

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Митрофанова
Алла Владиславовна

**РОЛЬ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ РЕАКЦИЙ В
КИСЛОРОДОСБЕРЕГАЮЩЕМ ЭФФЕКТЕ ПРИ ИМИТАЦИИ НЫРЯНИЯ У
ЧЕЛОВЕКА**

03.03.01 – Физиология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург
2011

Работа выполнена на кафедре Общей физиологии Санкт-Петербургского государственного университета.

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент
Татьяна Ивановна Баранова

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ
Юрий Евгеньевич Москаленко
институт эволюционной физиологии и
биохимии им. И.М. Сеченова РАН

доктор биологических наук
Кислякова Лариса Павловна
институт аналитического приборостроения
РАН

Ведущее учреждение: Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН

Защита состоится «___» _____ 2011 г. в ___ часов на заседании
Совета Д212.232.10 по защите докторских и кандидатских диссертаций при
Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034,
Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, ауд. 90.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке им. А.М. Горького Санкт-Петербургского государственного университета

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь Диссертационного совета
доктор биологических наук, профессор

Н.П. Алексеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Известно, что нарушение кислородного гомеостаза может вести к патологическим состояниям, к нарушению работы сердечно-сосудистой, нервной и других систем организма. Изучение природно-детерминированных закрепленных в процессе эволюции механизмов защиты организма от гипоксии и разработка на их основе способов повышения резистентности к ее воздействию является важной проблемой современной адаптационной физиологии и медицины. Как показали исследования [Галанцев, 1988; Ноздрачев и др. 2000; Галанцев, 2001] весьма удобной моделью изучения защитных механизмов от гипоксии являются ныряющие млекопитающие. Универсальным приспособлением к нырянию у этих животных является нырятельный рефлекс, который сопровождается рефлекторным апноэ, развитием брадикардии, констрикцией периферических сосудов и селективным перераспределением кровотока к органам наиболее уязвимым к недостатку кислорода – мозгу и сердцу [Ноздрачев и др. 2000; Бреслав, Ноздрачев, 2005; Elsner, Gooden, 1983; Ramirez et al., 2007]. Показано, что и человеку присущ комплекс адаптивных сердечно-сосудистых реакций, аналогичных реакциям ныряющих животных [Баранова, 2008; Баранова и др., 2010; Gooden, 1994; Goksör et al., 2002; Andersson et al., 2004; Andersson et al., 2008]. Выраженность этих реакций у человека зависит от особенностей центральной и вегетативной регуляции, психофизиологического статуса. В связи с этим сотрудниками лаборатории системных адаптаций кафедры общей физиологии СПбГУ [Баранова и др. 2005] описано четыре типа реализации нырятельной реакции (НР) у человека, обусловленные различной реактивностью парасимпатического звена регуляции хронотропной функции сердца: высокореактивный, реактивный, ареактивный и парадоксальный.

Гипоксия, развивающаяся при нырянии, является результатом полного прекращения поступления в организм кислорода. В этих условиях, согласно гипотезе Л. Ирвинга, выдвинутой им еще в 1934 г [Irving, 1934], продлить апноэ может лишь «консервация кислорода», то есть перевод организма на более экономное его потребление. Однако для человека эта гипотеза до сих пор не подтверждена. Не достаточно изучены у человека и особенности кровообращения при реализации нырятельной реакции, что обуславливает актуальность данного исследования.

В качестве рабочей гипотезы выдвигается предположение, что при нырянии (или его имитации) организм человека переходит на более

экономный, кислородосберегающий путь энергообеспечения. Это достигается активацией комплекса защитных реакций сердечно-сосудистой системы. При этом эффект кислородосбережения у людей с различными типами реализации нырательной реакции будет отличаться.

Цель работы заключается в изучении защитных сердечно-сосудистых реакций, реализующихся в ответ на комплекс факторов, сопровождающих ныряние, и их вклада в кислородосберегающий эффект нырательной реакции у людей, отличающихся характером вегетативной регуляции хронотропной функции сердца.

Были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить потребление кислорода по данным пульсоксиметрии и газоанализа выдыхаемого воздуха у обследованных с различными типами реализации нырательной реакции в исходном состоянии и при имитации ныряния.

2. Исследовать скорость кровотока по данным интегральной реографии у представителей различных типов реализации нырательной реакции в исходном состоянии и при имитации ныряния.

3. Изучить периферический кровоток по данным реовазографии и фотоплетизмографии в исходном состоянии и при имитации ныряния.

4. Установить особенности мозгового кровообращения по данным реоэнцефалографии в исходном состоянии и при имитации ныряния.

5. Оценить кровоток в аорте и легочной артерии в исходном состоянии и при имитации ныряния по данным реограммы.

Научная новизна работы. Показано, что реализация НР у человека сопровождается кислородосберегающим эффектом. Впервые дана его количественная оценка. Выявлено, что кислородосберегающий эффект у обследованных с различными типами НР отличается и достигается за счет комплекса сердечно-сосудистых реакций. Впервые показано, что на потребление кислорода у обследованных высокореактивного типа существенное влияние оказывает психоэмоциональное состояние. Отмечено, что представители различных типов НР исходно отличаются напряжением функционирования кардиореспираторной системы, типом гемодинамики и совершенством кислородосберегающих сердечно-сосудистых реакций, сопровождающих ныряние. Показано, что у человека при реализации нырательной реакции не нарушается согласованность работы большого и малого кругов кровообращения. У человека, независимо от

типа реализации НР и адаптированности к нырянию, холодо-гипоксигиперкапническое воздействие (ХГВ) сопровождается улучшением гемодинамики мозга.

Положения, выносимые на защиту:

1. Реализация нырательной реакции у человека сопровождается кислородосберегающим эффектом.

2. Эффект сбережения кислорода при имитации ныряния обеспечивается комплексом сердечно-сосудистых реакций.

3. Кислородосберегающий эффект у обследованных, отличающихся типом реализации нырательной реакции, выражен в разной степени. Представители различных типов исходно отличаются напряжением функционирования кардиореспираторной системы, типом гемодинамики и совершенством кислородосберегающих сердечно-сосудистых реакций.

