

УДК 612.273.2:612.179

DOI 10.34014/2227-1848-2021-4-132-142

КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ОСТРОЙ ГИПОКСИИ

М.И. Бочаров, А.С. Шилов

ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН»,
г. Сыктывкар, Россия

Несмотря на имеющиеся многочисленные сведения о деятельности сердца при острой нормобарической гипоксии (ОНГ), данные о ведущих компонентах ЭКГ и критериях прогнозирования их отклонений при разной степени ОНГ и в зависимости от ее длительности отсутствуют.

Цель работы – определить ведущие компоненты ЭКГ и зависимости их отклонений от исходных величин при разных степенях острой нормобарической гипоксии и в зависимости от её длительности у здорового человека.

Материалы и методы. С помощью ЭКГ (7 параметров) и оксигеметрии определены сдвиги их показателей у мужчин (18–26 лет) двух групп при легкой (14,5 % O_2 , $n_1=30$) и средней (12,3 % O_2 , $n_2=29$) ОНГ в течение 20 мин. Материал обработан с помощью программного пакета Statistica 10.0. Определяли нормальность распределения, применяли факторный анализ, корреляцию, регрессию.

Результаты. При всех степенях ОНГ ведущий фактор включал QT, T₁II и (с одним исключением) RR. При легкой ОНГ 1-й фактор на 5-й мин воздействия дополняется P₁II, а при средней ОНГ на 20-й мин – P₁II. Вторым по весомости фактор при легкой ОНГ на 5-й и 20-й мин определяется V_{A_R} и RII, на 10-й мин – V_{A_R}, а при средней ОНГ на 5-й мин – P₁II, на 10-й мин – RII и V_{A_R}, на 20-й мин – V_{A_L}. Показано, что при легкой ОНГ от исходных данных достоверно зависят отклонения P₁II, RII, V_{A_R} и RR, при средней ОНГ такая зависимость наблюдается для RR и QT на 5-й и 10-й мин, для RII на 10-й и 20-й мин и для P₁II на 20-й мин.

Выводы. Основными маркерами биоэлектрических процессов сердца при ОНГ являются QT, T₁II и RR, остальные параметры отличаются вариабельностью. Возможность прогноза отклонений параметров ЭКГ по их исходным величинам зависит от степени ОНГ.

Ключевые слова: человек, гипоксия, оксигеметрия, электрокардиография, факторный, корреляционный, регрессионный анализы.

Введение. Исследования влияния острой нормобарической гипоксии (ОНГ) на деятельность системы кровообращения человека до сих пор сохраняют своё научное и прикладное значение. Подтверждением этому является все большее применение моделирования гипоксии в физиологии и медицине [1–8]. Обосновываются режимы применения интервальных нормобарических гипоксических тренировок в спортивной практике и профилактике [9], в клинике при разной патологии [10]. При этом особое место отводится изучению ответной реакции деятельности сердца и его вегетативного контроля в условиях острой гипоксии [1, 2, 5].

Одним из распространенных и востребованных методов исследования является электрокардиография (ЭКГ) [11]. В отдельных случаях диагностики состояния миокарда исполь-

зуются те или иные параметры ЭКГ: вольтаж комплекса QRS, Афинский счетчик (QRS score), зубцы S, T, сегмент ST, интервал QT, его скорректированное значение (QTc) и дисперсия, а также вариабельность сердечного ритма (BCP) [12–16], которые не всегда отличаются достаточной информативностью. Вместе с этим практически отсутствуют сведения о доминирующих компонентах ЭКГ в общей картине изменчивости организации биоэлектрических процессов сердца и информативных критериях прогнозирования их отклонений у здорового человека при разной степени острой гипоксии и развивающейся гипоксемии.

Цель исследования. Математически определить ведущие параметры (критерии) ЭКГ и зависимости их отклонений от исходных величин при разной степени острой нормо-

барической гипоксии и в зависимости от её длительности у здорового человека.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие две группы ($n_1=30$ и $n_2=29$) здоровых молодых мужчин (18–26 лет). Исследования проводились в зимний период (январь-февраль) с интервалом 1 год между группами. Ранее нами было показано, что испытуемые обеих групп в среднем не отличались по возрасту, длине и массе тела, артериальному давлению крови [17].

Процедура исследования включала регистрацию параметров ЭКГ при относительном покое в положении лежа на кушетке, затем при дыхании воздухом, обедненным кислородом, в течение 20 мин. В первой серии ОНГ соответствовала дыханию воздухом с содержанием кислорода $14,5 \pm 0,16$ %, а во второй серии – $12,3 \pm 0,14$ %. В первом случае выраженность ОНГ оценивалась как легкая, во втором – как средняя степень гипоксии [18].

