

УДК 616-092

Оценка сердечно-сосудистой вариабельности человека при антиортостатической гипокинезии с помощью прибора САКР-і: новые возможности

Черепов А.Б.^{1,2}, Алчинова И.Б.^{1,2}, Хлебникова Н.Н.¹, Лебедева М.А.^{1,2},
Пивоваров В.В.³, Зайцев Г.К.³, Баранов М.В.², Шпаков А.В.⁴

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии».

125315, Москва, ул. Балтийская, д. 8

² Научно-исследовательский институт космической медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Федерального медико-биологического агентства России.

123182, Москва, Щукинская ул., д. 5

³ НАО Институт кардиологической техники «Инкарт».

194214, Санкт-Петербург, Выборгское ш., д. 22а

⁴ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем» Российской академии наук.

123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 76А

Все большее значение для исследований в экстремальных условиях и при моделировании космических полетов приобретает комплексная оценка сердечно-сосудистой вариабельности, которая помимо вариабельности сердечного ритма включает в себя оценку вариабельности артериального давления. Использование спироартериокардиографов (САКР) позволяет синхронно регистрировать работу проводящей системы сердца (ЭКГ), артериальное давление (АД) и дыхание, а также автоматически оценивать вариабельность ритмических осцилляций частоты сердечных сокращений и периферического АД.

Материалы и методы. В этой работе мы анализировали напряженность регуляции сердечно-сосудистой системы организма человека при 21-дневной антиортостатической гипокинезии (АНОГ) на приборах САКР разных поколений, оценивая их релевантность для такого анализа.

Результаты. В работе показано, что измерения на приборе САКР выявляют значимое снижение общей вариабельности АД вследствие длительной моделированной микрогравитации. Причём основной вклад в эти изменения вносит очень низкочастотная составляющая вариабельности систолического АД (VLFs). Известно, что именно VLF-компонента вариабельности АД может служить показателем предрасположенности к инсультам у крыс и собак, и, предположительно, может иметь прогностическое значение для оценки вероятности развития инсультов у человека.

Заключение. Результаты этой работы говорят о большой важности адекватной оценки вариабельности АД с помощью неинвазивных приборов типа САКР для выявления и оценки преморбидных состояний, а также исследований адаптации при стрессе и в экстремальных условиях космических полетов.

Ключевые слова: вариабельность артериального давления; моделированная микрогравитация; адаптация; непрерывное неинвазивное измерение артериального давления; спироартериокардиограф.

Для цитирования: Черепов А.Б., Алчинова И.Б., Хлебникова Н.Н., Лебедева М.А., Пивоваров В.В., Зайцев Г.К., Баранов М.В., Шпаков А.В. Оценка сердечно-сосудистой вариабельности человека при антиортостатической гипокинезии с помощью прибора САКР-і: новые возможности. *Патогенез.* 2022; 20(2): 70-77

DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.70-77

Для корреспонденции: Черепов Антон Борисович, e-mail: antoncherepov2016@gmail.com

Финансирование. Исследование не имеет спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 08.05.2022

Assessment of human cardiovascular variability in antiorthostatic hypokinesia using the SACR-i device: new opportunities

Cherepov A.B.^{1,2}, Alchinova I.B.^{1,2}, Khlebnikova N.N.¹, Lebedeva M.A.^{1,2}, Pivovarov V.V.³, Zaitsev G.K.³, Baranov M.V.², Shpakov A.V.⁴

¹ Institute of General Pathology and Pathophysiology, Baltijskaya St. 8, Moscow 125315, Russian Federation

² Research Institute of Space Medicine, All-Russia Center for Disaster Medicine «Protection» of the Federal Biomedical Agency of Russia.

Shchukinskaya St. 5, Moscow 123182, Russian Federation

³ JSC Institute of Cardiology "Inkart".

Vyborgskoe Shosse 22a, St. Petersburg 194214, Russian Federation

⁴ Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Khoroshevskoe Shosse 76A, Moscow 123007, Russian Federation

A comprehensive assessment of cardiovascular variability, which includes an assessment of blood pressure (BP) variability in addition to heart rate variability, is becoming increasingly important for research under extreme conditions, i.e., space, and during modeling of space flight. The use of spiroarteriocardiorhythmographs (SACR) allows synchronous recording activity of the cardiac conduction system (ECG), BP, and respiration, as well as automatic assessment of the variability of rhythmic oscillations of heart rate and peripheral BP.

Methods. We analyzed the intensity of regulation of the human cardiovascular system during 21-day antiorthostatic hypokinesia (ANOI) using SACR devices of different generations, and we assessed their relevance for such an analysis.

Results. Measurements on the SACR device revealed a significant decrease in the overall BP variability due to prolonged, simulated microgravity. Moreover, the main contribution to these changes was made by the very low-frequency component (VLF) of systolic BP variability. It is known that specifically the VLF component of BP variability indicates a predisposition to strokes in rats and dogs, and quite possibly it has a prognostic value for assessing the risk of stroke in humans.

Conclusion. These results suggest adequate assessment of BP variability using non-invasive devices (e.g. SACR) is very important for the identification and assessment of premorbid states and can be applied to studies of adaptation to the stress and extreme conditions of space flights.

