



## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

УДК 612.1:57.084.1

<sup>1</sup>Панкова Н.Б.: ведущий научный сотрудник лаборатории полисистемных исследований, д.б.н.;

<sup>1</sup>Архипова ЕН.: аспирант лаборатории полисистемных исследований;

<sup>1</sup>Алчинова И.Б.: старший научный сотрудник лаборатории полисистемных исследований, к.б.н.;

<sup>1</sup>Карганов М.Ю.: профессор, заведующий лабораторией полисистемных исследований, д.б.н.

<sup>2</sup>Фесенко А.Г.: соискатель;

<sup>3</sup>Фесюн А.Д.: полковник медицинской службы, заместитель начальника, к.м.н.;

<sup>4</sup>Терновой К.С.: соискатель кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф;

<sup>5</sup>Абакумов А.А.: начальник отдела сводного планирования и информатики.

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии медицинских наук «НИИ общей патологии и патофизиологии РАМН», г. Москва

<sup>2</sup>Институт биоэлементологии ГОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург

<sup>3</sup>Военно-медицинское управление Внутренних войск Министерства внутренних дел России, г. Москва

<sup>4</sup>ГОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова», г. Москва

<sup>5</sup>ФГУ «Федеральное медико-биологическое агентство России», Управление организации научных исследований, г. Москва

### Введение

В последние годы в клинике и в практике массовых обследований здоровых контингентов появились новые возможности, связанные с использованием современных приборных комплексов. Новые приборы позволяют оценивать не только основные показатели гемодинамики, такие как частота сердечных сокращений (ЧСС) и плечевое артериальное давление (АД), но и функциональные показатели работы сердечно-сосудистой системы, включая ударный объем сердца (УО), минутный объем кровообращения, а также разнообразные показатели уровня вегетативной регуляции. Но если основные показатели гемодинамики научились измерять достаточно давно и сейчас уже не вызывает сомнений абсолютная величина плечевого АД, измеренная аускультативным методом, но разными приборами, то в отношении разных методов измерения АД такой уверенности нет. То же самое относится и к величине УО. Определение УО в современной клинике проводится разными способами – от расчетов по формуле Старра, учитывающей показатели АД и возраст испытуемых, до использования современных инвазивных и неинвазивных методов. При работе со здоровыми людьми более приемлемы неинвазивные методы, такие как реографический и ультразвуковой [1, 2], реже используют импедансную [3] и индуктивную [4] кардиографию или расчет по показателям вариабельности периферического АД [5]. Однако оценка величины УО при определении разными методами может различаться до 30% [6].

Не менее важной проблемой остается унификация нагрузочных функциональных проб, используемых в кардиологии для оценки функциональных резервов сердечно-сосудистой системы. Использование функциональных проб для клинической оценки состояния различных систем организма распространено как в кардиологии [2, 7 и др.], так и в других областях медицины (пульмонологии, неврологии и др.). В кардиологической практике наиболее часто используют пробы с физической нагрузкой, которую легко дозировать (максимальная и субмаксимальная пробы, динамическая и статическая нагрузки), клино- и ортостатическое пробы, моделирующие изменение венозного возврата крови к сердцу, психоэмоциональные пробы, воздействие на внешнее дыхание (проба Вальсальвы, гипервентиляция, контролируемое дыхание) и локальное воздействие на нервные окончания (холодовая проба, пробы с воздействием

на барорецепторы аорты) [7]. При обследовании здоровых испытуемых с целью определения функциональных резервов их организма как показателя уровня и меры здоровья [8, 9] чаще всего используют пробы с физической нагрузкой (определение физической работоспособности в тесте PWC<sub>170</sub>, оценка состояния сердечно-сосудистой системы в пробе Мартинэ, оценка скорости восстановительных процессов в Гарвардском степ-тесте и др.). Вместе с тем существуют функциональные пробы, разработанные для конкретных приборных комплексов, с учетом их технических возможностей, например, для прибора «спироартериокардиоритмограф» [10]. Однако их реальная информативность в оценке физиологического статуса организма, при обсуждении полученных результатов, в значительной мере опирается на самоотчет обследуемых и гипотетические физиологические механизмы, поскольку не во всем подкреплена реальными данными.

### Цель исследования:

1) сравнительный анализ результатов обследования одной и той же выборки испытуемых на разных приборных комплексах, оценивающих функциональные показатели сердечно-сосудистой системы (САКР, Finometer Pro, осциллометрия высокого разрешения),

2) методическое обоснование использования в качестве функциональной пробы теста с надеванием спирометрической маски на приборе САКР.