Обеднение воздуха O_2 осуществлялось с помощью модифицированного (свидетельство на полезную модель № 24098 от 27.07.2002) кислородного концентратора Onyx PSA Oxygen Generator (AirSer Corporation, США). Содержание O_2 в газовой смеси определялось анализатором OxiQuant B (EnviteC, Германия). Для контроля за изменением оксигенации крови (SpO_2 %) при тестовом воздействии ОНГ использовался портативный пульсоксиметр NONIN8500 (NONIN Medical, Inc., США).

В покое, на 5, 10 и 20-й мин ОНГ регистрировалась ЭКГ на компьютеризованном комплексе «Кардиометр-МТ» (ТОО «Микард», Санкт-Петербург, Россия) с автоматической обработкой и усреднением за 24-секундный период измерения. ЭКГ измерялась в 3 стандартных (по Эйнтховену), 3 усиленных (по Гольдбергу) и 6 грудных (по Вильсону) отведениях. Анализировались следующие параметры: амплитуды P_{1II} , R_{1II} , T_{1II} (мм) и интервалы RR, QT (с). Дополнительно рассчитывалась суммарная биоэлектрическая активность левого ($BA_L = R_{V6} + S_{avf} + S_{V2}$) и правого ($BA_R = S_{V6} + R_{avf} + R_{V2}$) отделов сердца [19].

Перед началом исследований все испытуемые были ознакомлены с характером их проведения и дали письменное согласие на участие. Протокол исследования соответствовал

этическим медико-биологическим нормам, изложенным в Хельсинкской декларации, а также был одобрен биоэтическим комитетом ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Первичный материал обработан с помощью лицензионной программы Statistica 10.0 (StatSoft Inc., США). По тесту Колмогорова – Смирнова и Лиллифорса установлена подчиненность параметров закону нормального распределения. Показанные в тексте численные значения SpO_2 % заимствованы из нашей ранней работы [17] и представлены в виде средней арифметической и её ошибки ($M \pm m$), а также средней разности отклонений с доверительным интервалом ($dM \pm t_{md}$). С целью выявления ведущих компонент ЭКГ использован множественный факторный анализ с указанием процента вклада каждого фактора в общую дисперсию (S^2). Взаимосвязь между переменными определяли с помощью коэффициента корреляции Пирсона (r), а для установления коэффициента регрессии (b) и уровня значимости (p) применяли графический метод парной линейной регрессии.

Результаты и обсуждение. Одна из важных задач заключалась в оценке изменений факторной структуры организации биоэлектрических процессов сердца в разные периоды легкой ($14,5$ % O_2) и средней ($12,3$ % O_2) степени ОНГ и при соответствующих сдвигах развивающейся гипоксемии.

Установлено, что на 5, 10 и 20-й мин легкой степени ОНГ ($14,5$ % O_2) SpO_2 уменьшалась относительно исходной на $4,8 \pm 1,05$, $6,0 \pm 1,54$ и $6,3 \pm 1,49$ абс. % соответственно [17]. При этом, как видно из табл. 1, суммарный вклад объясненной дисперсии (Σ % S^2) трех факторов по мере действия ОНГ увеличивался с 78 до 86 %.

Описание факторной структуры отклонений параметров ЭКГ показало (табл. 1), что на 5-й мин легкой ОНГ ведущий по весомости 1-й фактор ЭКГ включал QT, P_{1II} и T_{1II} . Вторым по весомости фактор определялся суммарной BA_R и R_{1II} . Третий фактор описывался только суммарной BA_L . На 10-й мин легкой степени ОНГ (табл. 1) ведущий по весомости фактор обуславливался интервалами QT и RR. Вторым фактор был связан с суммарной BA_S , а третий не имел значимых связей. К 20-й мин ОНГ

1-й фактор сильнее всего был связан с QT, за тем с T₁II и RR. Второй фактор определялся суммарной BA_R и RII, а 3-й ограничивался P₁II.

Очевидно, что по мере действия даже легкой ОНГ (14,5 % O₂), соответствующей компенсированной степени выраженности гипоксии [18, 20], наблюдаемые изменения содержания факторов ЭКГ свидетельствуют о динамическом характере перестройки регуляции биоэлектрических процессов сердца.

Так, вначале (5-я мин) гипоксического воздействия ведущим звеном по весомости являются отклонения электрической систолы желудочков, деполяризации правого предсердия и быстрой конечной реполяризации желудочков миокарда, затем – суммарная ВА правого отдела сердца и максимальная деполяризация желудочков, а с малой весомостью – суммарная ВА левого отдела сердца.

В середине (10-я мин) легкой ОНГ ведущим звеном является отклонение электрической систолы желудочков и длительности кар-

диоцикла, затем, с меньшей весомостью, – суммарная ВА правого отдела сердца.

В конце (20-я мин) гипоксического воздействия ведущим звеном выступает отклонение длительности электрической систолы желудочков, конечной реполяризации желудочков миокарда и длительности кардиоцикла, 2-м по весомости фактором – суммарная ВА правого отдела сердца и максимальная деполяризация желудочков, а 3-м фактором – деполяризация правого предсердия.