Key words: blood pressure variability; simulated microgravity; adaptation; continuous noninvasive blood pressure measurement; spiroarteriocardiorhythmograph.

For citation: Cherepov A.B., Alchinova I.B., Khlebnikova N.N., Lebedeva M.A., Pivovarov V.V., Zaitsev G.K., Baranov M.V., Shpakov A.V. [Assessment of human cardiovascular variability in antiorthostatic hypokinesia using the SACR-i device: new opportunities]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2022; 20(2): 70-77 (in Russian)

DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.70-77

For correspondence: Cherepov Anton Borisovich, e-mail: antoncherepov2016@gmail.com

Funding. The study had no sponsorship.

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

Received: 08.05.2022

Введение

Оценка напряжения физиологических систем организма человека — важная задача при исследовании адаптации как в экстремальных условиях, так и для выявления и оценки преморбидных состояний. Организм человека и животных, находясь в постоянном взаимодействии с окружающей средой, непрерывно подстраивается к ее изменяющимся условиям, стараясь поддержать гомеостаз и мобилизуя основные системы жизнеобеспечения, и, прежде всего, сердечно-сосудистую и дыхательную. В настоящее время общепринятой методикой экспресс-оценки напряженности регуляции основных систем жизнеобеспечения организма служит изменчивость сердечных сокращений [1, 2, 3]. Это неинвазивный метод, не требующий специальных условий и длительных измерений. При всем удобстве этой оценки, она зачастую дает противоречивую картину, меняющуюся от измерения к измерению и от исследования к исследованию, которая требует осторожной интерпретации [4, 5].

Все большее значение приобретает комплексная оценка сердечно-сосудистой вариабельности [6], которая помимо вариабельности сердечного ритма включает в себя оценку вариабельности артериального давления (ВАД) и дыхания [7]. Ранее это в основном была прерогатива экспериментальных исследований на животных, так как использовались инвазивные методы перманентной регистрации АД [8, 9]. Чтобы использовать вариабельность АД для уточнения и обогащения картины состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) с помощью экспресс-оценок у человека, требовалась разработка неинвазивных методов перманентной регистрации АД.

Хотя фотоплетизмографическое измерение АД по Пеньязу в пальце было разработано достаточно давно [10] эволюция таких приборов шла довольно долго, чтобы достичь необходимой простоты исполнения и точности измерений. Параллельно с этим шли исследования на животных, позволяющие понять физиологическое значение наблюдаемых изменений вариабельности АД, и соотнести их с данными, полученными у человека [11]. Комплексная оценка вариабельности

сердечного ритма и артериального давления существенно расширяет возможности применения этого метода в клинической и научной практике.

Исследования нашей группы также шли в русле этой эволюции. Мы использовали приборы спиреоартериокардиографы (САКР) производства «ИНТОКС». Данные инструменты позволяют синхронно регистрировать работу проводящей системы сердца (ЭКГ), артериальное давление и дыхание, а также автоматически оценивают вариабельность ритмических осцилляций ЧСС и АД. Появление принципиально нового САКР-и производства «ИНКАРТ» в 2018 году позволило нам провести сравнительные исследования на приборах разных поколений.

Целью данной работы являлась оценка релевантности измерений на приборе САКР и САКР-и для анализа напряженности регуляции сердечно-сосудистой системы организма человека при 21-дневной антиортостатической гипокинезии (АНОГ).

Материалы и методы исследования

В исследовании использовали 2 прибора:

1. САКР («ИНТОКС», рекомендован МЗ РФ к применению в медицинской практике, регистрационное свидетельство №29/03020703/5869-04) — предназначен для непрерывного неинвазивного синхронного измерения артериального давления, регистрации потоков вдыхаемого и выдыхаемого воздуха и записи электрокардиограммы (ЭКГ) (отведение I).

Только в таком виде методика, объединяющая три основных метода физиологических исследований, позволяет непосредственно рассчитывать такие важные функциональные параметры, как интегрированные значения интервалов кардиограммы, симпатическую и парасимпатическую регуляцию сердечного ритма и артериального давления, функцию внешнего дыхания, минутный объем кровообращения, величину барорефлекса.

2. САКР-и — новое поколение приборов производства «ИНКАРТ», отличается от предыдущего поколения САКРов возможностью автоматической калибровки пальцевого давления по измерению АД в плечевой артерии по методу Короткова. К сожалению, канал регистрации дыхания в предоставленном нам приборе не был реализован.

Основными параметрами, которые оценивались нами при проведении данного исследования, были:

— стандартные показатели PQRST комплекса ЭКГ: длительность интервалов и сегментов P, PQ, QR, QRS, QT (с), положение сегмента ST относительно изолинии (мВ);

— показатели вариабельности сердечного ритма (общая мощность спектра (TP), особо низкочастотные VLF (very low frequency), низкочастотные LF (low frequency) и высокочастотные HF (high frequency) компоненты спектра (мс²), соотношение LF/HF;

— показатели артериального давления (АД): систолическое (САД), диастолическое (ДАД) (мм рт.ст.);

— показатели вариабельности АД (отдельно для систолического и диастолического АД): общая мощность спектра (TPS/D), особо низкочастотные VLFS(D), низкочастотные LFS(D) и высокочастотные HFS(D) компоненты спектра, соотношение LFS(D)/HFS(D) (мм рт.ст²).