4. У обследованных высокореактивного типа потребление кислорода зависит от психоэмоционального состояния.

5. Имитация ныряния у человека способом холодо-гипоксигиперкапнического воздействия сопровождается улучшением мозгового кровотока.

Теоретическое и практическое значение работы. Проведенное исследование расширяет теоретические знания об адаптационных механизмах на примере адаптации к комплексу факторов, сопровождающих ныряние: холоду, острой гипоксии и гиперкапнии. Показано, что представители, принадлежащие к различным типам реализации НР, исходно отличаются психоэмоциональным состоянием, резистентностью организма к неблагоприятным факторам, уровнем энергетического метаболизма, типами кровообращения, особенностями регионарного кровообращения, что расширяет представления в области адаптационной, экспериментально-клинической и экологической физиологии. Исследование особенностей развития рефлекторной брадикардии во время реализации НР дает возможность использовать ХГВ в качестве пробы на определение реактивности парасимпатического звена регуляции хронотропной функции сердца. Изучение особенностей мозгового кровотока в процессе реализации НР дает возможность использования способа ХГВ в качестве средства улучшения мозгового кровотока. Результаты исследований дают возможность, в том числе, более эффективно использовать технологию ХГВ, разработанную в лаборатории системных адаптаций кафедры общей физиологии СПбГУ, как способ оздоровления организма человека.

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на: Научно-практической конференции «Актуальные вопросы клинической и экспериментальной медицины» (СПб, 2008), VI Сибирском физиологическом съезде (Барнаул, 2008), XIII Международном конгрессе по реабилитации в медицине и иммунореабилитации (Москва, 2008), Всероссийской научно-практической конференции «Физиология адаптации» (Волгоград, 2008), Международной конференции «Физиология и патология иммунной системы» (Москва, 2008), II Съезде физиологов СНГ (Кишинев, 2008), VII Съезде аллергологов и иммунологов СНГ (СПб, 2009; Italy, Medimond, 2009), IV Всероссийском симпозиуме «Проблемы адаптации человека к экологическим и социальным условиям Севера» (Сыктывкар, 2009), XV Международном конгрессе по реабилитации в медицине и иммунореабилитации (Дубай, ОАЭ, 2010), Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых (Гродно, Беларусь, 2010), XXI Съезде физиологического общества им И.П. Павлова (Калуга, 2010), Всероссийской конференции «Физиологические механизмы адаптации человека» (Тюмень, 2010), Всероссийской конференции с международным участием «Механизмы регуляции физиологических систем организма в процессе адаптации к условиям среды» (СПб, 2010).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 23 работы: 9 статей, 3 из которых в журналах, рекомендованных ВАК; 14 тезисов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, главы описания методических приемов, 2-х глав экспериментальной работы, в каждой из которых дается литературная справка, результаты исследования и их обсуждение, заключения, выводов, списка литературы. Работа изложена на 159 страницах машинописного текста, иллюстрирована 14 рисунками и содержит 18 таблиц. Библиографический указатель включает 216 наименований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено на практически здоровых людях обоего пола в возрасте 20-25 лет (всего 74 человека), у которых не было выявлено никаких соматических заболеваний. Все обследованные были проинформированы о цели и методах проведения исследования и дали свое добровольное согласие на участие. Активация НР осуществлялась посредством имитации ныряния способом ХГВ, разработанного в лаборатории системных адаптаций

кафедры общей физиологии. Суть ХГВ заключалась в погружении на свободном выдохе лица в воду определенной температуры (температура воздуха составила $23,5 \pm 2,7^{\circ}\text{C}$, температура воды – $12,8 \pm 2,6^{\circ}\text{C}$). Осуществлялось 3 погружения с интервалом в 2-3 мин. Имитация ныряния проводилась в положении «сидя» или в положении «лёжа лицом вниз».

Достижение поставленной цели предполагало изучение системно-динамических перестроек сердечно-сосудистой системы (ЧСС, АД, общего, периферического и мозгового кровотока, кровотока в аорте и легочной артерии) и дыхательной системы, энергетического метаболизма методом газового анализа, особенностей вегетативной регуляции хронотропной функции сердца, психоэмоционального состояния обследованных.

Для оценки состояния сердечно-сосудистой системы использовались такие методы, как: электрокардиография (регистрировалась во II стандартном отведении с использованием комплекса «Cardio 99», СПб), измерение артериального давления (регистрировали с помощью автоматического измерителя UA-767, AND, Япония), реография (запись и анализ реограмм проводились с использованием реографа-полианализатора РГПА-6/12 «РЕАН-ПОЛИ», Таганрог). Потребление кислорода определялось методами пульсоксиметрии (WinOxy, ООО «Мицар», СПб) и газоанализа выдыхаемого воздуха (процентное содержание кислорода измеряли кислородным датчиком KE-25 «Figaro», Япония; парциальное давление кислорода – с помощью микропроцессорного анализатора pO₂-MF01 ООО «ЦЭЗ», СПб; для определения парциального давления углекислого газа в выдыхаемом воздухе использовался прибор «ЭргоВЕНТ», ООО «ЦЭЗ», СПб).

Определение типа нырательной реакции обследованных, которая имитировалась способом ХГВ, осуществлялось по таким критериям, как время апноэ (T , с), латентное время развития брадикардии (с), скорость нарастания брадикардии (у.е.), выраженность брадикардии (у.е.), время восстановления (с) [Баранова и др., 2005]. На основании показателя устойчивости к ХГВ (баллы) определяли индивидуальный уровень толерантности обследованного к комплексу факторов, сопровождающих ХГВ.

Психоэмоциональное состояние обследованных определялось по тесту Люшера и опроснику Русалова.

В качестве контрольной пробы относительно ХГВ, имитирующего ныряние, использовалась проба Генче («сухая» задержка дыхания на выдохе).

Для реализации поставленных задач было проведено четыре серии исследований.