Важно отметить, что независимо от периода действия легкой степени ОНГ наибольшее значение в ведущем (первом) факторе (табл. 1) имеет отклонение длительности электрической систолы желудочков миокарда, а во второстепенном (втором) факторе – суммарная биоэлектрическая активность правого отдела сердца и отчасти максимальная деполяризация желудочков. Несколько меньшую роль играют отклонения амплитуды деполяризации правого предсердия и интервала RR.

Таблица 1
Table 1

Факторные структуры компонентов ЭКГ по разности их отклонений при разной степени острой нормобарической гипоксии

Factorial structures of ECG components according to the difference between their standard deviations at various stages of acute normobaric hypoxia

Параметр Parameter	Факторные нагрузки Factor loadings								
	ОНГ 14,5 % O ₂ Acute normobaric hypoxia 14.5 % O ₂ (n=30)								
	5 мин 5 min			10 мин 10 min			20 мин 20 min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
P ₁ II	0,728	0,053	-0,399	0,597	0,180	0,642	0,446	0,202	0,819
RII	-0,233	-0,874	-0,274	-0,631	-0,671	0,297	-0,539	-0,787	0,176
T ₁ II	-0,719	0,272	-0,047	-0,630	0,565	0,108	-0,836	0,225	-0,155
BA _L	-0,094	0,346	-0,885	-0,143	0,641	0,584	-0,629	0,396	0,431
BA _R	-0,245	-0,915	-0,164	-0,576	-0,701	0,330	-0,545	-0,795	0,151
RR	-0,681	0,432	-0,113	-0,720	0,414	-0,358	-0,769	0,521	-0,121

Параметр Parameter	Факторные нагрузки Factor loadings								
	ОНГ 14,5 % O ₂ <i>Acute normobaric hypoxia 14.5 % O₂ (n=30)</i>								
	5 мин 5 min			10 мин 10 min			20 мин 20 min		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
QT	-0,882	-0,063	0,090	-0,878	0,215	0,127	-0,889	0,123	0,158
% S ²	34,5	28,4	15,1	39,9	27,4	15,8	46,6	25,5	13,9
Σ % S ²	78,0			83,1			86,0		
Параметр Parameter	ОНГ 12,3 % O ₂ <i>Acute normobaric hypoxia 12.3 % O₂ (n=29)</i>								
P _{II}	0,356	-0,852	0,001	0,615	0,059	-0,568	0,818	0,279	-0,028
R _{II}	-0,161	0,281	0,918	-0,042	-0,867	-0,060	-0,592	-0,095	0,657
T _{II}	-0,787	0,098	-0,073	-0,671	-0,214	-0,206	-0,757	-0,140	-0,302
BA _L	-0,350	-0,619	0,207	-0,407	-0,164	-0,675	-0,314	0,777	-0,404
BA _R	-0,499	-0,387	0,365	0,296	-0,735	0,261	-0,402	0,671	0,498
RR	-0,743	0,078	-0,092	-0,909	-0,006	-0,056	-0,893	-0,143	-0,060
QT	-0,879	-0,084	-0,315	-0,882	0,081	0,221	-0,880	0,005	-0,231
% S ²	35,3	19,4	16,2	38,4	19,6	13,5	48,9	16,9	14,2
Σ % S ²	70,9			71,5			79,9		

Примечание. Жирным шрифтом выделены факторные нагрузки больше 0,7; % S² – процент объясненной дисперсии.

Note. Factor loadings more than 0.7 are highlighted in bold; % S² is the percentage of explained variance.

Средняя степень ОНГ (12,3 % O₂), естественно, вызывала большее уменьшение SpO₂: 5-я мин – на 11,1±1,51; 10-я мин – на 15,3±1,64; 20-я мин – на 19,7±1,96 абс. % [17]. На этом фоне суммарный вклад объясненной дисперсии нарастал с увеличением длительности действия ОНГ, но был меньше, чем при легкой степени гипоксии (табл. 1). Характерно также, что в факторной структуре параметров ЭКГ в середине и в конце воздействия

ОНГ третий фактор не имел значимых внутренних связей.

Рассмотрение факторов отклонения показателей ЭКГ на 5-й мин средней степени ОНГ показало, что с ведущим (первым) фактором связаны (в порядке весомости) QT, T_{II} и RR. Второй фактор определялся только P_{II}, а третий – R_{II} (табл. 1). На 10-й мин ОНГ ведущим фактором выступали интервалы RR и QT, а вторым по весомости – R_{II} и BA_R. На 20-й мин

действия гипоксии 1-й фактор включал такие параметры отклонения, как RR, QT, P₁II и T₁II, а 2-й фактор – V_AL.

