

УДК 612.172.2:612.1:612.55

## **ВОЗМОЖНОСТИ ТЕПЛОВИДЕНИЯ И ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ**

© 2012 г. Н. В. Попова, В. А. Попов, А. Б. Гудков

Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск

Исследования, посвященные прогнозированию работоспособности человека в условиях Европейского Севера России, чаще носят фрагментарный характер и основываются на качественных признаках [7, 10]. В связи с этим практической задачей оценки функционального состояния, например, сердечно-сосудистой системы является развитие исследований, позволяющих дать врачу дополнительные сведения в виде информативных физиологических критериев отбора людей для работы и жизнедеятельности в экстремальных природно-производственных условиях региона. Один из информативных методов оценки физиологического состояния сердечно-сосудистой системы, в том числе и у этих лиц, — математический анализ variability сердечного ритма (ВСР) [2]. Западные ученые в основном рассматривают ВСР как показатель состояния симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС) и исследуют изменения их баланса при различных заболеваниях и в процессе фармакологических воздействий [15].

Известно, что температурные реакции в живых тканях складываются из двух основных компонентов: метаболизма и сосудистого фактора. От того, какой из этих факторов вносит главный вклад в формирование местных тепловых полей и локальных температурных реакций, зависят принципиальные методологические подходы в исследованиях термогенеза и терморегуляции, с одной стороны, а с другой — ценность метода для диагностики того или иного механизма, а следовательно, и характера патологии [12]. Вместе с тем российские и международные эксперты отмечают значительный потенциал тепловидения для диагностики различных сосудистых синдромов, оценки их выраженности, контроля эффективности лечения, прогнозирования возможных исходов [9, 16]. Вполне обосновано использование тепловидения для анализа функционального состояния сердечно-сосудистой системы у лиц, устраивающихся на работу в условиях Крайнего Севера, путем определения исходного инфракрасного излучения рук здорового человека и применения пробы с охлаждением [14]. Многие исследователи полагают, что измерение физиологических показателей в условиях относительного покоя дает недостаточную информацию для оценки резервных возможностей организма [1, 4]. Проба с охлаждением является адекватным воздействием на человека, она может быть дозирована по интенсивности, продолжительности и не приводит к предельному напряжению организма [5, 13].

Необходимость оценки адаптационного потенциала и физиологических резервов как объективных характеристик состояния организма требует новых подходов к исследованию функциональных возможностей человека. Так, при оценке функционального резерва системы

У практически здоровых лиц проведены тепловизионное исследование рук и компьютерный анализ variability сердечного ритма до и после холодовой пробы. Установлено, что определяемый у 20–30-летних людей конвекционный тип передачи тепла с концевых фаланг током крови от артерий пальцев к поверхностным сосудам в течение не менее 10 минут при исходном преобладании активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС) свидетельствовал о хорошей компенсаторной реакции сосудистой системы. Наибольшее распространение у лиц 50 лет и старше контактного пути передачи тепла со стороны предплечья от теплых зон к холодным в течение 22 минут и более также при исходном преобладании активности парасимпатического отдела ВНС указывало на нарушение адаптации к холоду.

**Ключевые слова:** тепловидение, variability сердечного ритма, оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы

кровообращения надо комплексно рассматривать параметры вегетативного гомеостаза, и с этих позиций показатели ритма сердца могут выступать в качестве интегральных маркеров адаптационного процесса в экстремальных условиях среды [2, 8] наряду с тепловизионной холодовой пробой.

Цель исследования — обосновать использование функциональной холодовой пробы для прогностической оценки динамики физиологического состояния кровеносной системы для выявления лиц с нарушениями адаптации к холоду.

### Методы

Применялась компьютерная модификация тепловизора «БТВ-3 ЭВМ» (в составе тепловизионная камера, видеоконтрольное устройство, устройство сопряжения тепловизора с ЭВМ), которая позволяла получить на дисплее цветную градационную картину наблюдаемого объекта с привязкой ее к температурной шкале. Система функций тепловизора, задаваемая программой, давала возможность выявлять профили сечений распределения температуры по различным направлениям, гистограммы и другие параметры. Различного рода маркеры, перекрестия, изотермы помогали производить количественную обработку непосредственно в процессе наблюдения.