### Материалы и методы

Работа выполнена с привлечением девушек-спортсменок (члены женской национальной сборной команды по регби, n = 9, средний возраст 22.56 ± 0.77 года). Оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы проводили на следующих приборных комплексах:

- спироартериокардиоритмограф (САКР), ООО «Интокс», Санкт-Петербург; предназначен для непрерывной неинвазивной регистрации потоков вдыхаемого и выдыхаемого воздуха при помощи высокочувствительного ультразвукового датчика, измерения показателей пальцевого АД методом ненагруженной артерии Пеназа и записи электрокардиограммы (ЭКГ) в 1-м стандартном отведении с расчетом спектральных показателей вариабельности;
- прибор автоматической экспресс-диагностики состояния сердечно-сосудистой системы с топиче-

ской визуализацией (ЭДТВ-Школьник 0004), ОАО «НПО Экран», Москва; позволяет оценить состояние сердечно-сосудистой системы человека на основе метода осциллометрии высокого разрешения (ОВР);

- прибор Finometer Pro фирмы «Finapres», Нидерланды; проводит одновременную регистрацию показателей дыхания, пальцевого АД методом Пеназа и ЭКГ с расчетом спектральных показателей variabilityности;
- газоанализатор Cortex MetaControl 3BR2 фирмы «Cortex», Германия;
- автоматический измеритель артериального давления (тонометр) фирмы «A@D Medical», Япония, модель UA-777.

### Результаты и обсуждение

В первой серии эксперимента проведено сравнение основных показателей гемодинамики (ЧСС, АД, УО), зарегистрированных у одних и тех же испытуемых, на разных приборах. Сравнивали показания тонометра, работающего на основе аускультативного метода (по Короткову), и приборов САКР и ОВР, работающих на основе осциллометрии, результаты приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Сравнение основных показателей гемодинамики и сердечной производительности, полученных на приборах САКР, ОВР и тонометре. Статистическая значимость отличий от показателей тонометра ( $p < 0.05$  по непараметрическому парному критерию Вилкоксона) обозначена «звездочкой», отличия от показаний прибора САКР обозначены знаком «плюс».

Показатель	Приборы		
	тонометр	САКР	ОВР
систолическое АД, мм. рт.ст.	120.22±4.51	113.63±7.78	110.67±3.79 *
диастолическое АД, мм. рт.ст.	70.00±2.52	73.14±3.84	50.11±2.85 * +
ударный объем сердца, мл		75.61±3.50	92.78±5.82 +

Обнаружено, что различия в величине ЧСС не превышали 10%, что соответствует физиологической variabilityности данного показателя. Величина пальцевого АД, измеренного САКР, не отличалась значимо от результатов тонометра, тогда как величина АД, измеренная ОВР, была статистически значимо ниже. Величина УО, измеренная прибором ОВР, была значимо выше таковой, измеренной прибором САКР.

Известно, что пальцевое АД может отличаться от величины плечевого АД, измеряемого тонометром, по целому ряду причин, среди которых есть как методические (разные методы измерения), так и физиологические (состояние сосудистого русла). Вместе с тем предполагается, что приборы, использующие осциллометрические методы для определения величины периферического АД, к которым относятся как ОВР, так и САКР, должны давать сходные результаты. Соответственно, определение УО по показателям гемодинамики также должны давать близкие результаты. Однако в данном случае это не так.

Поскольку все измерения проведены на одной и той же выборке, практически одновременно, что исключает различия в функциональном состоянии обследуемых, мы предполагаем, что причиной расхождения результатов может быть программная ошибка в приборе ОВР. Подтверждением этому могут служить результаты сравнительного анализа показателей сердечно-сосудистой системы, проведенного последовательно двумя приборами на одном человеке, в последовательности САКР → Finometer Pro. Широко распространенный прибор Finometer Pro фирмы «Finapres» (Нидерланды), как и его предшественник, прибор Portapres, проводит одновременную регистрацию показателей дыхания, пальцевого АД, ЭКГ и variabilityности сердечного ритма. Особенностью прибора является под-

стройка пальцевого АД к уровню АД, определяемого аускультативным методом на предплечье. Показано следующее: основные показатели сердечно-сосудистой системы (ЧСС, скорректированные значения пальцевого АД, УО) на двух приборах практически совпали (табл. 2).