В первой серии изучалась центральная (n=64) и периферическая (n=26) гемодинамика в исходном состоянии, при пробе Генче и при ХГВ. Центральная гемодинамика изучалась методом интегральной реографии по М.И. Тищенко (1973) по показателям ударного объема крови (УОК, мл), минутного объема кровообращения (МОК, л/мин), общего периферического сопротивления сосудов (ОПСС, $\text{дин}\cdot\text{см}\cdot\text{с}^{-5}$). Периферический кровоток в конечностях (плече) определялся по показателям реовазограммы (РВГ) – реографическому индексу (РИ, Ом), показателю периферического сопротивления сосудов (ППСС, %), максимальной скорости быстрого кровенаполнения (МСБКН, Ом/с), диастолическому индексу (ДСИ, Ом). Кровоток в дистальной фаланге пальца определялся методом фотоплетизмографии (ФПГ) и косвенно оценивался по показателю амплитуды систолической волны (АСВ, рт). По показателю сердечного индекса (СИ, л/мин/м²) определялся тип гемодинамики (ГД) обследованных (методика Н.И. Аринчина, 1978). Вычислялась частота встречаемости (р, отн.ед.) того или иного типа ГД среди обследованных.

Во второй серии исследований по данным реографии оценивался кровоток в аорте и легочной артерии (n=27). Использовались показатели РИ, ППСС, МСБКН, ДСИ, индекс венозного оттока (ИВО, %).

В третьей серии исследований по данным реоэнцефалографии (методика РЭГ-4-ФМ, Ом) изучался кровоток в головном мозге (n=26). Использовались показатели РИ, ППСС, ДСИ, модуль упругости (МУ, %), показатель эластичности сосудов (ЛЭС, %), дикротический индекс (ДКИ, %), коэффициент асимметрии (КА, %) вычислялся по всем показателям РЭГ.

В четвертой серии оценивался уровень потребления кислорода в исходном состоянии, при пробе Генче и при ХГВ. Определялось парциальное давление кислорода ($p\text{O}_2$, n=28) и углекислого газа ($p\text{CO}_2$, n=12) в порции выдыхаемого воздуха, рассчитывалась скорость падения $p\text{O}_2$ ($Vp\text{O}_2$, мм рт. ст./мин) и скорость прироста $p\text{CO}_2$ в легких ($Vp\text{CO}_2$, мм рт. ст./мин) во время пробы Генче и ХГВ [Баранова и др., 2010]. В исходном состоянии, после пробы Генче, после ХГВ и в процессе восстановления определялось потребление кислорода (ПК, мл), кислородный запрос (КЗ, мл), кислородный долг (КД, мл). По этим показателям определялась величина экономии потребления кислорода (ЭПК, мл) при пробе Генче и при ХГВ. Для оценки индивидуальных особенностей системы дыхания и исходного энергетического метаболизма определялись показатели внешнего дыхания: частоту дыхания

(вдох/мин), дыхательный объем (мл), жизненную емкость легких (мл), резервный объем выдоха (мл), минутный объем дыхания (МОД, мл/мин), рассчитывали коэффициент использования кислорода (мл/л) и индекс Скибинского (у.е.). На протяжении всего исследования, регистрировалась сатурация крови (SaO_2 , %).

Экспериментальные данные обрабатывались с использованием пакетов программ MS Excel 2003, Statistica 6.0, KyPlot v2.0 beta13. Значимость различий для несвязанных переменных и связанных между собой парных рядов оценивалась по непараметрическим критериям Манна-Уитни и Вилкоксона, соответственно. Статистическая значимость встречаемости определенного типа ГД определялась с использованием других критериев значимости. Для выявления зависимости между исследуемыми параметрами использовали корреляционный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании защитные сердечно-сосудистые реакции активировались способом ХГВ, который представляет собой комплекс одномоментно, синергически действующих раздражителей на организм при нырянии. Величина гипоксического фактора в среднем по группе (при апноэ длительностью $42,0 \pm 12,8$ с) по данным пульсоксиметрии составляла $91,4 \pm 3,6\%$, по данным газоанализа выдыхаемого воздуха содержание кислорода составляло $94,3 \pm 9,1$ мм рт.ст., углекислого газа – $48,2 \pm 1,4$ мм рт.ст. Урежение сердечного ритма в ответ на ХГВ развивалась у 81,1% обследованных. Из них 39,2% обследованных принадлежало к реактивному типу ($n=29$) с постепенно развивающейся брадикардией, а 41,9% – к высокореактивному ($n=31$) с быстро развивающейся, ярко выраженной брадикардией. У 16,2% ($n=12$) обследованных ареактивного типа брадикардия в ответ на ХГВ не развивалась. У 2,7% ($n=2$) обследованных парадоксального типа в ответ на ХГВ развивалась тахикардия.

Оценка потребления кислорода методом газоанализа у обследованных с различными типами реализации нырятельной реакции. Анализ параметров внешнего дыхания выявил, что у высокореактивных обследованных объем резервного выдоха (2330 ± 150 мл) и МОД ($9,2 \pm 0,6$ л/мин) статистически значимо ($p < 0,05$) выше, чем у реактивных (1990 ± 110 мл и $8,0 \pm 0,3$ л/мин, соответственно) и ареактивных (1850 ± 130 мл и $7,2 \pm 0,2$ л/мин, соответственно). По результатам газоанализа в исходном состоянии, несмотря на более высокие показатели резервного выдоха, обследуемые высокореактивного

типа отличаются статистически значимо ($p < 0,05$) более низкими значениями pO_2 свободного выдоха ($118,0 \pm 5,8$ мм рт.ст.) по сравнению с реактивными ($124,1 \pm 7,1$ мм рт. ст.) и ареактивными ($121,9 \pm 6,7$ мм рт. ст.) обследуемыми, то есть более высокой экстракцией кислорода из легких. Вместе с тем значения KIO_2 у них несколько меньше ($27,4 \pm 7,9$ мл/л), чем у остальных обследованных (у реактивных – $32,7 \pm 14,5$ мл/л, у ареактивных – $29,5 \pm 7,1$ мл/л). Таким образом, исходно, в состоянии покоя, обследуемые высокореактивного типа отличаются более высоким уровнем потребления кислорода.