Таким образом, судя по выраженности уменьшения оксигенации крови, средняя степень ОНГ (12,3 % O₂), характеризующаяся как субкомпенсированная [18, 20], сопровождается во всех периодах заметным уменьшением факторной нагрузки (% S²) второго по весомости фактора относительно легкой ОНГ, а значит, и уменьшением его влияния на общую картину отклонений параметров ЭКГ. Также важно отметить, что по мере развития гипоксемии (на 10-й и 20-й мин), выраженной в уменьшении оксигенации артериальной крови до 78,3–82,6 абс. %, 3-й фактор вообще выпадает из описания, так как ни один из наблюдаемых параметров ЭКГ не образует значимых связей (табл. 1).

Описание факторов отклонения параметров ЭКГ в условиях средней степени ОНГ позволяет считать, что на 5-й мин ведущую роль (1-й фактор) в организации биоэлектрических процессов сердца играют отклонения электрической систолы желудочков, затем – конечной реполяризации желудочков миокарда и общей длительности кардиоинтервала. Второстепенное (2-й фактор) значение имеет деполяризация правого предсердия, еще меньшее (3-й фактор) – максимальная деполяризация желудочков.

На 10-й мин средней степени ОНГ ведущую (1-й фактор) роль играют отклонения общей длительности кардиоинтервала и электрической систолы желудочков миокарда, второстепенную (2-й фактор) – максимальная деполяризация желудочков и суммарная V_A правого отдела сердца.

На 20-й мин ОНГ ведущую (1-й фактор) роль играют (в порядке весомости) отклонения общей длительности кардиоинтервала, электрической систолы желудочков, деполяризации правого предсердия и конечной реполяризации желудочков, менее значимую (2-й фактор) – отклонения суммарной V_A левого отдела сердца.

Примечательно, что во всех периодах действия средней степени ОНГ отклонения общей длительности кардиоцикла, электрической систолы желудочков и отчасти конечной реполяризации желудочков могут рассматри-

ваться как доминирующие компоненты в организации биоэлектрических процессов сердца. При этом только в отдельные периоды ОНГ меньшей степенью доминирования обладают амплитуды отклонений деполяризации правого предсердия и желудочков миокарда.

Предполагается, что обозначенные выше наиболее весомые отклонения параметров ЭКГ в факторной структуре ответа на легкую и среднюю степени острой гипоксии целесообразно использовать как маркеры в описании изменчивой картины организации биоэлектрических процессов сердца при развивающейся гипоксемии.

С целью определения возможности прогнозирования величины отклонений параметров ЭКГ при разной степени ОНГ от их исходного уровня были проведены расчеты коэффициентов парной корреляции и линейной регрессии для разных периодов острой гипоксии (табл. 2).

Как видно из табл. 2, судя по коэффициентам корреляции (r), во всех периодах обоих гипоксических воздействий разность отклонений зубца T₁II и суммарной V_AL слабо зависит (p>0,05) от их исходных значений. Также при легкой степени ОНГ (14,5 % O₂) не обнаруживались статистически значимые связи (p>0,05) для интервала QT, а при средней ОНГ (12,3 % O₂) – для V_AR (p>0,05). Очевидно, возможные отклонения этих параметров при данных гипоксических условиях не могут определяться по их исходным абсолютным значениям.

Вместе с этим во всех периодах легкой ОНГ (14,5 % O₂) обнаруживаются высокие уровни связи отклонений зубцов P₁II, RII, суммарной V_AR и интервала RR от исходных значений (табл. 2). При этом коэффициент регрессии (b) заметно увеличивается к 20-й мин гипоксического воздействия только для зависимостей V_AR – dV_AR и RR – dRR, а для P₁II – dP₁II уменьшается.

Для средней степени ОНГ (12,3 % O₂) отклонение зубца P₁II статистически значимо коррелировало с исходной величиной только на 20-й мин, а зубца RII – на 10-й и 20-й мин гипоксического воздействия. Отклонения интервалов RR и QT значимо коррелировали с исходными значениями на 5-й и 10-й мин острой гипоксии (табл. 2). Характерно, что ко-

эфициенты регрессии для зависимостей $P_{1II} - dP_{1II}$ и $RII - dRII$ заметно увеличивались к концу ОНГ, а для $RR - dRR$ и $QT - dQT$ – к середине действия гипоксии.