Для выяснения характера сосудистых реакций и возможностей их дифференцированной оценки, возрастных анатомо-физиологических изменений, а также в целях профессионального отбора в сочетании с термографией использовали дополнительную пробу с охлаждением, которая была разработана в клинике общей хирургии Северного государственного медицинского университета г. Архангельска [11]. Методика пробы с охлаждением следующая: изучалось исходное инфракрасное излучение обеих рук обследуемого человека термографом, затем правая рука погружалась до уровня лучезапястного сустава в воду температурой  $+6 \dots +8^\circ\text{C}$  на одну минуту. Влажная кисть и пальцы осторожно и тщательно высушивались марлевой салфеткой, обе руки вновь помещались на специальную подставку перед камерой термографа, и проводились дальнейшее наблюдение и регистрация инфракрасного излучения тканей конечностей. Отмечались два типа восстановления инфракрасного излучения в ответ на кратковременное охлаждение: конвекционный и контактный. Определялась скорость и интенсивность восстановления исходного излучения [14].

Для оценки системы вегетативной регуляции сердца и сосудов использовались данные о вариабельности гемодинамических параметров, из которых наиболее простым и доступным являлся сердечный ритм. Исследование осуществлялось с помощью комплекса для анализа ВСР «Варикард» модели «ВК-1,4» (в дальнейшем — комплекс).

Данные обрабатывались при помощи пакета программ Statistica 6 и электронных таблиц «Excel». Различия между сравниваемыми признаками считались значимыми при уровне  $p < 0,05$ . Определяли

коэффициент корреляции на четырехпольной таблице [6] с учетом состояния ВНС и тепловизионной холодовой пробы.

### Результаты

Нарушения адаптации к холоду с помощью тепловизионной холодовой пробы и показателей ВСР выявлены у 249 практически здоровых лиц от 20 до 88 лет (114 мужчин и 135 женщин).

Обзорная (серотональная) термограмма верхних конечностей у 105 практически здоровых лиц 20–30 лет (49 мужчин и 56 женщин) характеризовалась ровным фоном инфракрасного излучения. Определялось незначительное, видимое на экране аппарата, усиление инфракрасного излучения в области межпальцевых промежутков, внутренней поверхности локтевого сустава, а также небольшое ослабление его на выпуклых частях поверхности пальцев и кисти. Сравнение температурных перепадов изотермальных полей между «светлыми» и «темными» участками показывает незначительную разницу  $0,1–0,5^\circ\text{C}$  при среднем арифметическом показателе  $\Delta T (0,21 \pm 0,04)^\circ\text{C}$ . Практически кисти рук, пальцы и предплечья здорового человека находились в единой изотерме, что свидетельствовало о высокой интенсивности обменных процессов тканей рук, достаточном и равномерном кровообращении.

Кроме того, исследовано инфракрасное излучение рук у 144 человек в возрасте 50 лет и старше без сосудистой патологии (65 мужчин и 79 женщин). Для этой группы людей типичной особенностью термограммы являлся ее «пятнистый» характер, который отмечался у 103 человек (71,5 % от числа обследованных). На фоне неоднородного термального рисунка отчетливо выявлялось снижение интенсивности инфракрасного излучения в дистальных отделах рук, в первую очередь кончиков пальцев (93 человека). Температурные перепады изотермальных полей между «теплыми» (предплечья) и «холодными» (пальцы) колебались в пределах  $0,3–15,0^\circ\text{C}$  при среднем показателе  $\Delta T (2,5 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . Анализ полученных результатов исследования инфракрасного излучения свидетельствует о том, что с увеличением возраста повышается разница температурного градиента изотермальных полей.