**Табл. 2.** Сравнение основных показателей сердечно-сосудистой системы на приборах САКР и Finometer Pro

Показатель	Приборы	
	САКР	Finometer Pro
ЧСС, уд/мин	65.5	67.0
пальцевое АД, систолическое/диастолическое, мм рт. ст.	108/60	110/65
средняя длительность межсистолического интервала, мс	916	891
ударный объем сердца, мл	73.3	75.0

Безусловно, точная абсолютная величина АД и УО нужна не всегда, например, при мониторинге функционального состояния организма спортсменов достаточно получать данные о направлении сдвигов и их степени по сравнению с фоновыми величинами. Однако в клинике, в диагностических целях, нужны именно точные величины, поскольку критично их попадание в разные центильные диапазоны статистических таблиц, на основе которых ставится тот или иной диагноз. Такие таблицы составляются по данным традиционных измерений АД аускультативным методом на предплечье в трех повторах. Точность оценки АД – особенно это важно при автоматизированном (компьютеризированном) выставлении диагноза. В этой ситуации неверные абсолютные величины станут причиной ложных диагнозов, что недопустимо.

Во второй серии экспериментов мы провели одновременную регистрацию показателей дыхательной и сердечно-сосудистой систем одних и тех же людей на приборе САКР и газоанализаторе. Технической особенностью прибора САКР является использование ультразвукового метода определения скорости воздушного потока, при котором датчики расположены на трубке, прикреплённой к спирометрической маске. Датчики не испытывают фронтального давления воздушного потока [11], что обеспечивает хорошую точность оценки показателей дыхания. Диаметр трубки обеспечивает свободное дыхание, хотя увеличивает «мертвый» объем легких примерно на половину (объем трубки 75 мл). Функциональная роль маски сводится к правильной ориентации трубки с датчиками и ее фиксации на голове испытуемого, однако наличие маски создает некоторое затруднение дыхания. Адаптивной реакцией организма на такие условия тестирования является активация дыхания и соответствующее усиление вагусной компоненты вегетативной регуляции сердечного ритма. По нашим данным, у большинства взрослых испытуемых явная реакция на тестирование в маске (по сравнению с тестированием без маски) отсутствует, хотя наблюдается некоторый дрейф ЧСС в сторону возрастания [10]. Однако в спектрах variabilityности сердечного ритма и пальцевого систолического и диастолического АД происходят статистически значимые перестройки. При этом усредненные изменения показателей сердечно-сосудистой системы воспроизводятся у большинства взрослых испытуемых при отсутствии различий между мужчинами и женщинами [12]. Приведенные данные позволили использовать ситуацию тестирования в спирометрической маске на приборе САКР в качестве функциональной пробы. Однако до настоящего времени, при многократно описанной эффективности и информативности данного теста, интерпретация его физиологических механизмов основывалась лишь на субъективных ощущениях испытуемых и данных литературы о сходных экспериментах на крупных животных [13–15]. По отчетам