По данным газоанализа выдыхаемого воздуха у всех обследованных выявлено более низкое потребление кислорода при ХГВ, чем при пробе Генче. При пробе Генче pO_2 в выдыхаемом воздухе у высокореактивных составляло $89,2 \pm 11,3$ мм рт. ст., у реактивных – $90,9 \pm 10,2$ мм рт. ст., у ареактивных – $95,7 \pm 4,0$ мм рт. ст. При ХГВ эта величина у высокореактивных составляла $99,1 \pm 12,3$ мм рт. ст., у реактивных – $102,2 \pm 14,1$ мм рт. ст., у ареактивных – $97,9 \pm 11,8$ мм рт. ст.

Обнаружено, что у всех обследованных скорость извлечения кислорода из легких при пробе Генче статистически значимо ($p < 0,05$) выше, чем при ХГВ. При пробе Генче она составляла у высокореактивных обследованных $138,7 \pm 12,1$ мм рт. ст./мин, у реактивных – $112,9 \pm 14,7$ мм рт. ст./мин, у ареактивных – $101,7 \pm 9,5$ мм рт. ст./мин. При ХГВ эта величина у высокореактивных обследованных составляла $102,3 \pm 11,9$ мм рт. ст./мин, у реактивных $89,2 \pm 11,7$ мм рт. ст./мин, у ареактивных $79,2 \pm 10,8$ мм рт. ст./мин. Следовательно, при пробе Генче из легких у всех обследованных экстрагируется больше кислорода и скорость его извлечения выше, чем при ХГВ.

Анализ pCO_2 в порции выдыхаемого воздуха в целом по группе показал, что его содержание практически не отличается при пробе Генче ($48,8 \pm 4,3$ мм рт. ст.) и при ХГВ ($48,2 \pm 4,7$ мм рт. ст.). Однако скорость нарастания CO_2 в легких при ХГВ несколько выше ($18,6 \pm 3,2$ мм рт. ст./мин), чем при пробе Генче ($15,8 \pm 6,9$ мм рт. ст./мин), но к третьему погружению отмечается снижение этого показателя ($17,2 \pm 5,3$ мм.рт.ст./мин).

Одним из способов определения энергопотребления при любой гипоксической нагрузке является оценка избыточного потребления кислорода в процессе восстановления по ее завершении, то есть определение кислородного долга (КД). КД определялся как разница между количеством фактически поглощенного за период восстановления кислорода и количеством кислорода, которое было бы поглощено за это же время в состоянии покоя. Наибольшей величиной КД и временем апноэ при ХГВ

отличались обследуемые реактивного типа (табл. 1), что свидетельствует о большей толерантности их организма к физиологическому дискомфорту.

Таблица 1

Показатели газоанализа у представителей различных типов реализации
нырательной реакции

Показатель газоанализа	Тип реализации нырательной реакции					
	Высокорезактивный (n=11)		Реактивный (n=10)		Ареактивный (n=4)	
	Проба Генче	ХГВ	Проба Генче	ХГВ	Проба Генче	ХГВ
Время апноэ (мин)	0,55±0,12	0,47±0,17 [▲]	0,70±0,20	1,01±0,20	0,56±0,09	0,88±0,21
Время восст. (мин)	0,51±0,39	0,61±0,15	0,74±0,30	1,02±0,23	0,17±0,06 [▲]	1,47±0,63
Потребление кислорода при восст (мл)	179,0±106,8	209,1±40,1	232,4±74,0	372,2±34,2	88,3±20,2 [▲]	445,5±163,2 * [▲]
Кислородный запрос при апноэ (мл)	142,3±35,1	122,2±16,6	178,7±45,4	251,6±49,0 [▲]	151,6±48,0	161,9±59,3
Кислородный запрос при восст. (мл)	135,5±98,3	169,3±45,9	196,5±71,1	270,0±55,8	47,6±20,7 [▲]	189,0±90,7
Кислородный долг (мл)	47,5±11,9	39,8±9,7	50,1±16,7	114,5±46,1* [▲]	40,7±19,8	39,6±6,6
Э _{ПК} (мл)	94,8±21,3	82,5±16,8	129,3±47,9	137,1±35,9	111,0±24,2	182,2±81,2 [▲]

Примечание: Э_{ПК} – экономия потребления кислорода. Звездочкой (*) отмечены статистически значимые (p<0,05) отличия при ХГВ от пробы Генче по критерию Вилкоксона внутри рассматриваемой группы; треугольником (▲) – статистически значимые (p<0,05) отличия по критерию Манна-Уитни между группами обследованных.

Экономия потребления кислорода (Э_{ПК}) оценивалась путем сопоставления КД и кислородного запроса (КЗ) во время пробы. Если КД меньше КЗ, то Э_{ПК} присутствует. Выявлено, что и при пробе Генче, и при ХГВ наблюдается эффект Э_{ПК} (табл.1), однако при ХГВ он выражен у большего числа людей. У высокорезактивных обследованных Э_{ПК} при пробе Генче наблюдается у четырех человек (36,4%), а при ХГВ – у девяти человек (81,8%) из одиннадцати. У реактивных Э_{ПК} при пробе Генче наблюдается у пяти человек (50,0%), а при ХГВ – у семи человек (70,0%) из десяти. У ареактивных Э_{ПК} при пробе Генче, и при ХГВ наблюдается у трех человек (75,0%) из пяти. У представителя парадоксального типа (n=1), несмотря на тахикардию при ХГВ, отмечается Э_{ПК} как при пробе Генче (180,6 мл), так и при ХГВ (292,4 мл).

В целом по группе Э_{ПК} при пробе Генче отмечается у 46,2%, а при ХГВ – у 73,1%, что подтверждает наличие кислородосберегающего эффекта НР.

Отсутствие Э_{ПК} у некоторых обследованных связано, вероятно, с психологическим напряжением во время обследования. По данным теста Люшера показатель стресса у этих обследованных был выше среднего (в диапазоне 16-25 баллов), а значения вегетативного коэффициента (ВК) находились либо значительно ниже (<0,78 баллов) нормальных значений, либо значительно выше (>1,40 баллов).

Сатурация крови у обследованных с различными типами реализации нырательной реакции. У всех обследованных, вне зависимости от типа реализации НР, сатурация крови сохраняется на высоком уровне на протяжении всего апноэ. Ее выраженное снижение происходит либо в конце апноэ, либо сразу по его прекращении, что может быть обусловлено дилатацией периферических сосудов (по данным ФПГ) и наличием кислородного долга на периферии (рис.1).

