно). При этом время форсированного выдоха (ТФВ) у обследованных во 2 группе удлинено и составляет 2,50 с, в 1 группе – 1,61 с. Средняя объёмная скорость воздушного потока, характеризующая состояние проходимости в бронхах крупного и среднего калибра, у студентов 1 группы компенсаторно увеличена ($Me=3,04 \text{ л/с}$), по сравнению со 2 группой ($Me=2,37 \text{ л/с}$).

Известно, что существует тесная взаимосвязь типов гемодинамики с направленностью изменений показателей кровообращения в функциональных пробах с произвольным пороговым апноэ [15]. Анализ распределения исследуемой выборки по типам гемодинамики на основе градации по величине сердечного индекса (СИ) показывает, что у 83% студентов доминирует гиперкинетический тип, у 11% – эукинетический тип, и гипокинетический тип представлен единично. Считается, что гиперкинетический тип характеризуется повышенными требованиями к энергетическим ресурсам организма, за счёт активации симпатико-адреналовой системы. Преобладание данного типа в выборке, по всей вероятности, связано с компенсаторными перестройками гемодинамики на Севере. Об этом же свидетельствует превышение компенсаторных возможностей по коэффициенту резервов – $131,39 \pm 37,22\%$ (при норме $100 \pm 10\%$).

Результаты исследования параметров центральной гемодинамики в процессе транзиторной гипоксии-гиперкапнии демонстрируют значимые изменения в первой фазе ППА, по сравнению с исходным состоянием. Гемодинамические сдвиги характеризовались достоверным снижением АЧП (с $2,58 \pm 0,65$ до $2,37 \pm 0,77 \text{ л/с}$, $p=0,002$), повышением общего периферического сопротивления сосудов (ОПС) (с $938,00 \pm 317,15$ до $1053,13 \pm 325,78 \text{ дин.} \times \text{см} \times \text{см}^{-5}$, $p=0,01$), снижением тонуса сосудов распределения (прирост СБН к исходному уровню 10%, $p=0,017$). При этом происходит снижение объёмных характеристик кровотока: снижение УО на 13,14% ($p=0,002$), МОК на 12,8% ($p=0,001$). Таким образом, первая фаза ППА характеризуется физиологическими реакциями: снижением объёмной скорости кровотока при понижении тонуса артериол и сохранении тонуса сосудов сопротивления. Во второй фазе ППА, при достижении 50% общего времени пробы Штанге, происходит дальнейшее снижение АЧП

(до $2,25 \pm 0,77$ л/с, $p=0,004$), тонус сосудов сопротивления и распределения остаётся неизменным. Объёмная скорость кровотока по УО не изменяется, МОК продолжает снижаться ($8,43 \pm 2,06$ л в фоне, $7,40 \pm 2,33$ л в 1 фазе и $6,87 \pm 2,10$ л во 2 фазе ППА, $p=0,001$). Состояние

магистральных сосудов характеризуется повышением системного артериального тонуса от 1 к 3 фазе ППА (табл. 2). В целом же данная реактивность может считаться неадаптивной, что может быть связано с доминированием гиперреактивного типа кровообращения.

Таблица 1

Параметры лёгочной вентиляции у студентов с низким и средним уровнем устойчивости к гипоксии-гиперкапнии (Ме, 25-50-75%)

Показатели	1 группа (низкая УГ)		2 группа (средняя УГ)		$P_{(1-2)}$ <i>Mann-Whitney</i>
	абс.	% к долж.	абс.	% к долж.	
ЖЕЛ, л	4,20 (3,77-4,51)	82,0 (78,50-88,50)	4,75 (4,50-5,31)	84,0 (79,25-96,0)	0,002
ДО, л	1,05 (0,76-1,20)	133,75 (124,38-168,13)	1,06 (0,90-1,40)	128,75 (107,50-161,25)	0,692
ФЖЕЛ _{выд} , л	3,70 (3,14-4,13)	74,0 (64,0-80,50)	4,35 (3,80-4,78)	83,50 (74,75-89,0)	0,002
ПОС, л/с	8,23 (7,42-8,61)	82,0 (77,0-91,0)	8,85 (7,58-9,31)	79,0 (73,5-90,25)	0,066
ОФВ ₁ , л	3,65 (3,11-3,95)	82,0 (73,50-91,50)	3,73 (3,46-4,20)	83,50 (77,50-91,50)	0,089
СОС ₇₅₋₈₅ , л/с	3,04 (2,42-4,06)	-	2,37 (1,75-3,52)	-	0,045
ТФВ, с	1,61 (1,16-2,19)	-	2,50 (1,47-2,72)	-	0,040
Индекс Генслара, %	98,30 (92,15-100,00)	117,0 (110,50-119,50)	90,80 (83,35-95,56)	102,0 (93,25-113,0)	0,003