Мы проводили данные исследования в рамках экспериментов по длительному воздействию моделированной микрогравитации на организм человека. Микрогравитацию моделировали с помощью перманентного постельного режима под углом к горизонту (−6°) (антиортостатическая гипокинезия (АНОГ)) в условиях стационара.

Методы оценки вариабельности сердечного ритма и вариабельности АД с помощью приборов САКР использовались в данном исследовании как общепринятые неинвазивные методики оценки функционального состояния человека при адаптации к условиям космического полета.

В экспериментах участвовало 12 испытуемых (здоровые мужчины-добровольцы в возрасте $30,7 \pm 5,4$ года, массой тела — $78,0 \pm 8,5$ кг и ростом $179,7 \pm 5,3$ см), которые находились на постельном режиме в условиях АНОГ с углом наклона кровати −6° относительно горизонта в течение 21 дня. Программа эксперимента «Состояние физиологических систем организма человека при моделировании отдельных факторов космического полета в условиях 21-суточной антиортостатической гипокинезии без средств профилактики» (шифр «Bedrest-2021») была обсуждена и одобрена Комиссией по биомедицинской этике ГНЦ РФ-ИМБП РАН (протокол №2 от 6.10.2021 г.).

Они были разделены на 2 группы: 1-я группа испытуемых была обследована в последовательном режиме; 2-я группа — в параллельном режиме на 2 приборах. Испытуемые были обследованы на приборах САКР и САКР-и дважды: 1) за 1–2 суток до начала постельного режима (фон) и 2) за день до или в день окончания постельного режима (20–21 день). Во все эти дни обследования проводили утром (с 8 до 12 часов). Обследование проводилось лежа (либо горизонтально, либо под тем углом, под которым испытуемый должен был находиться в данный момент). Сеанс обследования включал в себя калибровку прибора (~1 мин) и 3 непрерывных последовательных измерения на приборе САКР:

1) без использования дыхательной маски — 2 мин [12], и соответственно без регистрации дыхания (обозначения на рис. «бм»);

2) с использованием дыхательной маски — 2 мин, с регистрацией дыхания, при произвольном дыхании (обозначения на рис. «м»);

3) с функциональной дыхательной пробой или управляемым дыханием — 2 мин с использованием или без дыхательной маски (обозначения на рис. «дп»).

Измерения на приборе САКР-и у того же испытуемого проводили или сразу после обследования на САКР

или параллельно, используя соседний (средний) палец левой руки для измерения давления. Обследование было практически аналогичным. В случае с САКР-і отличие заключалось в том, что у этого прибора отсутствует канал для записи дыхания, поэтому после калибровки (1,5–2 мин) непрерывно регистрировали показатели ЭКГ и АД: 1) без записи дыхания – 2 мин (аналогично пробе на приборе САКР – без дыхательной маски), и 2) с функциональной дыхательной пробой (управляемым дыханием 6 раз в минуту), но без дыхательной маски – 2 мин. Если показания на САКР и САКР-і снимались параллельно, все 3 стандартных измерения (без маски, в маске и дыхательная проба) были проведены.

Первичная обработка всех результатов проводилась с помощью алгоритмов прибора САКР («ИНТОКС»). Проверка выборок на нормальность распределения проводилась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. По всем представленным параметрам во всех экспериментальных группах $p > 0,20$, что свидетельствует о нормальности распределения. Приведённые в статье

данные представлены в виде $M \pm m$. Материалы исследований обработаны статистически с использованием ANOVA для повторяющихся измерений для оценки различий между группами. Изменения считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Рассмотрим сначала ситуацию при последовательном измерении на приборах САКР и САКР-і. Показатели с обоих приборов, касающиеся ЧСС и вариабельности сердечного ритма достоверно не отличались при последовательном измерении во всех пробах при фоновых измерениях и в конце постельного режима. Аналогичная картина наблюдалась и для показателей PQRST-комплекса (табл. 1).

Динамика общей мощности вариабельности артериального давления, как систолического, так и диастолического значимо отличалась при измерении на САКР по сравнению с САКР-і. Общая вариабельность