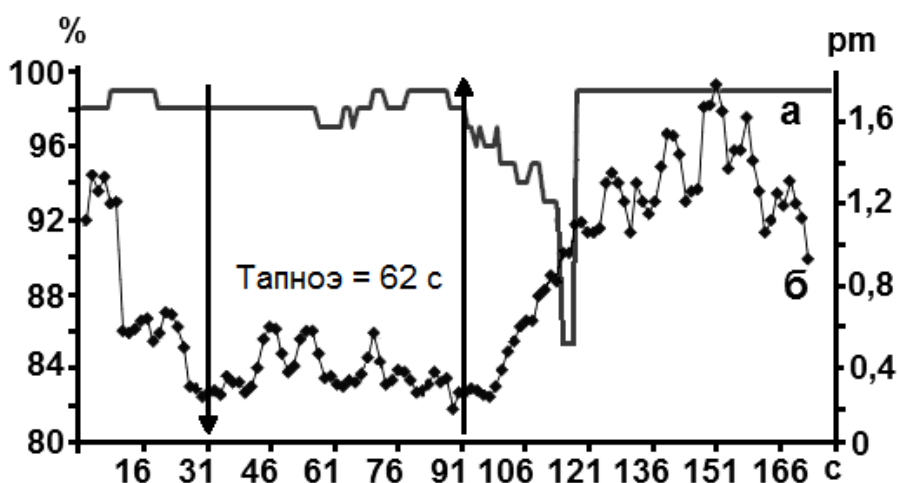


Рис. 1. Насыщение крови кислородом (а, %) и амплитуда систолической волны (б, рт) у обследованного С.Д., 20 лет с реактивным типом нырательной реакции

Примечание: ↓ – начало погружения, ↑ – окончание погружения.

Таким образом, был выявлен кислородосберегающий эффект при апноэ. При этом он у всех обследованных в большей степени выражен при ХГВ, чем при пробе Генче. Наиболее он выражен у реактивных и ареактивных обследованных по сравнению с высокореактивными.

С чем это может быть связано? По меньшей мере, с двумя факторами: 1) исходным уровнем энергетического метаболизма обследованных и напряженностью их психоэмоциональной сферы; 2) совершенством защитных сердечно-сосудистых реакций при реализации НР.

Центральная гемодинамика у обследованных с различными типами реализации нырательной реакции. Среди обследованных выделено три типа ГД: гипер-, эу- и гипокинетический. В исходном состоянии среди

высокорезактивных обследованных преимущественно были обнаружены представители гипер- ($p=0,41$) и гипокинетического ($p=0,41$) типов ГД.

Реактивные обследуемые характеризовались преимущественно эукинетическим ($p=0,48$) типом ГД. Среди представителей ареактивного типа преобладающим был гиперкинетический тип ($p=0,60$) (рис. 2а). Известно, что при гиперкинетическом типе ГД в состоянии покоя сердце работает в наименее экономичном режиме [Дизинский, 1984]. Гипокинетический тип ГД согласно одним представлениям является наиболее экономичным, обладающим большим динамическим диапазоном сердечно-сосудистой системы [Дембо, Земцовский, 1989]. По другим данным представители этого типа характеризуются меньшим систолическим объемом, а это может говорить об уменьшении работы сердца и об ослаблении его сократительной функции [Савицкий, 1982]. Наиболее благоприятным считается эукинетический тип. То есть, представители высокорезактивного и ареактивного типов в состоянии покоя отличаются менее экономным функционированием сердечно-сосудистой системы. При ХГВ у всех обследованных, вследствие замедления кровотока и снижения СИ, характер кровообращения становится менее напряженным (рис. 2б). При этом у обследованных реактивного типа замедление кровотока (снижение СИ) выражено в наибольшей степени, что отражается в наиболее частой встречаемости гипокинетического типа ГД.

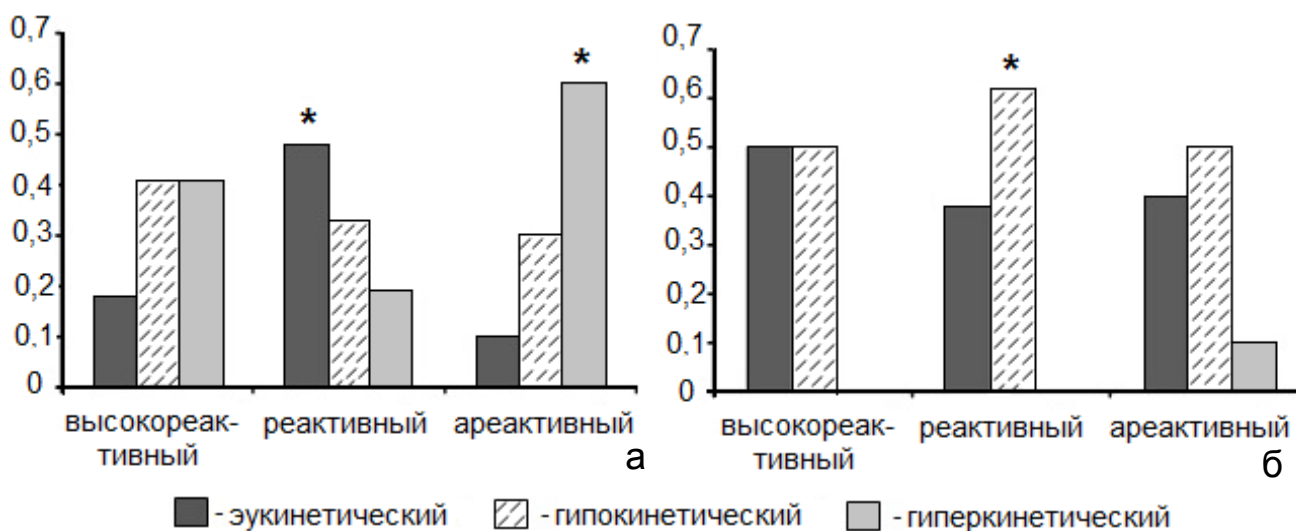


Рис. 2. Типы гемодинамики у обследованных с различным характером реализации нырательной реакции в состоянии покоя (а) и при имитации ныряния (б)
Примечание: по оси абсцисс – тип реализации НР, по оси ординат – вероятность встречаемости типа ГД (отн.ед.). * – $p < 0,05$ по другим критериям значимости.