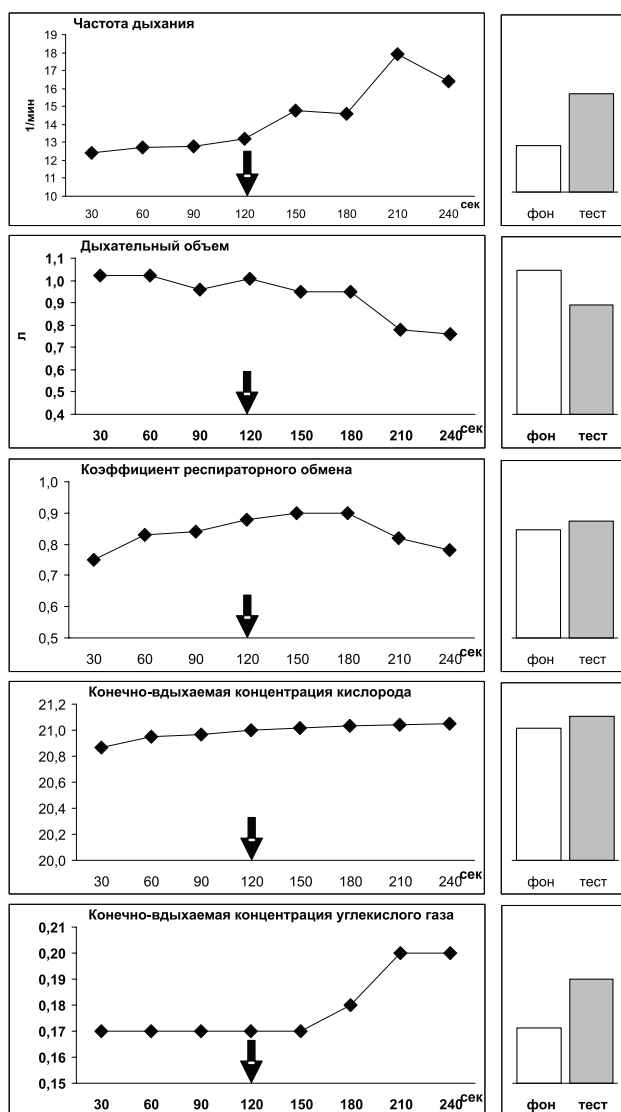
испытуемых, их субъективные ощущения были сопоставимы с таковыми в общественном транспорте или закрытом помещении. Часть испытуемых по окончании тестирования сообщали о затруднениях дыхания («не хватает воздуха»). Предполагалось, что условия тестирования в маске вызывают легкую смешанную гипоксию и гиперкапнию, что приводит как к активации дыхательного центра (увеличение глубины и/или частоты дыхания) с одновременным усилением активности парасимпатического звена регуляции сердечно-сосудистой системы, так и к активации симпатических влияний. Однако количественную оценку глубины и частоты дыхания на данном приборе можно проводить только при надетой маске. На приборе фирмы «Cortex» (Германия) воздухоносные трубочки ориентированы таким образом, что не влияют на объемы дыхательной системы. Совмещение тестирования на приборе САКР и газоанализаторе позволило восполнить существующий недостаток информации.

В настоящей работе выявлено, что при надевании спирометрической маски прибора САКР показатели поглощения кислорода и выделения углекислого газа меняются в

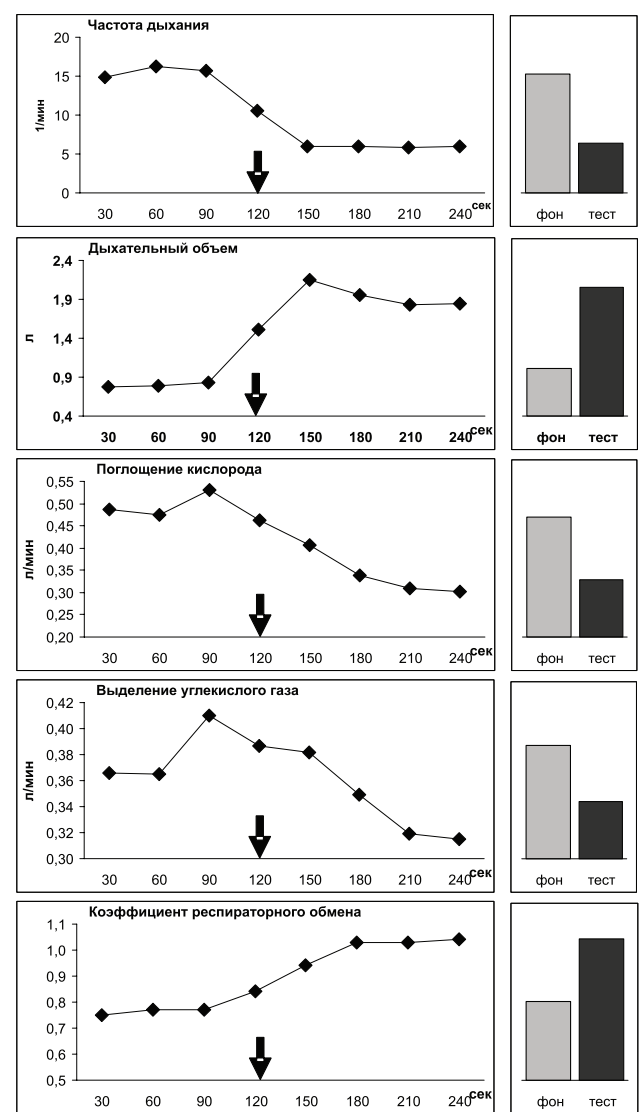
пределах погрешности измерения, как и минутная вентиляция. Однако характеристики процесса дыхания имеют тенденцию к изменению (рис. 1): возрастание частоты дыхания при снижении дыхательного объема. Анализ содержания кислорода и углекислого газа во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе подтвердил развитие состояния мягкой гиперкапнии к концу 2-минутного тестирования, без изменения показателей вентиляторных эквивалентов по кислороду и углекислому газу, и коэффициента респираторного обмена.