Таблица 1

Сравнительный анализ измерений на приборах САКР и САКР-і

Параметры	Результаты сравнения по ANOVA	
	при последовательном измерении	при параллельном измерении
ЧСС, Гц	F(3, 30)=1,3557, p=0,27517	F(5, 50)=0,11477, p=0,98857
RRmax, мс	F(3, 30)=1,0634, p=0,37927	F(5, 50)=0,26489, p=0,93014
RRmin, мс	F(3, 30)=0,86541, p=0,46978	F(5, 50)=0,08913, p=0,99362
P, с	F(3, 30)=0,24070, p=0,86725	F(5, 50)=0,87143, p=0,50698
PQ, с	F(3, 30)=0,36994, p=0,77523	F(5, 50)=0,27167, p=0,92650
QR, с	F(3, 30)=1,5614, p=0,21923	F(5, 50)=0,04743, p=0,99857
QRS, с	F(3, 30)=0,25212, p=0,85919	F(5, 50)=2,5819, p=0,03737 *
QT, с	F(3, 30)=0,39023, p=0,76087	F(5, 50)=0,39730, p=0,84836
ST, мВ	F(3, 30)=0,96490, p=0,42210	F(5, 50)=0,28913, p=0,91681
TP, мс ²	F(3, 30)=0,40641, p=0,74948	F(5, 50)=0,28210, p=0,92076
HF, мс ²	F(3, 30)=0,77949, p=0,51471	F(5, 50)=0,42653, p=0,82800
LF, мс ²	F(3, 30)=0,40046, p=0,75366	F(5, 50)=0,08326, p=0,99456
VLF, мс ²	F(3, 30)=0,09400, p=0,96277	F(5, 50)=1,3345, p=0,26512
САД, мм рт.ст	F(3, 30)=0,73606, p=0,53877	F(5, 50)=1,0714, p=0,38744
ДАД, мм рт.ст	F(3, 30)=0,76087, p=0,52492	F(5, 50)=1,2037, p=0,32108
TPs, мм рт.ст ²	F(3, 30)=3,2576, p=0,03519 *	F(5, 40)=3,0998, p=0,01858 *
HF _s , мм рт.ст ²	F(3, 30)=3,3243, p=0,03283 *	F(5, 40)=0,43504, p=0,82140
LF _s , мм рт.ст ²	F(3, 30)=1,3937, p=0,26386	F(5, 40)=1,4649, p=0,22281
VLF _s , мм рт.ст ²	F(3, 30)=1,8466, p=0,16003	F(5, 40)=3,8713, p=0,00591 *
TP _d , мм рт.ст ²	F(3, 30)=3,4469, p=0,02893 *	F(5, 40)=0,82602, p=0,53872
HF _d , мм рт.ст ²	F(3, 30)=4,6522, p=0,00871 *	F(5, 40)=0,70949, p=0,61981
LF _d , мм рт.ст ²	F(3, 30)=1,3344, p=0,28169	F(5, 40)=0,95068, p=0,45928
VLF _d , мм рт.ст ²	F(3, 30)=3,8261, p=0,01966 *	F(5, 40)=1,4710, p=0,22079

Примечания: Сравнение проводилось между всеми измерениями (без маски и дыхательная проба), как при фоновых (за сутки до начала постельного режима), так и при измерениях в конце постельного режима (20-й день) в режиме АНОГ. Расшифровку показателей см. в разделе «Материалы и методы исследования». Обозначения статистической значимости: * - $p < 0,05$ (ANOVA для повторяющихся измерений).

САД (TPs) и ДАД (TPd) значительно повышалась в конце постельного режима при регистрации без маски с помощью прибора САКР по сравнению с измерением на САКР-і. Основной вклад в эти изменения вносит VLFs/d составляющая. То есть изменения, которые наблюдали при измерениях на САКР, не фиксировали при использовании прибора САКР-і (рис. 1).

Последовательный способ регистрации, безусловно, имеет недостаток, и заключается он в высокой вариативности показателей variability. Поэтому измерения, выполненные даже через несколько минут, могут сильно отличаться и отражать влияние дополнительных факторов и смазывать картину различий или добавлять дополнительные различия, не имеющие к работе приборов отношения. Поэтому в дальнейшем был использован параллельный способ измерений на двух приборах (табл. 1).

Общая мощность variability систолического артериального давления была значимо выше при измерении на САКР по сравнению с САКР-і. Основной вклад в это повышение вносила VLFs компонента. В variability диастолического давления картина похожа, но не достигает значимых различий (рис. 2). На рис. 2 видно, что общая variability АД заметно снижается к концу постельного режима (21 сутки АНОГ), при обследовании на САКР, но не на САКР-і.

Обсуждение

Основные различия в принципах работы приборов САКР и САКР-і для пользователя заключаются в на-

личии на САКР-і алгоритма приведения, измеряемого в пальце АД, к АД плечевой артерии. Он работает следующим образом: сначала настраивается измерение периферического АД в пальце, затем измеряется АД с помощью плечевой манжеты по Короткову и после абсолютные цифры измеряемого в пальце давления корректируются (приводятся в соответствие) с измерениями в плечевой артерии по Короткову.

Из результатов исследования видно, что данные, полученные на обоих приборах при последовательном и параллельном способах регистрации, не отличаются по стандартным показателям PQRST комплекса ЭКГ (табл. 1). Единственное наблюдаемое отличие по показателю QRS может трактоваться, скорее, как артефакт.

Более низкие показатели общей variability периферического АД (TPs и TPd) при измерении на приборе САКР-і по сравнению с прибором САКР визуально более четко выражены при параллельном способе измерения (рис. 2) по сравнению с последовательным (рис. 1). Причем, достоверными эти отличия являются только для общей variability систолического АД (TPs), но не для variability диастолического АД (TPd) (табл. 1). Визуально менее выраженные, но аналогичные результаты были получены и при последовательном измерении (рис. 1 и табл. 1). При этом показатели АД (САД и ДАД) достоверно не отличались при измерениях на разных приборах, как при последовательном, так и при параллельном способах измерения.