Проба с охлаждением рук проведена у 249 практически здоровых людей в возрасте от 20 до 88 лет. Инфракрасное излучение охлажденных кистей при холодовой пробе у 105 молодых людей быстро подавлялось, что на экране тепловизора представлялось как «ампутационная» термограмма, ограниченная уровнем лучезапястного сустава, то есть границей погружения кисти. Температурные перепады в зоне охлаждения были незначительные, тепловая разница между охлажденной и неохлажденной кистями рук и предплечьями составляла от 5 до  $10^\circ\text{C}$ .

Восстановление инфракрасного излучения у молодых людей 20–30 лет начиналось сравнительно быстро, в течение первой минуты после охлаждения.

У подавляющего (61,9 %) количества обследованных оно происходило с кончиков пальцев, то есть конвекционным путем — тепло переносилось током крови через систему сосудов кисти и пальцевых артерий. В среднем период восстановления излучения тканей рук после охлаждения составляет  $(10,9 \pm 0,9)$  минуты. Это свидетельствует о хорошей компенсаторной реакции сосудистой системы, направленной на скорейшее восстановление нарушенного кровообращения в дистальных участках конечностей, вызванного охлаждением.

При проведении пробы с охлаждением у 144 лиц в возрасте 50 лет и старше инфракрасное излучение охлажденных участков рук быстро подавлялось и имело характер «ампутационной» термограммы. Температурная разница между участками охлажденной и неохлажденной кистей рук и предплечий составляла от 4 до 15 °C при среднем показателе  $\Delta T 7,8$  °C.

Восстановление инфракрасного излучения рук после прекращения действия холода у 82,6 % обследованных этой группы начиналось диффузно со стороны предплечья от теплых зон к холодным — контактным путем (кондукционным). В среднем период восстановления составляет  $(23,9 \pm 1,8)$  минуты, то есть в 2,2 раза медленнее, чем у 20–30-летних. Это является доказательством нарушения адаптации к холоду наиболее часто охлаждающихся участков тела, так как быстрота сосудистых реакций — решающий фактор защиты от локальных отморожений.

При проведении корреляционного анализа сосудистых реакций рук на кратковременное охлаждение (табл. 1) по данным тепловидения у людей 20–30 лет и 50 лет и старше выявлена умеренная степень тесноты связи ( $r = 0,46$ ;  $p < 0,001$ ).

Таблица 1

**Адаптационные сосудистые реакции на холодную пробу по данным тепловидения**

Обследованные	Результат холодной пробы		Итого
	Контактный путь восстановления	Конвекционный путь восстановления	
20–30 лет	40 (16,1%)	65 (26,1%)	105 (42,2%)
50 лет и старше	119 (47,8%)	25 (10,0%)	144 (57,8%)
Всего	159 (63,9%)	90 (36,1%)	249 (100,0%)

Для оценки функционального состояния ВНС у обследованных одновременно с тепловидением проводилась вариационная пульсометрия. Проанализирована наиболее удобная для вычисления переменная SDNN, которая отражает все циклические компоненты, ответственные за изменчивость в течение периода записи, что позволило всех испытуемых разделить на группы в зависимости от преобладания того или иного отдела ВНС (табл. 2).

Анализ показателей ВСР дает возможность сделать вывод о преобладании у 73,1 % обследованных парасимпатических влияний на сердце. Причем при

Таблица 2

**Адаптационные сосудистые реакции рук на холодную пробу по данным тепловидения и вариабельности сердечного ритма**

Вегетативная нервная регуляция	Результат холодной пробы				Итого
	Конвекционный путь восстановления		Контактный путь восстановления		
	Лица 20–30 лет	Лица 50 лет и старше	Лица 20–30 лет	Лица 50 лет и старше	
Симпатическая	2 (0,80%)	16 (6,42%)	4 (1,61%)	17 (6,83%)	39 (15,66%)
Парасимпатическая	61 (24,50%)	5 (2,00%)	27 (10,84%)	89 (35,74%)	182 (73,09%)
Равновесие	2 (0,80%)	4 (1,61%)	9 (3,61%)	13 (5,22%)	28 (11,24%)
Всего	65 (26,10%)	25 (10,04%)	40 (16,06%)	119 (47,79%)	249 (100,00%)

проведении корреляционного анализа у практически здоровых людей 20–30 лет и 50 лет и старше установлена прямая значимая связь ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,001$ ) характера сосудистых реакций на кратковременное охлаждение именно с парасимпатической регуляцией синусового ритма (табл. 3).