Таблица 2

Параметры центральной гемодинамики у студентов в различные фазы ППА (Ме, 25-50-75%)

Параметры	Покой (фон)	1 фаза	2 фаза	3 фаза
АЧП, 1/с	2,42 (2,31-3,04)	2,21*** (1,90-2,68)	1,75** (2,18-2,50)	2,25 (1,92-2,63)
СБН, Ом/с	1,13 (1,05-1,42)	1,23 (1,08-1,53)	1,14** (1,00-1,51)	1,21 (0,99-1,37)
СМН, Ом/с	0,92 (0,82-1,11)	0,92 (0,80-1,15)	0,94 (0,93-1,11)	0,94 (0,81-1,14)
ОПС, дин. $\times$ с $\times$ см ⁻⁵	835,00 (787,75-1004,25)	993,00** (887,25-1196,75)	1055,00** (867,50-1306,25)	1036,00 (847,75-1192,00)
СИ, усл. ед.	4,34 (3,87-5,22)	3,78** (3,09-4,24)	3,41 (2,95-4,25)	3,83 (3,32-4,59)
УО, мл	117,47 (100,70-139,36)	96,60*** (82,76-113,02)	95,03* (77,72-118,10)	102,80 (92,36-133,21)

Примечание: * – обозначены достоверные изменения параметров по сравнению с предыдущей фазой ППА при $p \leq 0,05$, ** – то же при $p \leq 0,01$, *** – то же при $p \leq 0,001$ (Wilcoxon).

В ходе анализа экспериментальных данных были получены различия в характеристиках центральной гемодинамики у молодых людей с различной устойчивостью к транзиторной гипоксии-гиперкапнии. Анализировали гемодинамические параметры в трёх группах УГ: 1 группа – низкая, 2 группа – средняя, 3 группа – высокая. Для оценки достоверности различий

использовался однофакторный дисперсионный анализ (*One Way Anova*). В состоянии покоя АЧП в 1 группе был выше, чем в остальных группах ($3,01 \pm 0,75$ 1/с, минимальный у студентов во 2 группе – $2,24 \pm 0,51$ 1/с, в 3 группе – $2,54 \pm 0,37$ 1/с, различия достоверны между 1 и 2 группами, $p=0,027$). В группе с низкой устойчивостью к ППА наблюдался повышенный тонус сосудов

сопротивления, и пониженный – сосудов распределения (СБН и СМН составляли, соответственно, $1,55 \pm 0,52$ и $1,08 \pm 0,23$ Ом/с, во 2 группе – $1,02 \pm 0,20$ и $0,79 \pm 0,13$ Ом/с, в 3 группе – $1,16 \pm 0,13$ и $0,97 \pm 0,11$ Ом/с, различия достоверны между 1 и 2 группой: по СБН – $p=0,008$, СМН – $p=0,004$). Различия в эластико-тонических свойствах магистральных и периферических сосудов получены не были. Также не обнаружены различия в величине СИ по группам с различной УГ: значения в 1 группе – $5,00 \pm 1,22$ усл. ед., во 2 группе – $4,13 \pm 0,99$ усл. ед. и в 3 группе – $4,65 \pm 1,14$ усл. ед. ($p=0,230$, Anova). Результаты корреляционного анализа демонстрируют отсутствие взаимосвязи типов кровообращения (СИ) и степени УГ: $r=-0,17$, $p=0,41$. Таким образом, установлено, что различия в параметрах центральной гемодинамики в фоне наблюдаются между 1 и 2 группами.