В исходном состоянии наименьшими значениями МОК и ОПСС отличались обследуемые ареактивного типа (табл.2). Во время ХГВ у всех обследованных

отмечается снижение МОК (табл.2), что согласуется с ранее полученными данными [Andersson et al., 2004; Marabotti et al., 2008; Marabotti et al., 2009], и отмечается тенденция к повышению ОПСС.

Таблица 2

Показатели гемодинамики по данным интегральной реографии у обследованных с различными типами реализации нырательной реакции

Показатель гемодинамики	Тип реализации нырательной реакции					
	Высокорезактивный (n=25)		Реактивный (n=26)		Ареактивный (n=11)	
	Фон	ХГВ	Фон	ХГВ	Фон	ХГВ
Частота сердечных сокращений (уд/мин)	79,7±6,5	60,3±9,1*	75,0±10,7	66,0±7,5*	78,4±6,2	74,3±7,6
Минутный объем кровотока (л/мин)	6,2±1,8	4,5±1,2**	6,1±1,0	5,0±1,3*	5,6±1,4♦	5,1±1,2*
Ударный объем крови (мл)	71,0±8,1	73,3±8,4	70,0±7,1	72,0±9,5	76,3±7,4	66,9±9,5*
Общее периферическое сосудистое сопротивление (дин/с/см ⁻⁵)	1627,8±±556,8	1941,1±±367,9*	1555,3±±387,2	1638,6±±380,1	1379,8±±487,7♦	1495,7±±341,5♦
Сердечный индекс (л/мин/м ²)	3,3±1,1	2,6±0,7**	3,5±0,7	3,0±0,7*	3,6±0,9	3,0±0,6*
Систолическое артериальное давление (мм рт. ст.)	119,8±9,7	134,4±14,5*	113,9±10,3	124,5±15,4*	115,2±13,9	125,6±16,7*
Диастолическое артериальное давление (мм рт. ст.)	76,0±8,3	84,4±10,3*	70,1±8,0	79,0±8,2*	71,0±5,5	82,3±12,3*

Примечание: звездочкой (* - $p < 0,05$; ** - $p < 0,001$) отмечены статистически значимые изменения состояния «фон» от ХГВ по критерию Вилкоксона внутри группы обследованных; ромбом (♦) – статистически значимые ($p < 0,05$) изменения в пробах между группами обследованных по критерию Манна-Уитни.

О повышении периферического сопротивления косвенно свидетельствует и рост диастолического давления, отмеченный практически у всех обследованных (табл.2). При этом следует отметить, что у высокорезактивных и реактивных обследованных падение МОК обусловлено снижением ЧСС, а у ареактивных – снижением УОК (табл.2).

Анализ ФПГ показал, что у всех обследованных при ХГВ наблюдается снижение АСВ в дистальной фаланге пальца, что косвенным образом свидетельствует об увеличении тонуса сосудов, т.е. об их констрикции (рис. 3а). По данным РВГ у реактивных обследованных (в отличие от высокорезактивных и ареактивных) констрикция сосудов при ХГВ наблюдается уже на уровне плеча (значения ППСС наиболее высокие) (рис. 3б).

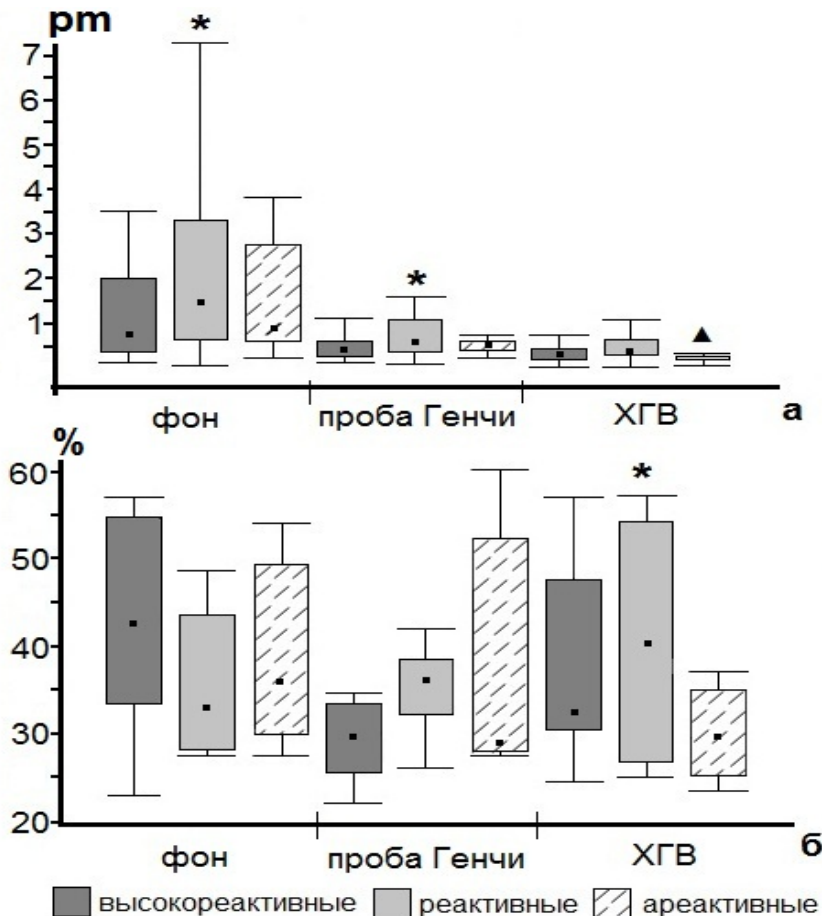


Рис. 3. Амплитуда систолической волны (а) и показатель периферического сопротивления сосудов (б) у обследованных с различным типом реализации нырательной реакции

Примечание: по оси абсцисс – проба, по оси ординат – изменение показателей: а – АСВ (pm), б – ППСС (%). Звездочкой (*) отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) изменения по критерию Манна-Уитни между рассматриваемыми группами обследованных, треугольником (▲) статистически значимые ($p < 0,05$) по критерию Вилкоксона в рассматриваемой группе обследованных.