Таблица 2
Table 2

Коэффициенты корреляции (r) и линейной регрессии (b) отклонений параметров ЭКГ в разные периоды острой нормобарической гипоксии относительно исходных значений
Coefficients of correlation (r) and linear regression (b) of ECG parameter deviation at different stages of acute normobaric hypoxia relative to the initial parameters

Параметр Parameter	Период гипоксических воздействий Duration of acute normobaric hypoxia					
	5 мин 5 min		10 мин 10 min		20 мин 20 min	
	r; b	p	r; b	p	r; b	p
$P_{1II} - dP_{1II}$, mm	-0,61; -0,520	0,001	-0,54; -0,460	0,002	-0,55; -0,480	0,001
	-0,34; -0,255	0,065	-0,27; -0,225	0,148	-0,45; -0,366	0,014
$RII - dRII$, mm	-0,54; -0,123	0,002	-0,50; -0,125	0,004	-0,57; -0,126	0,001
	-0,31; -0,039	0,099	-0,40; -0,076	0,030	-0,49; -0,098	0,007
$T_{1II} - dT_{1II}$, mm	-0,24; -0,084	0,191	0,07; 0,027	0,715	-0,13; -0,059	0,501
	-0,11; -0,055	0,554	-0,16; -0,074	0,407	-0,36; -0,222	0,052
$BA_L - dBA_L$, mm	-0,33; -0,105	0,073	-0,16; -0,056	0,386	-0,11; -0,035	0,571
	-0,30; -0,106	0,107	-0,36; -0,123	0,053	-0,05; -0,015	0,794
$BA_R - dBA_R$, mm	-0,64; -0,134	0,001	-0,47; -0,112	0,008	-0,63; -0,161	0,001
	-0,12; -0,025	0,526	-0,07; -0,018	0,702	-0,11; -0,025	0,573
$RR - dRR$, s	-0,48; -0,303	0,006	-0,56; -0,310	0,001	-0,44; -0,328	0,015
	-0,45; -0,181	0,015	-0,63; -0,313	0,001	-0,32; -0,182	0,087
$QT - dQT$, s	-0,15; -0,063	0,432	-0,18; -0,088	0,348	-0,22; -0,220	0,242
	-0,41; -0,161	0,028	-0,44; -0,195	0,016	-0,28; -0,147	0,136

Примечание. Верхняя строка – при 14,5 % O_2 , нижняя строка – при 12,3 % O_2 .

Note. The upper line is at 14.5 % O_2 , the lower line is at 12.3 % O_2 .

На основании статистически установленных связей предполагается, что для всех периодов действия легкой степени ОНГ прогноз отклонений деполяризации правого предсердия и желудочков миокарда, суммарной биоэлектрической активности правого отдела сердца и интервала RR может осуществляться по их исходным абсолютным величинам. Чем больше исходная величина соответствующего параметра, тем больше нарастает её уменьшение при легкой степени ОНГ. Однако диапазон такой обратной линейной зависимости весьма ограничен, так как при компенсированной степени выраженности гипоксии, вызывающей уменьшение оксигенации крови до $91,6 \pm 0,76\%$ O_2 и параметров ЭКГ, как было показано ранее [17], включает только суммарные значения биоэлектрической активности правого и левого отделов сердца.

Для средней ОНГ ($12,3\%$ O_2), вызывающей уменьшение оксигенации крови до $78,3 \pm 0,96\%$ O_2 и большинства наблюдаемых параметров ЭКГ [17], прогноз отклонений биоэлектрической активности сердца носит избирательный характер в зависимости от периода действия гипоксического фактора. Так, только на 20-й мин действия гипоксии исходная величина амплитуды деполяризации правого предсердия в обратной зависимости прогнозирует её уменьшение, на 10-й и 20-й мин таким прогнозирующим параметром является максимальная деполяризация желудочков миокарда, на 5-й и 10-й мин – интервалы RR и электрической систолы желудочков.

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что по мере 20-минутного действия легкой и средней степени острой нормобарической гипоксии изменяется общая картина факторов, определяющих организацию биоэлектрических процессов сердца. Во всех случаях ведущим компонентом выступает длительность электрической систолы желудочков миокарда, с меньшей относительной весомостью – общая дли-

тельность кардиоцикла и амплитуда реполяризации желудочков. Предполагается, что именно эти компоненты ЭКГ могут выступать основными маркерами в описании изменчивой картины биоэлектрических активности сердца в разные периоды компенсированной и субкомпенсированной гипоксии.

Очевидно также, что абсолютные исходные значения наблюдаемых параметров ЭКГ могут использоваться для предсказания их количественных изменений у здорового человека при легкой и средней степени острой гипоксии, что может иметь особое значение для оптимизации планирования индивидуального протокола профилактического или тренирующего режимов нормобарических гипоксических воздействий.

Заключение. Установлено, что при легкой ($14,5\%$ O_2) и средней ($12,3\%$ O_2) степени ОНГ ведущими компонентами в факторной структуре параметров ЭКГ является интервал QT, амплитуда T_1II и с меньшей встречаемостью – интервал RR. Другие компоненты ЭКГ (P_1II , RII , VA_R , VA_L) отличаются разной весомостью вклада в нагрузку факторов в отдельные периоды обоих гипоксических воздействий. Предполагается, что отклонения параметров QT, T_1II и RR можно рассматривать как основные маркеры при оценке биоэлектрических процессов сердца в разные периоды компенсированной и субкомпенсированной гипоксии, а P_1II , RII , VA_R , VA_L – как дополнительные.