По нашему мнению, это говорит о том, что последовательный алгоритм приведения показаний пальцевого давления к показаниям АД, полученным по изме-

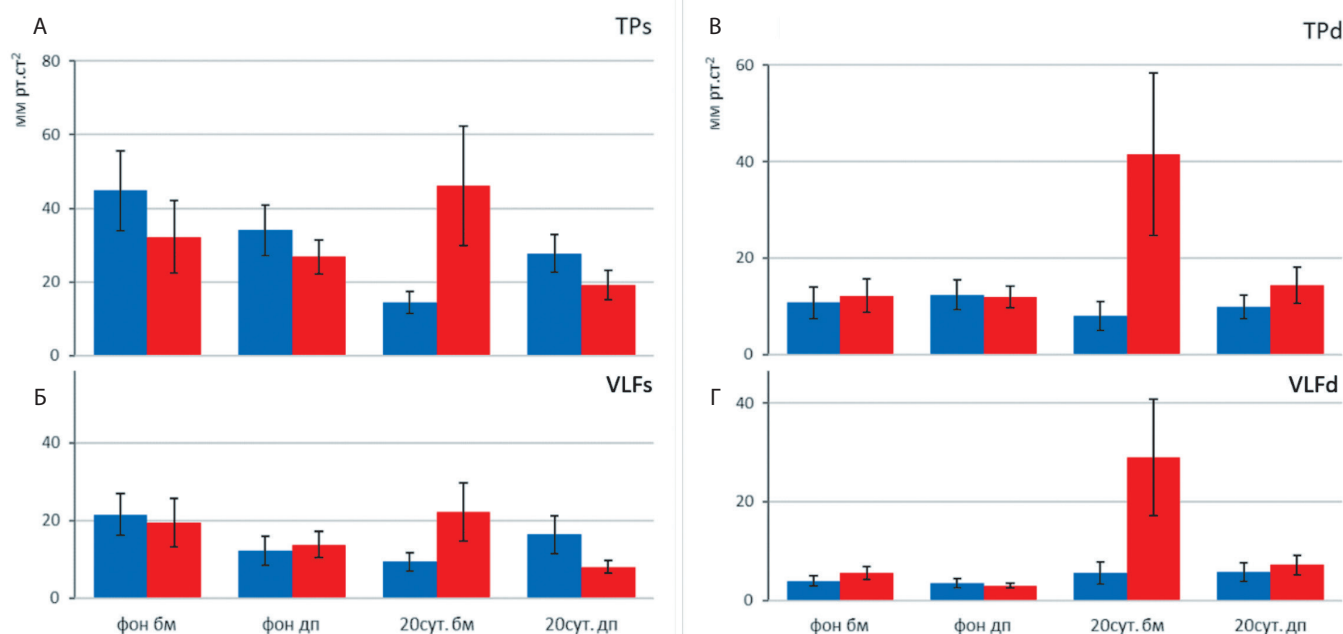


Рис. 1. Динамика variability артериального давления при последовательном измерении на двух приборах САКР. А – величина TPs (мм рт.ст²), Б – величина VLFs (мм рт.ст²), В – величина TPd (мм рт.ст²), Г – величина VLFd (мм рт.ст²). Красные столбцы – САКР, синие столбцы – САКР-і. Обозначения состояний: «фон бм» – фоновая запись без маски, «фон дп» – фоновая запись в условиях дыхательной пробы, «20сут. бм» – запись на 20-е сутки без маски, «20сут. дп» – запись на 20-е сутки в условиях дыхательной пробы.

рению АД в плечевой артерии по Короткову, вероятно, сглаживает реальные колебания периферического АД и может смазывать картину изменений variability периферического АД. Например, при исследованиях в условиях моделирования физиологических эффектов микрогравитации видно, что происходит снижение общей variability периферического систолического АД к 21 дню антиортостатического постельного режима при измерениях на приборе САКР. Подобных изменений не наблюдается при измерениях на приборе САКР-і (рис. 2 А, Б). Что-то подобное отмечали при сравнении приборов «Finometer Pro» и «EndoPAT» Jonathan R Linder с соавторами [13]. Однако, авторы этой работы считают, что основной проблемой, не позволяющей точно оценить variability АД на приборе «EndoPAT», является низкое разрешение оцифровки сигнала от датчика давления. Эта проблема также обсуждалась в работе на животных, где было показано, что для адекватной оценки variability АД у крыс и мышей требуется разрешение оцифровки сигнала близкое к 1000 Гц [8]. Еще одно объяснение различий в оценке variability АД на САКР и САКР-і может заключаться в том, что после старта измерений АД, в пальце происходит вытеснение крови из мягких тканей, соответственно происходит изменение фотосигнала, которое не обусловлено изменением артериального давления. Обычно такой эффект наблюдается не более 5 минут. САКР начинает измерения АД сразу после старта, поэтому АД может иметь тренд, который сказывается

на VLFs/d компоненте и, следовательно, общей мощности TP/d. В приборах нового поколения (САКР-і и другие) измерения начинаются через несколько минут после старта, когда этот эффект не оказывает значительного воздействия на результат измерений. Однако, в нашем случае измерения на приборе САКР проводили в непрерывном режиме в течение 8–9 мин. Это означает, что измерения с маской и последующее с управляемым дыханием начинались не ранее 5-й минуты работы пальцевой манжетки. Из рис. 2 видно, что именно на пробе с маской наблюдали особо выраженные различия в оценке variability АД, а никак не раньше, когда вышеописанный эффект должен был сказаться на измерениях АД.