Таким образом, замедление скорости общего кровотока, повышение ОПСС, повышение тонуса артериол в фаланге пальца при ХГВ согласуются с представлениями о реализации НР, направленной на более экономное потребление кислорода в условиях гипоксии, развивающейся при нырянии, и подтверждают наличие у человека тех же механизмов кислородосбережения, что и у вторичноводных млекопитающих.

Кровоток в легочной артерии и аорте. У большинства обследованных в фоне обнаружена высокая прямая корреляционная зависимость между значениями объемного кровенаполнения в аорте и легочной артерии (табл. 3).

Таблица 3

Индивидуальные корреляционные зависимости реографического индекса аорты и легочной артерии у обследованных с различными типами нырательной реакции

Тип нырательной реакции	Коэффициент корреляции (r) по Спирмену			
	Фон	Проба Генче	ХГВ	Восст. после ХГВ
Высокореактивный	0,38*	-0,24	0,78*	0,48*
Реактивный	0,38*	0,49*	0,34*	0,50*
Ареактивный	0,58*	0,84*	-0,13	0,45*
Парадоксальный	0,18	0,05	0,39*	-0,12

Примечание: звездочкой (*) отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) корреляционные зависимости.

Эта связь, у представителей высокореактивного и реактивного типов, сохраняется и при ХГВ, и во время восстановления. Полученные данные свидетельствуют о том, что у обследованных данных типов ХГВ не нарушает согласованность работы большого и малого кругов кровообращения. У представителя ареактивного типа отмечается нарушение, которое быстро нивелируется в процессе восстановления (табл. 3). У парадоксального обследуемого во время ХГВ согласованность работы растет, но падает в процессе восстановления (табл. 3).

Кровообращение головного мозга. У всех обследованных во время ХГВ на фоне общего замедления кровотока наблюдается статистически значимое уменьшение пульсового кровенаполнения (по показателю РИ) в затылочных областях (бассейн позвоночных артерий). Наиболее выраженное уменьшение наблюдается у высокореактивных. (рис. 4а). Но при этом у всех обследованных при ХГВ, особенно во фронтальных областях (бассейн сонных артерий), отмечается увеличение и нормализация показателя ДСИ, отражающего приток артериальной и отток венозной крови (рис. 4б), что свидетельствует об улучшении состояния микроциркуляции крови головного мозга.

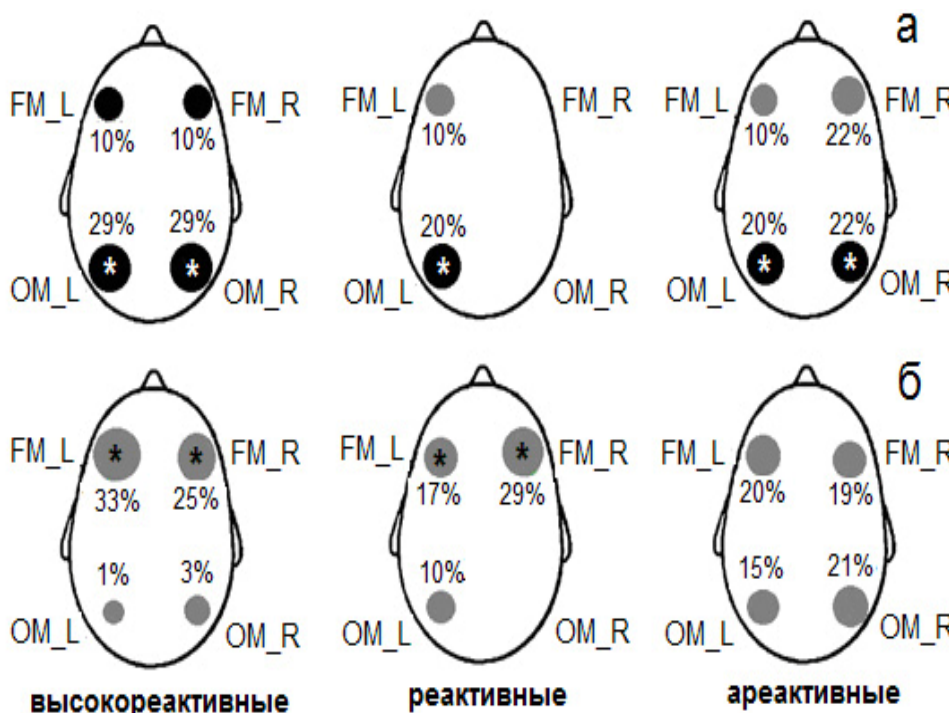


Рис. 4. Изменение реографического (а) и диастолического (б) индексов во время ХГВ относительно исходного состояния (в %) у обследованных с различными типами реализации нырательной реакции

Примечание: черным цветом отмечено снижение показателя, серым – его увеличение. FM_L, FM_R – фронтально-мастоидальное отведение слева и справа; OM_L, OM_R – окципитально-мастоидальное отведение слева и справа. * – $p < 0,05$ по критерию Вилкоксона.

Анализ характеристик РЭГ в исходном состоянии не выявил отклонений от нормы по показателям КА (разброс в пределах 9,2 – 20,9%). При ХГВ КА снижается. Показатель модуля упругости (МУ), отражающий тонус крупных артериальных сосудов, в исходном состоянии у всех обследованных

находился в пределах нормы и не превышал 10-14%. При ХГВ и во время восстановления у высокорезистивных и резистивных обследованных отмечается статистически значимое ($p < 0,05$) снижение МУ по сравнению с исходным состоянием: у высокорезистивных на 23,5% в FM-отведении и на 29,2% в OM-отведении, у резистивных – на 17,2% в FM-отведении и на 18,0% в OM-отведении. У ареактивных наблюдается лишь тенденция к снижению МУ в затылочных областях головного мозга (на 7,5%). Полученные данные свидетельствуют о том, что ХГВ обуславливает вазодилаторный эффект крупных сосудов головного мозга, особенно в бассейне сонных артерий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, гипотеза Л. Ирвинга [Irving, 1934], доказанная для животных, справедлива и для человека. Но уровень экономии потребления кислорода и эффект кислородосбережения в целом при имитации ныряния отличается у обследованных с различными типами реализации НР, что может быть обусловлено типологическими особенностями. Так, нами были выявлены исходные типологические различия в энергетическом метаболизме, регионарном кровообращении, функциональном состоянии кардиореспираторной системы, а также особенностями психоэмоциональной сферы у обследованных с различной резистивностью парасимпатического звена регуляции хронотропной функции сердца.