Использование другой функциональной пробы, с контролируемым дыханием 6 дыхательных циклов в минуту, показало, что характеристики дыхания, регистрируемые обоими приборами, совпадают в пределах погрешности измерения. В данной пробе, при тестировании с контролируемым дыханием, по сравнению с условиями тестирования с произвольным дыханием, происходит снижение частоты дыхания и возрастание дыхательного объема (рис. 2).

При этом снижается поглощение кислорода и выделение углекислого газа, растет коэффициент респираторного



**Рис. 1.** Динамика показателей дыхания и газового состава вдыхаемого и выдыхаемого воздуха во время 2 последовательных 2-минутных регистраций на приборе САКР: первые 120 с – без спирометрической маски (фон), вторые 120 с – при надетой спирометрической маске с произвольным дыханием (тест). Момент надевания маски обозначен стрелкой. На гистограммах справа приведены суммарные (за 2 мин) данные по 2-минутным записям в разных условиях тестирования.



**Рис. 2.** Динамика показателей дыхания и газового состава вдыхаемого и выдыхаемого воздуха во время 2 последовательных 2-минутных регистраций на приборе САКР: первые 120 с – при надетой спирометрической маске с произвольным дыханием (фон), вторые 120 с – при надетой спирометрической маске с контролируемым дыханием с частотой 6 дыхательных циклов в минуту (тест). Остальные обозначения – как на рис. 1.

обмена. Минутная вентиляция и вентиляторный эквивалент по углекислому газу не меняются, тогда как вентиляторный эквивалент по кислороду имеет тенденцию к повышению. Ранее, в экспериментах с использованием прибора САКР, было показано, что функциональная проба с дыханием 6 циклов в минуту является относительно «жестким» воздействием для организма, что позволяет использовать ее как пробу, не учитывающую индивидуальные особенности вегетативной регуляции испытуемых [16].

#### Выводы

Показатели артериального давления, измеряемые методами экспресс-диагностики, могут суще-

ственно отличаться от результатов традиционных измерений, что затрудняет оценку функционального состояния сердечно-сосудистой системы. Соответственно, различаются расчетные оценки ударного объема сердца, основанные на показателях гемодинамики.

Совместное использование прибора САКР и газоанализатора при оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы позволило получить прямое доказательство возможности использования тестирования в надетой спирометрической маске прибора САКР в качестве функциональной пробы.

#### Список литературы

- Galasco G.I., Basu S., Lahiri A., Senior R. Is echocardiography a valid tool to screen for left ventricular systolic dysfunction in chronic survivors of acute myocardial dysfunction? A comparison with radionuclide ventriculography // Heart. – 2004. – V. 90. – № 12. – P. 1422-1426.
- Ройтберг Г.Е., Струтынский А.В. Внутренние болезни. Сердечно-сосудистая система. М.: Бином, 2007. – 856 с.
- Scherhag A., Kaden J.J., Kentschke E., Sueselbeck T., Borggrefe M. Comparison of impedance cardiography and thermodilution-derived measurement of stroke volume and cardiac output at rest and during exercise testing // Cardiovasc. Drugs Ther. – 2005. – V. 19. – № 2. – P. 141-147.
- Kaplan V., Bucklar G.B., Bloch, K.E. Noninvasive monitoring of cardiac output during exercise by inductance cardiography // Med. Sci. Sports Exerc. – 2003. – V. 35. – № 5. – P. 747-752.
- Bogert L.W., van Lieshout J.J. Non-invasive pulsatile arterial pressure and stroke volume changes from human finger // Exp. Physiol. – 2005. – V. 90. – № 4. – P. 437-446.
- Алексеев В.Н., Сучков А.И., Леонченко В.В., Олейник Л.В. Оценка ударного объема сердца при различных методах его определения // Амбулаторная хирургия: стационарозамещающие технологии. – 2005. – № 4(20). – С. 46-48.
- Аронов Д.М., Лупанов В.П. Функциональные пробы в кардиологии. – М.: МЕДпресс-информ, 2007. – 328 с.
- Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. – 2003. – Т. 89. – № 4. – С. 473-487.
- Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева П.П. Функциональные резервы организма и теория адаптации // Вестник восст. мед. – 2004. – № 3(9). – С. 4-10.
- Труханов А.И., Панкова Н.Б., Хлебникова Н.Н., Карганов М.Ю. Использование метода спиреокардиокардиографии в качестве функциональной пробы для оценки состояния кардио-респираторной системы взрослых и детей // Физиол. чел. – 2007. – Т. 33. – № 5. – С. 82-92.
- Пивоваров В.В. Спироартериокардиограф // Мед. техника. – 2006. – № 1. – С. 38-41.
- Панкова Н.Б., Надоров С.А., Карганов М.Ю. Сравнительный анализ изменения показателей сердечно-сосудистой системы в разных функциональных пробах у женщин и мужчин // Физиол. чел. – 2008. – Т. 34. – № 4. – С. 64-72.
- Trzebski A., Smith M.L., Beightol L.A., Fritsch-Yelle J.M., Rea R.E., Eckberg D.L. Modulation of human sympathetic periodicity by mild, brief hypoxia and hypercapnia // J. Physiol. Pharmacol. – 1995. – V. 46. – № 1. – P. 17-35.
- Sasano N., Vesely A.E., Hayano J.-I., Sasano H., Somogyi R., Preiss D., Miyasaka K., Katsuya H., Iscoe S., Fischer J.A. Direct effect of PaCO<sub>2</sub> on respiratory sinus arrhythmia in conscious humans // Am. J. Physiol. – Heart and Circulatory Physiology. – 2002. – V. 282. – P. H973-H976.
- Cooper V.L., Pearson S.B., Bowker C.M., Elliot M.W., Hainsworth R. Interaction of chemoreceptor and baroreceptor reflexes by hypoxia and hypercapnia – a mechanism for promoting hypertension in obstructive sleep apnoea // J. Physiol. – 2005. – V. 568. – № 2. – P. 677-687.
- Панкова Н.Б., Надоров С.А., Ежова О.А., Агаджанян Н.А., Карганов М.Ю. Информативность различных функциональных проб состояния кардио-респираторной системы человека в норме и при патологии // Вестник восст. мед. – 2008. – № 1 (23). – С. 67-72.