Таблица 3

**Адаптационные сосудистые реакции рук на холодную пробу по данным тепловидения при преобладании парасимпатического отдела вегетативной нервной системы**

Обследованные	Результат холодной пробы		Итого
	Контактный путь восстановления	Конвекционный путь восстановления	
20–30 лет	27 (10,84%)	61 (24,50%)	88 (35,34%)
50 лет и старше	89 (35,74%)	5 (2,00%)	94 (37,74%)
Всего	116 (46,58%)	66 (26,50%)	182 (73,08%)

### Обсуждение результатов

Высокая лабильность сердечно-сосудистой системы, утрата рефлекторного конвекционного типа передачи калорийных процессов, преобладание парасимпатического отдела ВНС после холодной пробы у практически здоровых людей — объективные проявления изменения реактивности сердца и сосудов. Тем более хорошо известна взаимосвязь иннервации сердца и рук и более развитой сети симпатических нервов сердца, отходящих от левого пограничного ствола нерва [3]. Этим также следует объяснить нарушение циркуляции тканей рук при тепловидении в сочетании с холодной пробой.

Известно, что устойчивость организма человека к экстремальным факторам во многом обуславливается его функциональными резервами, которые рассматриваются не как простая сумма возможностей отдельных физиологических систем, а как их интегральный показатель с новыми количественными и качественными характеристиками [8]. В результате проведенных исследований с основой на концепции индивидуальной характеристики устойчивости организма человека к

холоду определено (с высокой степенью тесноты связи:  $r = 0,73$ ;  $p < 0,001$ ), что конвекционная форма переноса тепловых потоков, регистрируемая после тепловизионной холодовой пробы, зависит от возраста, состояния вегетативной регуляции организма человека и может быть основным признаком нормы циркуляторных и метаболических процессов в тканях дистальных отделов конечностей у практически здоровых людей разного возраста (табл. 4).

Таблица 4

**Конвекционный путь передачи тепла после холодовой пробы по данным тепловидения в зависимости от состояния вегетативной регуляции организма человека**

Обследованные	Вариабельность сердечного ритма		Итого
	Симпатическая регуляция	Парасимпатическая регуляция	
20–30 лет	2 (0,8%)	61 (24,5%)	63 (25,3%)
50 лет и старше	16 (6,4%)	5 (2,0%)	21 (8,4%)
Всего	18 (7,2%)	66 (26,5%)	84 (33,7%)

Таким образом, контактный путь передачи тепла после тепловизионной холодовой пробы у практически здоровых людей значимо обусловлен ваготоническим состоянием регуляции сердечной деятельности, а также меньшей устойчивостью организма к экстремальным факторам низкой температуры и высокой влажности. Поэтому для интегральной прогностической оценки состояния сердечно-сосудистой системы человека в экстремальных природно-производственных условиях может быть использована тепловизионная холодовая проба в сочетании с анализом variability сердечного ритма.

#### Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Хрущев В. Л. Динамика некоторых физиологических показателей человека при вахтово-экспедиционном методе труда в Заполярье // Бюллетень СО АМН СССР. 1984. № 2. С. 79–83.
2. Баевский Р. М., Берсенева А. П. Введение в донозологическую диагностику. М. : Слово, 2008. 174 с.
3. Голуб Д. М. Некоторые закономерности развития иннервационных связей рефлексогенных зон // Нервы рефлексогенных зон. Минск, 1976. С. 130–142.
4. Гудков А. Б. Физиологическая характеристика нетрадиционных режимов организации труда в Заполярье : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 1996. 32 с.
5. Гудков А. Б., Попова О. Н. Реакция легочного газообмена на локальное охлаждение кожи кисти и стопы // Экология человека. 2009. № 10. С. 16–18.
6. Каминский Л. С. Обработка клинических и лабораторных данных. Л. : Медгиз, 1959. С. 64–177.
7. Лабутин Н. Ю. Физиологическая характеристика резервов гемодинамики и внешнего дыхания при долговременной и срочной адаптации у здоровых мужчин в условиях Европейского Заполярья : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 2002. 34 с.