Так как сам механизм приведения показателей пальцевого давления к эталонным измерениям АД в плечевой артерии по Короткову - очень важная задача и, безусловно, делает прибор более релевантным для использования не только в научных целях, но и в врачебной практике, сотрудники «ИНКАРТ» создали принципиально новый алгоритм такого сопоставления [14] на приборе «САКР-кардиотехника». Вероятно, в дальнейшем это позволит регистрировать данные о variability АД без потерь.

Заключение

Из представленных нами данных видно, что измерения на приборе САКР выявляют значимое снижение

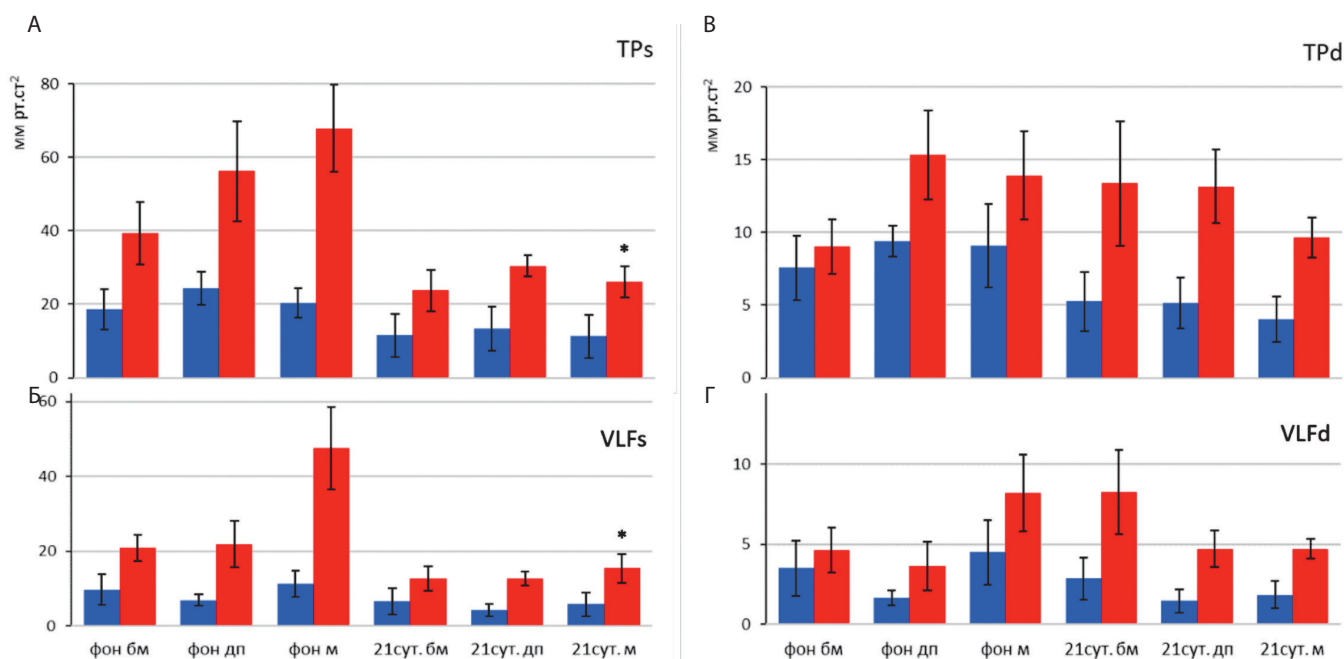


Рис. 2. Динамика variability артериального давления при параллельном измерении на двух приборах САКР. А – величина TP (мм рт.ст²), Б – величина VLFs (мм рт.ст²), В – величина TPd (мм рт.ст²), Г – величина VLFd (мм рт.ст²). Красные столбцы – САКР, синие столбцы – САКР-і. Обозначения состояний: «фон бм» – фоновая запись без маски, «фон дп» – фоновая запись в условиях дыхательной пробы, «фон м» – фоновая запись в спирометрической маске с произвольным дыханием, «21сут. бм» – запись на 21-е сутки без маски, «21сут. дп» – запись на 21-е сутки в условиях дыхательной пробы, «21сут. м» – запись на 21-е сутки в спирометрической маске с произвольным дыханием. Обозначения статистической значимости: * – $p < 0,05$ при попарном сравнении с фоновыми измерениями.