Фазовая динамика (ППА) показателей центральной гемодинамики в рассматриваемых группах различна. Достоверные изменения у молодых людей с низкой устойчивостью к гипоксии наблюдаются при переходе от 1 ко 2 фазе ППА. Это выражается в снижении величины АЧП на 5% к предыдущей фазе ($с\ 2,98 \pm 0,89$ до $2,82 \pm 0,87$ 1/с, $p=0,038$), а также снижении УО на 7,85% ($с\ 115,02 \pm 36,63$ до $105,99 \pm 30,09$ мл, $p=0,021$). Тонические свойства сосудов разного калибра достоверно не различались. Во 2 группе значимые изменения гемодинамики наблюдаются в 1 фазе ППА в сравнении с фоном, в последующих фазах колебания незначительные. Данные изменения характеризуются снижением АЧП с $2,24 \pm 0,51$ до $1,96 \pm 0,41$ 1/с ($p=0,004$), снижением УО с $101,74 \pm 24,71$ до $83,23 \pm 16,26$ мл ($p=0,008$), снижением СИ с $4,13 \pm 1,0$ до $3,32 \pm 0,70$ усл. ед. ($p=0,004$) и повышением ОПС с $966,27 \pm 385,75$ до $1156,36 \pm 306,01$ дин. $\times$ с $\times$ см-5 ($p=0,008$). В 3 группе происходит снижение АЧП ($2,54 \pm 0,37$ в фоне до $2,07 \pm 0,43$ 1/с, $p=0,046$ во 2 фазе) и объёмных характеристик кровотока во всех фазах (снижение УО с $127,77 \pm 17,42$ до $105,23 \pm 26,10$ мл, $p=0,046$). Причём уменьшение объёмных характеристик происходит более выражено в 3 группе, без изменения тонических свойств сосудов. Вероятно, такие изменения связаны с перераспределением кровотока в пользу усиления мозговой гемодинамики в гипоксическом состоянии.

Анализ компонентной структуры взаимодействий вегетативных, гемодинамических показателей и параметров внешнего дыхания позволил установить компоненты, которые являются определяющими в процессе реализации толерантности к гипоксическим воздействиям. Вероятно, что складывающаяся структура компонентных взаимодействий у студентов с низким уровнем ППА неадаптивна и не обеспечивает эффективных компенсаторных перестроек. Результаты факторного анализа доказывают, что с целью обеспечения компенсации при гипоксических воздействиях включается система функциональных и нейрогуморальных регуляторных звеньев. Однако компонентный состав системы взаимодействий специфичен для лиц с различной УГ.

1. Низкий уровень устойчивости к транзиторной

гипоксии-гиперкапнии. Выделено 2 главных фактора, составляющих 100% выборки, что отражает большое число звеньев, а, следовательно, дезорганизованность функциональной системы. Данный механизм неспособен обеспечивать должный уровень адаптации к возмущающим факторам среды. В данном случае имеет смысл иерархия показателей в пределах данных факторов. Генеральный фактор (58,10% дисперсии), доминирующую роль занимают параметры компенсаторных возможностей системы внешнего дыхания ($МОС_{75}$, $СОС_{25-75}$), а также показатели парасимпатической активности (SDNN и NN50%), общая мощность спектра (наименьшая по сравнению со студентами с удовлетворительной и хорошей УГ) в АОП. Гемодинамические характеристики представлены СБН, отражающей кровотоков в артериальной сети среднего калибра.

2. Средний уровень устойчивости к транзиторной гипоксии-гиперкапнии. Выделено 2 главных фактора, чётко дифференцируемых, составляющих 65,5% дисперсии выборки. Генеральный фактор (36,01% дисперсии) – «вегетативный», включает в себя временные и спектральные характеристики сердечного ритма в АОП, преимущественно указывающие на парасимпатический контур регуляции (SDNN, Aмо и др.). Также включает параметры лёгочной вентиляции в пробе с форсированным выдохом: ПОС, время достижения ПОС.

3. Высокий уровень устойчивости к гипоксии. Выделено 2 главных фактора, составляющих 68,7% дисперсии. Генеральный фактор (47,41% дисперсии) включает параметры вегетативного обеспечения сердечного ритма в АОП, а также параметры лёгочной вентиляции: ЧД, объём вдоха, МОД, $СОС_{25-75}$, $МОС_{50}$ и др.

Выводы

1. В результате проведённого исследования установлено, что более половины обследованных нами студентов обладают высоким уровнем ППА.