Показано, что эффект кислородосбережения во многом обусловлен реакциями сердечно-сосудистой системы, а именно выраженностью рефлекторной брадикардии, степенью констрикции периферических сосудов, уровнем снижения скорости кровотока. Наибольший эффект сбережения кислорода наблюдается при наличии во время ХГВ периферической вазоконстрикции, сочетающейся с умеренно выраженной, постепенно развивающейся брадикардией, как это происходит у резистивных обследованных.

ВЫВОДЫ

1. Имитация ныряния у человека способом холодо-гипокси-гиперкапнического воздействия сопровождается перестройкой организма на кислородосберегающий режим функционирования. У обследованных резистивного типа кислородосберегающий эффект наблюдается у 70%, у высокорезистивного типа – у 82%, у ареактивных – у 75%.
2. Обследованные с различными типами нырятельной реакции, исходно отличаются параметрами внешнего дыхания, функциональным состоянием кардиореспираторной системы и характером гемодинамики. Наименее напряженным состоянием кардиореспираторной системы и типом гемодинамики характеризуются обследованные резистивного типа. Наибольшим напряжением кардиореспираторной системы отличаются высокорезистивные, а типом гемодинамики – ареактивные обследованные.

3. Вклад циркуляторного компонента сердечно-сосудистой системы в кислородосбережение при холодо-гипокси-гиперкапническом воздействии у всех обследованных выражается в достоверном замедлении скорости кровотока и наличии констрикции периферических сосудов.

4. Холодо-гипокси-гиперкапническое воздействие не нарушает согласованность работы большого и малого кругов кровообращения у высокорезистивных и резистивных обследованных, что подтверждается ростом корреляционной зависимости между показателями пульсового кровенаполнения легочной артерии и аорты.

5. При имитации ныряния у обследованных высокорезистивного и резистивного типов отмечается снижение показателя модуля упругости, отражающего тонус крупных артерий головного мозга. У всех обследованных снижается пульсовое кровенаполнение в бассейне позвоночных артерий, наиболее выраженное у высокорезистивных, но при этом нормализуется показатель диастолического индекса, отражающий микроциркуляцию крови.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Митрофанова А.В. Особенности гемодинамики при реализации нырятельной реакции у человека // Вестник СПбГУ. – Санкт-Петербург. – Сер. 3, вып.1. – 2010. – С. 89-98.
2. Баранова Т.И., Коваленко Р.И., Митрофанова А.В., Январева И.Н. Динамика показателей энергетического метаболизма при адаптации к нырянию у человека // Журн. эволюц. биохим. и физиол. – Санкт-Петербург – 2010. – Т.46, №5. – С. 411-420.

Публикации в других изданиях:

3. Пономарева А.В., Ли Вей, Баранова Т.И. Механизмы адаптации сердечно-сосудистой системы к гипоксии, развивающейся при нырянии // Сборник материалов 1-й Всероссийской научно-практической конференции «Физиология адаптации». – Волгоград – 2008. – С.280-284.
4. Ponomareva A.V., Baranova T., Kovalenko R., Yanvareva I., Zavarina L., Nozdrachev A. The white blood state and human haemodynamics peculiarities // Proceedings of the II World Asthma & COPD Forum «New horizons in allergy, asthma & immunology». – Bologna, Italy: Medimond – 2009. – P. 169-172.
5. Baranova T.I., Kovalenko R.I., Mitrofanova A.V., Yanvareva I.N. Dynamics of Parameters of Energy Metabolism at Adaptation to Diving in Human // J. of Evol. Biochem. and Physiol. – 2010. – Vol. 46, № 5. – P. 489-500.
6. Пономарева А.В. Активация эволюционно выработанных механизмов толерантности организма к гипоксии как способ реабилитации здоровья человека // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. – Архангельск. – 2008. – №1, вып. XX. – С. 38-39.
7. Пономарева А.В., Баранова Т.И., Коваленко Р.И., Цой Е.М., Январева И.Н., Ноздрачев А.Д. Влияние адаптации к гипоксии ныряния на вегетативную регуляцию и иммунный статус человека // Тезисы XIII Международного конгресса по реабилитации в медицине и иммунореабилитации «Аллергология и иммунология». – Москва. – 2008. – Т.9, №1. – С. 166.
8. Пономарева А.В., Баранова Т.И. Механизмы адаптации к гипоксии, развивающейся при нырянии // Научные труды II Съезда физиологов СНГ. – Москва-Кишинэу. – 2008. – С. 226.
9. Пономарева А.В. Особенности реализации нырятельной реакции у обследованных с различным типом гемодинамики // Тезисы 12-й Всеросс. медико-биол. конференции «Фундаментальная наука и клиническая медицина». – Санкт-Петербург – 2009. – С. 300-301.
10. Пономарева А.В., Баранова Т.И., Коваленко Р.И., Январева И.Н., Ноздрачев А.Д. Состояние системы белой крови и особенности гемодинамики у человека // Тезисы VII Съезда аллергологов и иммунологов СНГ и II Всемирного форума по астме и респираторной аллергии, «Аллергология и иммунология». – Москва. – 2009. – Т.10, №2. – С. 170.
11. Митрофанова А.В. Об особенностях мозгового кровотока при нарушении кислородного гомеостаза // Материалы XXI Съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова. – Калуга – 2010. – С. 407-408.
12. Митрофанова А.В., Баранова Т.И. Особенности энергетического метаболизма при активации защитных механизмов организма человека от гипоксии, развивающейся при нырянии // Тезисы докладов Всеросс. научно-практ. конференции «Физиологические механизмы адаптации». – Тюмень – 2010. – С. 392-395.