8. Максимов А. Л. Прогнозирование адаптационных реакций и оценка физиологических резервов человека в экстремальных условиях среды на основе концепции интегрального маркера : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 1994. 57 с.

9. Никанов А. Н., Скрипаль Б. А. Тепловизионный метод исследования в диагностике профессиональных болезней у работников промышленного комплекса Крайнего Севера. Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 2011. 136 с.

10. Новиков В. Т., Королев В. С., Шавкоплас Ю. А. и др. Типы реакций сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку как критерий оценки ее функционального состояния // Прогнозирование в прикладной физиологии. Фрунзе : Илим, 1984. Т. 1. С. 439–440.

11. Орлов Г. А. Хроническое поражение холодом. М. : Медицина, 1978. 168 с.

12. Перцов О. Л., Рудакас П. П. К вопросу о корреляции температуры кожного покрова с температурой внутренних областей тела и периферическим кровотоком // Тепловидение/МИРЭА. М., 1992. С. 132–138.

13. Полевая С. А., Зевеке А. В., Снежницкая И. В., Воловик Н. Г. Исследование температуры в холодо- и теплочувствительных точках руки человека // ТеМП-94 : тезисы докладов на заседании секции «Тепловидение» симпозиума «Прикладная оптика-94». СПб., 1994. С. 66–67.

14. Попов В. А. Клинико-физиологическая характеристика теплового излучения человека в диагностике и лечении поражений кровеносных сосудов : дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 1997. 265 с.

15. Tsuji H. et al. Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort: The Framingham Study // Circulation. 1994. Vol. 90. P. 878–883.

16. Weiss M. E. et al. Infrared tympanic thermometry for neonatal temperature assessment // J. Obstet. Gynecol. Neonatal Nurs. 1999. Vol. 23, N 9. P. 798–804.

#### References

1. Agadzhanian N. A., Khrushchev V. L. *Byulleten' SO AMN SSSR* [Bulletin of Siberian Branch RAMS]. 1984, no. 2, pp. 79–83. [in Russian]
2. Baevskii R. M., Berseneva A. P. *Vvedenie v donozologicheskuyu diagnostiku* [Introduction into Prenosological Diagnostics]. Moscow, 2008, 174 p. [in Russian]
3. Golub D. M. *Nervy refleksogennykh zon* [Nerves of reflexogenic zones]. Minsk, 1976, pp. 130–142. [in Russian]
4. Gudkov A. B. *Fiziologicheskaya kharakteristika netraditsionnykh rezhimov organizatsii truda v Zapolyar'e (avtoref. doc. dis.)* [Physiological characteristics of non-traditional regimes of job organization in the Subarctic (Doc. Dis. Thesis)]. Arkhangelsk, 1996, 32 p. [in Russian]
5. Gudkov A. B., Popova O. N. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2009, no. 10, pp. 16–18. [in Russian]
6. Kaminskii L. S. *Obrabotka klinicheskikh i laboratornykh dannyykh* [Processing of clinical and laboratory data]. Leningrad, 1959, pp. 64–177. [in Russian]
7. Labutin N. Yu. *Fiziologicheskaya kharakteristika rezervov gemodinamiki i vneshnego dykhaniya pri dolgovremennoi i srochnoi adaptatsii u zdorovykh muzhchin v usloviyakh Evropeiskogo Zapolyar'ya (avtoref. doc. dis.)* [Physiological characteristics of reserves of hemodynamics and external respiration in long-term and urgent adaptation in healthy men in conditions of the European Subarctic (Doc. Dis. Thesis)]. Arkhangelsk, 2002, 34 p. [in Russian]