2. Студенты с низким уровнем устойчивости к транзиторной гипоксии-гиперкапнии характеризуются сниженными показателями ЖЕЛ и ФЖЕЛ. Это создаёт дополнительное напряжение на систему внешнего дыхания в холодных климатических условиях.

3. Вегетативное обеспечение сердечного ритма у студентов с низкой УГ характеризуется пониженным вкладом всех частотных характеристик в структуру спектра сердечного ритма. Ортостатическая реактивность сопровождается усилением модуляции спектра, особенно в диапазонах LF- и VLF-волн.

4. У большинства исследованных нами молодых людей доминирует гиперреактивный тип гемодинамики. Изменение гемодинамики в процессе ППА характеризуются повышенным тонусом магистральных и периферических сосудов. Установлена неоднородность центральной гемодинамики в фазах ППА у студентов с различным уровнем устойчивости к гипоксии-гиперкапнии. Изменение кровотока у лиц с низкой УГ обеспечивается за счёт центральных механизмов (УО), у студентов со средней устойчивостью

как за счёт центральных, так и периферических сосудистых механизмов. Студенты с высокой УГ характеризовались изменениями гемодинамики во всех фазах ППА.

5. Разрозненность и дезорганизованности факторной структуры взаимодействий у лиц с низким уровнем УГ отражает несовершенство механизмов регуляции, неспособных обеспечивать должный уровень УГ. У студентов с высоким ППА ведущим компонентом является состояние модулирующей системы, звеньев гемодинамики и системы лёгочной вентиляции.

Исследование поддержано внутренним конкурсом С(А)ФУ им. М.В.Ломоносова №2.1.4 «Выполнение научно-исследовательских работ студентами и молодыми учёными по приоритетным направлениям развития университета» (2013 г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян Н.А., Чижов А.Я. Гипоксические, гипоксические и гиперкапнические состояния: учебное пособие. М.: Медицина, 2003. 96 с.
2. Боченков А.А., Милютин С.Г. Динамика адаптации к учебной деятельности у учащихся медицинского колледжа // Фундаментальные исследования. 2010. Т.11. С.583–589.
3. Емущинцев П.А. Эффективность использования гипоксии гиперкапнии в восстановительной коррекции функциональных резервов у водолазов и спортсменов: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2011. 16 с.
4. Заболотских И.Б., Илюхина В.А. Физиологические основы различий стрессорной устойчивости здорового и больного человека. Краснодар, 1995. 100 с.
5. Заболотских Н.В. Изменения периферической и системной гемодинамики в ответ на транзиторную гиперкапнию и гипоксию у здоровых людей // Усп. соврем. естествознания. 2005. №2. С.77–78.
6. Ишеков А.Н., Мосягин И.Г. Динамика показателей кардиореспираторной системы у студентов при адаптации к нормобарической гипоксической гипоксии на Европейском Севере России // Экология человека. 2009. №1. С.38–42.
7. Копытова Н.С., Гудков А.Б. Сезонные изменения функционального состояния системы внешнего дыхания у жителей Европейского Севера России // Экология человека. 2007. №10. С.41–43.
8. Кривощёков С.Г., Диверт Г.М., Диверт В.Э. Индивидуальные особенности внешнего дыхания при прерывистой нормобарической гипоксии // Физиология человека. 2006. Т.32, №3. С.62–69.
9. Малкин В.Б., Гиппенрейтер Е.Б. Острая и хроническая гипоксия // Проблемы космической биологии. М.: Наука, 1977. Т.35. 315 с.
10. Мальцева Е.А., Михайлова Л.А. Параметры внешнего дыхания у студентов // Сиб. мед. обозрение. 2008. Т.49, №1. С.63–66.
11. Устойчивость к гипоксии и вестибулярная устойчивость воспитанников и воспитанниц 6-14 лет социально-реабилитационного центра / А.В.Ненашева [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Серия: Образование, здра-

воохр., физ. культура. 2007. №2(74). С.120–124.

12. Нестеров С.В., Нестеров В.П., Бурдыгин А.И. Влияние частоты дыхания на вариабельность сердечного ритма // Доклады академии наук. 2005. Т.400, №5. С.708–710.