Выявленные обратные зависимости (корреляции и регрессии) отклонений P_1II , RII , VA_R , и RR ЭКГ от их исходных величин во все периоды легкой степени ОНГ, отклонений P_1II – на 20-й мин, RII – на 10-й и 20-й мин, RR и QT – на 5-й и 10-й мин для средней степени ОНГ могут быть использованы как критерии прогноза их количественных изменений в аналогичных условиях выраженности действия гипоксии и развивающейся гипоксемии у человека.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Трошенкина О.В., Мензоров М.В., Шутов А.М., Балыкин М.В., Пупырева Е.Д. Электрическая стабильность миокарда при острой нормобарической гипоксии у здоровых людей. Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2012; 99 (3): 41–45.
2. Zhang D., She J., Zhang Z., Yu M. Effects of acute hypoxia on heart rate variability, sample entropy and cardiorespiratory phase synchronization. Biomed. Eng. Online. 2014; 13 (73). DOI: 10.1186/1475-925X-13-73.
3. Coustet B., Lhuissier F.J., Vincent R., Richalet J.-P. Electrocardiographic changes during exercise in acute hypoxia and susceptibility to severe high-altitude illnesses. Circulation. 2015; 131: 786–794. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013144.
4. Siebenmann C., Lundby C. Regulation of cardiac output in hypoxia. Scand. J. Med. Sci. Sports. 2015; 25 (4): 53–59. DOI: 10.1111/sms.12619.
5. Giles D., Kelly J., Draper N. Alterations in autonomic cardiac modulation in response to normobaric hypoxia. European journal of sport science. 2016; 16 (8): 1023–1031.
6. Ключникова Е.А., Аббазова Л.В., Лоханникова М.А., Ананьев С.С., Павлов Д.А., Балыкин М.В. Влияние прерывистой нормобарической гипоксии на системную гемодинамику, биохимический состав крови и физическую работоспособность лиц пожилого возраста. Ульяновский медико-биологический журнал. 2017; 4: 155–163.
7. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Деадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. СПб.: Политехника-принт; 2018. 548.
8. Алексеева Т.М., Ковзелев П.Д., Топузова М.П., Сергеева Т.В., Трезуб П.П. Гиперкапнически-гипоксические дыхательные тренировки как потенциальный способ реабилитационного лечения пациентов, перенесших инсульт. Артериальная гипертензия. 2019; 25 (2): 134–142.
9. Волков Н.И. Прерывистая гипоксия – новый метод тренировки, реабилитации и терапии. Теория и практика физической культуры: научно-теоретический журнал. 2000; 7: 20–23.
10. Navarrete-Opazo A., Mitchell G.S. Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2014; 307: 1181–1197. DOI:10.1152/ajpregu.00208.2014.
11. Аронов Д.М., Лупанов В.П. Функциональные пробы в кардиологии. М.: МЕДпресс-информ; 2003. 296.
12. Michaelides A.P., Tousoulis D., Raftopoulos L.G., Antoniadis C., Tsiachris D., Stefanadis C.I. The impact of novel exercise criteria and indices for the diagnostic and prognostic ability of exercise testing. Inter. J. Cardiol. 2010; 143: 119–123.
13. Салтыкова М.М., Миллер Т.Ф., Боровик А.С., Попов Д.В., Виноградова О.Л. Изменения амплитуды зубцов комплекса QRS на ЭКГ и легочной вентиляции при нагрузочном тестировании практически здоровых лиц. Функциональная диагностика. 2013; 1: 32–38.
14. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. М.: Книга по требованию; 2014. 295.
15. Прекина В.И., Чернова И.Ю., Есина М.В., Ефремова О.Н. Анализ интервала QT у больных с ишемическим инсультом. Практическая медицина. 2019; 17 (2): 80–83.
16. Осипов В.Н., Хазова Е.В., Ослопова Ю.В., Булашова О.В., Кривоносова С.Ш., Марданова Н.Ф., Ханафиева А.Л., Ослопова Д.В. Стресс-индуцированная неишемическая кардиомиопатия (синдром «такоубо») – общность происхождения и неоднородность проявлений. Клиническое наблюдение. Практическая медицина. 2019; 17 (2): 145–152.
17. Бочаров М.И., Шилов А.С. Организация биоэлектрических процессов сердца при разной степени острой нормобарической гипоксии у здоровых людей. Экология человека. 2020; 12: 28–36.
18. Лукьянова Л.Д. Сигнальные механизмы гипоксии: монография. М.: РАН; 2019. 215.
19. Турбасов В.Д., Артамонова Н.П., Нечаева Э.И. Оценка биоэлектрической активности сердца в условиях антиортостатической гипокинезии с использованием общепринятых и скорректированных ортогональных отведений ЭКГ. Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1990; 24 (1): 42–44.
20. Ахундов Р.А., Ахундова Х.Р. Энергетические механизмы окислительного стресса, эндогенная и экзогенная гипоксия. Биомедицина. 2009; 3: 3–9.