8. Maksimov A. L. *Prognozirovanie adaptatsionnykh reaktsii i otsenka fiziologicheskikh rezervov cheloveka v ekstremal'nykh usloviyakh sredy na osnove kontseptsii integral'nogo markera (avtoref. doc. dis.)* [Prediction of adaptive reactions and assessment of human physiological reserves in extreme environmental conditions based on the integral marker conception (Doc. Dis. Thesis)]. Arkhangelsk, 1994, 57 p. [in Russian]

9. Nikanov A. N., Skripal' B. A. *Teplovizionnyi metod issledovaniya v diagnostike professional'nykh boleznei u rabotnikov promyshlennogo kompleksa Krainego Severa (avtoref. doc. dis.)* [Thermal imaging method of study in diagnostics of occupational diseases in employees of the Far North industrial complex]. Apatity, 2011, 136 p. [in Russian]

10. Novikov V. T., Korolev V. S., Shavkoplyas Yu. A. i dr. *Prognozirovanie v prikladnoi fiziologii* [Prediction in Applied Physiology]. Frunze, 1984, vol. 1, pp. 439-440. [in Russian]

11. Orlov G. A. *Khronicheskoe porazhenie kholodom* [Chronic injury by cold]. Moscow, 1978, 168 p. [in Russian]

12. Pertsov O. L., Rudakas P. P. *Teplovidenie* [Thermography]. Moscow, 1992, pp. 132-138. [in Russian]

13. Polevaya S. A., Zeveke A. V., Snezhnitskaya I. V., Volovik N. G. *TeMP-94 : tezisy dokladov na zasedanii seksii «Teplovidenie» simpoziuma «Prikladnaya optika-94»* [TeMP-94 : Report Theses at the Section meeting "Thermography" of Symposium "Applied Optics-94"]. Saint Petersburg, 1994, pp. 66-67. [in Russian]

14. Popov V. A. *Kliniko-fiziologicheskaya kharakteristika teplovogo izlucheniya cheloveka v diagnostike i lechenii porazhenii krovenosnykh sosudov (cand. dis.)* [Clinico-physiological characteristics of human thermal emission in diagnostics and treatment of blood vessels' injuries (Cand. Dis.)]. Arkhangelsk, 1997, 265 p. [in Russian]

15. Tsuji H. et al. Reduced heart rate variability and mortality risk in an elderly cohort: The Framingham Study. *Circulation*. 1994, vol. 90, pp. 878-883.

16. Weiss M. E. et al. Infrared tympanic thermometry for neonatal temperature assessment. *J. Obstet. Gynecol. Neonatal Nurs.* 1999, vol. 23, no. 9, pp. 798-804.

#### OPPORTUNITIES OF THERMOGRAPHY AND HEART RATE VARIABILITY IN PREDICTIVE VALUATION OF CARDIOVASCULAR SYSTEM FUNCTIONAL STATE

N. V. Popova, V. A. Popov, A. B. Gudkov

Northern State Medical University, Arkhangelsk

Among apparently healthy persons, there has been carried out a thermographical study of hands and a computer analysis of the heart rhythm variability before and after a cold test. It has been established that detected in persons aged 20–30 years convection-type heat transmission from terminal phalanges by blood stream from finger arteries to superficial vessels during not less than 10 minutes in case of domination of activity of the parasympathetic nervous system (PNS) indicated good compensatory reactions of the vascular system. The most spread among the persons over 50 and older of the contact way of heat transmission in forearms from warm zones to cold zones during 22 minutes and more in case of domination of activity of the parasympathetic nervous system was indicative of cold deadaptation.

**Key words:** thermography, heart rate variability, assessment of the cardiovascular system's functional state

#### Контактная информация:

Попова Наталья Васильевна — кандидат медицинских наук, врач первой категории, ассистент кафедры терапии, эндокринологии и скорой медицинской помощи ГБОУ ВПО «Северный государственный медицинский университет» Минздравсоцразвития России

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

E-mail: mice2311@atnet.ru