общей вариабельности АД вследствие длительной моделированной микрогравитации. Особенно значимо это проявилось при пробе с дыхательной маской (рис. 2, А). Причём основной вклад в изменения вариабельности периферического АД при моделированной микрогравитации вносит очень низкочастотная составляющая (VLFs) (рис. 2, В). Н. Strauss с соавторами обнаружили снижение VLFs у спонтанно гипертензивных крыс с предрасположенностью к инсультам и связывают это с нарушением регуляции тонуса сосудов [15]. Авторы отмечают, что именно VLF-компонента вариабельности АД может служить показателем предрасположенности к инсультам и не только у крыс, а также у собак и, вполне возможно, иметь прогностическое значение для оценки вероятности развития инсультов у человека. Наши результаты также говорят о большой важности адекватной оценки вариабельности АД с помощью неинвазивных приборов типа САКР для выявления и оценки преморбидных состояний, а также исследований адаптации при стрессе и в экстремальных условиях космических полетов.

Список литературы

- Kim H.G., Cheon E.J., Bai D.S., Lee Y.H., Koo B.H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig.* 2018; 15(3): 235–245. DOI: 10.30773/pi.2017.08.17
- Баевский Р.М., Лучицкая Е.С., Фунтова И.И., Черникова А.Г. Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях длительного космического полета. *Физиология человека.* 2013; 39(5): 42–46. DOI: 10.7868/S0131164613050044
- Руденко Е.А., Черепов А.Б., Баранов М.В., Лебедева М.А., Хлебникова Н.Н. Исследование вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при длительном пребывании в условиях ортостатической и антиортостатической гипокнезии. *Авиакосмическая и экологическая медицина.* 2020; 54(1): 31–37. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-31-37
- Хаютин В.М., Лукошкова Е.В. Колебания частоты сердечбиений: спектральный анализ. *Вестник аритмологии.* 2002; 26(9): 10–21.
- Goldstein D.S., Benthо O., Park M.Y., Sharabi Y. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp. Physiol.* 2011; 96(12): 1255–1261. DOI: 10.1113/expphysiol.2010.056259
- Casali KR, Schaan BD, Montano N, Massierer D, M F Neto F, Teló GH, Ledur PS, Reinheimer M, Sbruzzi G, Gus M. Correlation between Very Short and Short-Term Blood Pressure Variability in Diabetic-Hypertensive and Healthy Subjects. *Arq. Bras. Cardiol.* 2018; 110(2): 157–165. DOI: 10.5935/abc.20180020
- Носкин Л.А., Рубинский А.В., Марченко В.Н., Ламден Ю.А., Пивоваров В.В., Черепов А.Б. Полисистемная дифференциальная диагностика сопряжения внешнего дыхания и сердечно-сосудистого синхронизма у больных с различным профилем заболеваний. *Патогенез.* 2019; 17(3): 65–73. DOI: 10.25557/2310-0435.2019.03.65-73
- Bhatia V., Rarick K.R., Stauss H.M. Effect of the data sampling rate on accuracy of indices for heart rate and blood pressure variability and baroreflex function in resting rats and mice. *Physiol. Meas.* 2010; 31(9): 1185–1201. DOI: 10.1088/0967-3334/31/9/009
- Stauss H.M. Power spectral analysis in mice: What are the appropriate frequency bands? *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2007; 292(2): 902–903. DOI: 10.1152/ajpregu.00716.2006
- Peňáz, J. Instrument for the indirect continuous recording of blood pressure. *Patentová Listina.* 1969; 133: 205. (in Czech)
- Persson P.B. Modulation of cardiovascular control mechanisms and their interaction. *Physiol. Rev.* 1996; 76(1): 193–244. DOI: 10.1152/physrev.1996.76.1.193
- Castaldo R., Montesinos L., Melillo P., James C., Pecchia L. Ultra-short term HRV features as surrogates of short term HRV: a case study on mental stress detection in real life. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.* 2019; 19(1): 12. DOI: 10.1186/s12911-019-0742-y
- Linder J.R., Stauss H.M., Gindes H., Pierce G.L., Von Bergen N.H., Haynes W.G., Fiedorowicz J.G. Finger volume pulse waveforms facilitate reliable assessment of heart rate variability, but not blood pressure variability or baroreflex function. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2014; 14: 180. DOI: 10.1186/1471-2261-14-180
- Пивоваров В.В., Тихоненко В.М., Кормилицин А.Ю., Зайцев Г.К. Система «Кардиотехника-САКР» для измерения в каждом сердечном цикле истинного артериального давления в плече при его высокой вариабельности. *Поликлиника.* 2019; 1(1): 30–32.
- Stauss H.M., Petitto C.E., Rotella D.L., Wong B.J., Sheriff D.D. Very low frequency blood pressure variability is modulated by myogenic vascular function and is reduced in stroke-prone rats. *J. Hypertens.* 2008; 26(6): 1127–1137. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282fb81c8