Авторский коллектив

Бочаров Михаил Иванович – доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник отдела сравнительной кардиологии ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН». 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24; e-mail: bocha48@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6918-5523>.

Шилов Александр Сергеевич – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела сравнительной кардиологии ФГБУН ФИЦ «Коми научный центр Уральского отделения РАН». 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 24; e-mail: shelove@list.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0520-581X>.

Образец цитирования

Бочаров М.И., Шилов А.С. Критерии прогноза биоэлектрических процессов сердца человека при разной степени острой гипоксии. Ульяновский медико-биологический журнал. 2021; 4: 132–142. DOI: 10.34014/2227-1848-2021-4-132-142.

CRITERIA FOR PREDICTING BIOELECTRICAL PROCESSES IN THE HUMAN HEART UNDER VARIOUS STAGES OF ACUTE HYPOXIA

M.I. Bocharov, A.S. Shilov

Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktывkar, Russia

Despite much available information on the heart activity under acute normobaric hypoxia (ANH), there are no data on the leading ECG components and the criteria for predicting their deviations at various stages of ANH and depending on its duration.

The aim of the paper is to determine the leading ECG components and the dependence of their deviations on the initial parameters at different stages of acute normobaric hypoxia and depending on its duration in a healthy person.

Materials and Methods. The shifts in parameter indicators were determined in two groups of men (aged 18–26) under 20-minute mild (14.5 % O₂, n₁=30) and medium (12.3 % O₂, n₂=29) ANH. During the study the authors used 7 ECG parameters and oximetry. Statistica 10.0 software package was used for data processing. The authors determined normality of distribution, they also used factor analysis, correlation, and regression.

Results. For all ANH degrees, the leading factor included QT, T₁II, and (with one exception) RR. In case of mild ANH, the 1st factor was supplemented by P₁II at the 5th minute of exposure, and in case of medium ANH at the 20th minute. The second most important factor in case of mild ANH was determined by BA_R and RII at the 5th and 20th min and by BA_R at the 10th min. In case of medium ANH it was supplemented by P₁II at the 5th min, by RII and BA_R at the 10th min, and by BA_L at the 20th min. It was shown that in case of mild ANH P₁II, RII, BA_R, and RR deviations reliably depend on the initial parameters; for medium ANH, such dependence is observed for RR and QT at the 5th and 10th min, for RII at the 10th and 20th min, and for P₁II at the 20th min.

Conclusion. The main markers of heart bioelectrical processes under ANH are QT, T₁II and RR, other parameters are variable. The availability to predict deviations of ECG parameters by their initial parameters depends on ANH stage.

Key words: human, hypoxia, oximetry, electrocardiography, factorial, correlation, regression analysis.

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

References

1. Troshen'kina O.V., Menzorov M.V., Shutov A.M., Balykin M.V., Pupyreva E.D. Elektricheskaya stabil'nost' miokarda pri ostroy normobaricheskoy gipoksii u zdorovykh lyudey [Electrical myocardial stability under acute normobaric hypoxia in healthy people]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*. 2012; 99 (3): 41–45 (in Russian).
2. Zhang D., She J., Zhang Z., Yu M. Effects of acute hypoxia on heart rate variability, sample entropy and cardiorespiratory phase synchronization. *Biomed. Eng. Online*. 2014; 13 (73). DOI: 10.1186/1475-925X-13-73.