#### Резюме

Проведен сравнительный анализ показателей функционального состояния сердечно-сосудистой системы практически здоровых людей (девушек-спортсменок) с использованием как традиционных приборов, используемых в клинической практике (тонометр фирмы «A@D Medical», Япония, прибор Finometer Pro фирмы «Finapres», Нидерланды), так и новых приборов, предлагаемых для экспрессной оценки больших контингентов (спироартериокардиограф ООО «Интокс», Санкт-Петербург, и ЭДТВ-Школьник, ОАО «НПО Экран», Москва). Показано, что величины ключевых показателей гемодинамики, используемых для диагностики, у одних и тех же испытуемых различаются в зависимости от использованного прибора. Наибольшие отличия выявлены в случае использования ЭДТВ. Также показано, что тестирование функционального состояния сердечно-сосудистой системы на приборе спиреокардиокардиограф при надетой спирометрической маске с произвольным дыханием сопровождается изменениями показателей дыхания и содержания газов во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе. Полученные данные подтверждают принципиальную возможность использования данного варианта тестирования в качестве нагрузочной функциональной пробы.

**Ключевые слова:** сердечно-сосудистая система, вариабельность сердечного ритма, методы экспресс-диагностики.

#### Abstract

A comparative analysis of the functional state of the cardiovascular system of healthy subjects (female athletes) using both traditional instruments used in clinical practice (tonometer from firm «A@D Medical», Japan, the device Finometer Pro from company «Finapres», Netherlands), and new devices, offers for a rapid assessment of large numbers (spiroarteriocardiorhythmograph from firm «Intoks», St. Petersburg, and EDTV from firm «Ecran», Moscow) was carried out. It was shown that the values of key hemodynamic parameters used for the diagnosis, vary in the same subjects depending on the used device. The greatest differences were found in the case of EDTV. Also it was shown that testing of the functional state for the cardiovascular system on the device spiroarteriocardiorhythmograph with turned spirometric mask in conditions with voluntary breathing is accompanied by changes in respiratory parameters and gas content in the inhaled and exhaled air. These data confirm the fundamental possibility of using this test case as a loading functional test.

**Key words:** cardiovascular system, heart rate variability, methods for rapid assessment.

#### Контакты:

**Панкова Наталия Борисовна.** Служебный адрес: 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8, тел./факс (495) 601-21-83, e-mail: nbpankova@gmail.com

**Карганов М.Ю.** Служебный адрес: 125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8, тел./факс (495) 601-21-83, e-mail: labpolys@gmail.com