References

- Kim H.G., Cheon E.J., Bai D.S., Lee Y.H., Koo B.H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig.* 2018; 15(3): 235–245. DOI: 10.30773/pi.2017.08.17
- Baevskii R.M., Luchitskaya E.S., Funtova I.I., Chernikova A.G. [Study of the autonomic regulation of blood circulation during a long-term space flight]. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 2013; 39(5): 486–495. DOI: 10.7868/S0131164613050044 (in Russian)
- Rudenko E.A., Cherepov A.B., Baranov M.V., Lebedeva M.A., Khlebnikova N.N. [Studies of cardiovascular system autonomic regulation during extended exposure to horizontal and tilted bed rest and head-down tilt bed rest]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina [Aerospace and Environmental Medicine]*. 2020; 54(1): 31–37. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-31-37 (in Russian).
- Khayutin V.M., Lukoshkova E.V. [Heart rate oscillations: spectral analysis]. *Vestnik Aritmologii [Journal of Arrhythmology]*. 2002; 26(9): 10–21 (in Russian).
- Goldstein D.S., Benthо O., Park M.Y., Sharabi Y. Low-frequency power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflows by baroreflexes. *Exp. Physiol.* 2011; 96(12): 1255–1261. DOI: 10.1113/expphysiol.2010.056259
- Casali KR, Schaan BD, Montano N, Massierer D, M F Neto F, Teló GH, Ledur PS, Reinheimer M, Sbruzzi G, Gus M. Correlation between Very Short and Short-Term Blood Pressure Variability in Diabetic-Hypertensive and Healthy Subjects. *Arq. Bras. Cardiol.* 2018; 110(2): 157–165. DOI: 10.5935/abc.20180020
- Noskin L. A., Rubinskiy A.V., Marchenko V. N., Lamden Yu. A., Pivovarov V. V., Cherepov A.B. [Multisystemic differential diagnosis of external respiration and cardiovascular synchronism in patients with different disease profiles]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2019; 17(3): 65–73. DOI: 10.25557/2310-0435.2019.03.65-73(in Russian)
- Bhatia V., Rarick K.R., Stauss H.M. Effect of the data sampling rate on accuracy of indices for heart rate and blood pressure variability and baroreflex function in resting rats and mice. *Physiol. Meas.* 2010; 31(9): 1185–1201. DOI: 10.1088/0967-3334/31/9/009
- Stauss H.M. Power spectral analysis in mice: What are the appropriate frequency bands? *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2007; 292(2): 902–903. DOI: 10.1152/ajpregu.00716.2006
- Peňáz, J. Instrument for the indirect continuous recording of blood pressure. *Patentová Listina.* 1969; 133: 205. (in Czech)
- Persson P.B. Modulation of cardiovascular control mechanisms and their interaction. *Physiol. Rev.* 1996; 76(1): 193–244. DOI: 10.1152/physrev.1996.76.1.193
- Castaldo R., Montesinos L., Melillo P., James C., Pecchia L. Ultra-short term HRV features as surrogates of short term HRV: a case study on mental stress detection in real life. *BMC Med. Inform. Decis. Mak.* 2019; 19(1): 12. DOI: 10.1186/s12911-019-0742-y
- Linder J.R., Stauss H.M., Gindes H., Pierce G.L., Von Bergen N.H., Haynes W.G., Fiedorowicz J.G. Finger volume pulse waveforms facilitate reliable assessment of heart rate variability, but not blood pressure variability or baroreflex function. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2014; 14: 180. DOI: 10.1186/1471-2261-14-180

-
14. Pivovarov V.V., Tikhonenko V.M., Kormilitsyn A.Y., Zaitsev G.K. [The system «Cardiotechnika-SAKR» for measuring in each heart cycle the true blood pressure in the shoulder with high variability]. *Poliklinika [Polyclinic]*. 2019; 1(1): 30–32. (in Russian)
15. Stauss H.M., Petitto C.E., Rotella D.L., Wong B.J., Sheriff D.D. Very low frequency blood pressure variability is modulated by myogenic vascular function and is reduced in stroke-prone rats. *J. Hypertens.* 2008; 26(6): 1127–1137. DOI: 10.1097/HJH.0b013e3282fb81c8

Сведения об авторах:

Черепов Антон Борисович — научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; научный сотрудник лаборатории космической патофизиологии Научно-исследовательского института космической медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Федерального медико-биологического агентства России; <https://orcid.org/0000-0002-3757-5292>

Алинова Ирина Борисовна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; заведующая лабораторией космической патофизиологии Научно-исследовательского института космической медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Федерального медико-биологического агентства России; <https://orcid.org/0000-0001-5294-7317>

Хлебникова Надежда Николаевна — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории общей патологии нервной системы Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <https://orcid.org/0000-0002-0245-305X>

Лебедева Марина Андреевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; ведущий научный сотрудник лаборатории космической патофизиологии Научно-исследовательского института космической медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Федерального медико-биологического агентства России; <https://orcid.org/0000-0002-4601-8762>

Зайцев Глеб Константинович — инженер-исследователь НАО Институт кардиологической техники «Инкарт»

Пивоваров Владимир Вячеславович — доктор технических наук, заместитель директора по науке НАО Общества Институт кардиологической техники «Инкарт»

Баранов Михаил Викторович — кандидат медицинских наук, директор Научно-исследовательского института космической медицины Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита» Федерального медико-биологического агентства России; <https://orcid.org/0000-0002-6300-6392>

Шпаков Алексей Васильевич — кандидат биологических наук, заведующий лабораторией физиологических эффектов гипокинетических воздействий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем Российской академии наук