13. Пат. 2266142 РФ. Способ повышения неспецифической резистентности организма при вахтовом методе работы в условиях Крайнего Севера / А.Я.Чижов, В.С.Бойчук, А.Н.Фомин, Я.И.Керцман, О.П.Андреев, В.С.Круглова, А.В.Путилин; опубл. 20.12.2005.

14. Суханова И.В. Морфофункциональная характеристика физического развития студентов северного международного университета // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2006. №2. С.173–179.

15. Сравнительная характеристика гемодинамических реакций у юношей с разными типами регуляции кровообращения / И.О.Халыкина [и др.] // Кубанский науч. мед. вестник. 2011. №3. С.182–185.

REFERENCES

1. Agadzhanian N.A., Chizhov A.Ya. *Gipoksicheskie, gipokapnicheskie i giperkapnicheskie sostoyaniya: uchebnoe posobie* [Hypoxia, hypocapnia, hypercapnia states: the manual]. Moscow: Meditsina; 2003.
2. Bochenkov A.A., Milyutin S.G. *Fundamental'nye issledovaniya* 2010; 11:583–589.
3. Emushintsev P.A. *Effektivnost' ispol'zovaniya gipoksii giperkapnii v vosstanovitel'noy korrektsii funktsional'nykh rezervov u vodolazov i sportsmenov: avtoreferat dissertatsii kandidata meditsinskikh nauk* [Efficiency of hypoxia hypercapnia application in the rehabilitation correction of functional reserves in divers and sportsmen: abstract of thesis...candidate of medical sciences]. Moscow; 2011.
4. Zabolotskikh I.B., Il'yukhina V.A. *Fiziologicheskie osnovy razlichiy stressornoy ustoychivosti zdorovogo i bol'nogo cheloveka* [Physiological grounds in differences of stress resistance of healthy and sick people]. Krasnodar; 1995.
5. Zabolotskikh N.V. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* 2005; 2:77–78.
6. Ishekov A.N., Mosyagin I.G. *Ekologiya cheloveka* 2009; 1:38–42.
7. Kopytova N.S., Gudkov A.B. *Ekologiya cheloveka* 2007; 10:41–43.
8. Krivoshchekov S.G., Divert G.M., Divert V.E. *Human Physiology* 2006; 32(3):301–307.
9. Malkin V.B., Gippenreyter E.B. *Ostraya i khronicheskaya gipoksiya. V knige: Problemy kosmicheskoy biologii* [Acute and chronic hypoxia. In: The problems of space biology. Vol.35]. Moscow: Nauka; 1977.
10. Maltseva E.A., Mihajlova L.A. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* 2008; 49(1):63–66.
11. Nenasheva A.V., Aminov A.S., Pozina N.V., Chaychenko D.V., Lyapkalo V.I. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdavoohhranenie, fizicheskaya kul'tura* 2007; 2:120–124.
12. Nesterov S.V., Nesterov V.P., Burdygin A.I. *Doklady Biological Sciences* 2005; 400(1-6):25–27.
13. Chizhov A.Ya., Boychuk V.S., Fomin A.N., Kerts-

man Ya.I., Andreev O.P., Kruglova V.S., Putilin A.V. *Patent 2266142 RF. Sposob povysheniya nespetsificheskoy rezistentnosti organizma pri vakhtovom metode raboty v usloviyakh Kraynego Severa* (Patent 2266142 RU. The method of nonspecific body resistance improvement at special-shift work in the Far North); published 20.12. 2005.

14. Sukhanova I.V. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* 2006; 2:173–179.

15. Khalyavkina I.O., Gnezdilova O.V., Ponomareva E.N., Khananashvili Y.A. *Kubanskiy nauchnyy meditsinskiy vestnik* 2011; 3:182–185.

Поступила 25.04.2014

Контактная информация

Игорь Сергеевич Чуб,

ассистент кафедры физиологии и морфологии человека Института естественных наук и биомедицины,
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В.Ломоносова,
163002, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, 17.

E-mail: igor-chub@yandex.ru

Correspondence should be addressed to

Igor' S. Chub,

Assistant of Department of Human Physiology and Morphology of
Institute of Natural Science and Biomedicine,
Northern (Arctic) Federal University,

17 Severnaya Dvina Emb., Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

E-mail: igor-chub@yandex.ru