3. Coustet B., Lhuissier F.J., Vincent R., Richalet J.-P. Electrocardiographic changes during exercise in acute hypoxia and susceptibility to severe high-altitude illnesses. *Circulation*. 2015; 131: 786–794. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013144.
4. Siebenmann C., Lundby C. Regulation of cardiac output in hypoxia. *Scand. J. Med. Sci. Sports*. 2015; 25 (4): 53–59. DOI: 10.1111/sms.12619.
5. Giles D., Kelly J., Draper N. Alterations in autonomic cardiac modulation in response to normobaric hypoxia. *European journal of sport science*. 2016; 16 (8): 1023–1031.
6. Klyuchnikova E.A., Abbazova L.V., Lokhannikova M.A., Anan'ev S.S., Pavlov D.A., Balykin M.V. Vliyanie preryvistoy normobaricheskoy gipoksii na sistemnyuyu gemodinamiku, biokhimicheskiy sostav krovi i fizicheskuyu rabotosposobnost' lits pozhilogo vozrasta [Effect of intermittent normobaric hypoxia on systemic hemodynamics, biochemical blood composition and physical performance in elderly people]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2017; 4: 155–163 (in Russian).
7. Novikov V.S., Soroko S.I., Shustov E.B. *Dezadaptatsionnye sostoyaniya cheloveka pri ekstremal'nykh vozdeystviyakh i ikh korrektsiya* [Maladaptive states of a person under extreme influences and correction of such states]. St. Petersburg: Politehnika-print; 2018. 548 (in Russian).
8. Alekseeva T.M., Kovzelev P.D., Topuzova M.P., Sergeeva T.V., Tregub P.P. Giperkapnicheski-gipoksicheskie dykhatel'nye trenirovki kak potentsial'nyy sposob reabilitatsionnogo lecheniya patsientov, perenesshikh insult [Hypercapnic-hypoxic breathing training as a potential method of rehabilitation treatment for stroke patients]. *Arterial'naya gipertenziya*. 2019; 25 (2): 134–142 (in Russian).
9. Volkov N.I. Preryvistaya gipoksiya – novyy metod trenirovki, reabilitatsii i terapii [Intermittent hypoxia as a new method of training, rehabilitation and therapy]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury: nauchno-teoreticheskii zhurnal*. 2000; 7: 20–23 (in Russian).
10. Navarrete-Opazo A., Mitchell G.S. Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol*. 2014; 307: 1181–1197. DOI:10.1152/ajpregu.00208.2014.
11. Aronov D.M., Lupanov V.P. *Funktsional'nye proby v kardiologii* [Functional tests in cardiology]. Moscow: MEDpress-inform; 2003. 296 (in Russian).
12. Michaelides A.P., Tousoulis D., Raftopoulos L.G., Antoniadis C., Tsiachris D., Stefanadis C.I. The impact of novel exercise criteria and indices for the diagnostic and prognostic ability of exercise testing. *Inter. J. Cardiol*. 2010; 143: 119–123.
13. Saltykova M.M., Miller T.F., Borovik A.S., Popov D.V., Vinogradova O.L. Izmeneniya amplitudy zubtsov kompleksa QRS na EKG i legochnoy ventilyatsii pri nagruzochnom testirovanii prakticheski zdorovykh lits [Changes in the amplitude of the ECG QRS complex waves and pulmonary ventilation during stress testing of practically healthy individuals]. *Funktsional'naya diagnostika*. 2013; 1: 32–38 (in Russian).
14. Baevskiy R.M. *Prognozirovanie sostoyaniy na grani normy i patologii* [State prognosis on the verge of norm and pathology]. Moscow: Kniga po trebovaniyu; 2014. 295 (in Russian).
15. Prekina V.I., Chernova I.Yu., Esina M.V., Efremova O.N. Analiz intervala QT u bol'nykh s ishemicheskim insultom [Analysis of the QT interval in patients with ischemic stroke]. *Prakticheskaya meditsina*. 2019; 17 (2): 80–83 (in Russian).
16. Osipov B.H., Xazova E.B., Oslopova Yu.V., Bulashova O.V., Krivonosova S.Sh., Mardanov N.F., Khanafieva A.L., Oslopova D.V. Stress-indutsirovannaya neishemicheskaya kardiomiopatiya (sindrom «takotsubo») – obshchnost' proiskhozhdeniya i neodnorodnost' proyavleniy. Klinicheskoe nablyudenie [Stress-induced non-ischemic cardiomyopathy (takotsubo syndrome): Common origin and heterogeneity of manifestations. Clinical observation]. *Prakticheskaya meditsina*. 2019; 17 (2): 145–152 (in Russian).
17. Bocharov M.I., Shilov A.S. Organizatsiya bioelektricheskikh protsessov serdtsa pri raznoy stepeni ostroy normobaricheskoy gipoksii u zdorovykh lyudey [Organization of bioelectric heart processes under various stages of acute normobaric hypoxia in healthy people]. *Ekologiya cheloveka*. 2020; 12: 28–36 (in Russian).
18. Luk'yanova L.D. *Signal'nye mekhanizmy gipoksii: monografiya* [Signaling mechanisms of hypoxia: Monograph]. Moscow: RAN; 2019. 215 (in Russian).
19. Turbasov V.D., Artamonova N.P., Nechaeva E.I. Otsenka bioelektricheskoy aktivnosti serdtsa v usloviyakh antiortostaticheskoy gipokinezii s ispol'zovaniem obshcheprinyatykh i korrigirovannykh ortogonal'nykh otvedeniy EKG [Evaluation of the bioelectric heart activity under antiorthostatic hypokinesia using conventional and corrected orthogonal ECG leads]. *Kosmicheskaya biologiya i aviakosmicheskaya meditsina*. 1990; 24 (1): 42–44 (in Russian).

20. Akhundov R.A., Akhundova Kh.R. Energeticheskie mekhanizmy okislitel'nogo stressa, endogennaya i ekzogennaya gipoksiya [Energy mechanisms of oxidative stress, endogenous and exogenous hypoxia]. *Biomeditsina*. 2009; 3: 3–9 (in Russian).

Received July 06, 2021; accepted October 09, 2021.

Information about the authors

Bocharov Mikhail Ivanovich, Doctor of Sciences (Biology), Professor, Senior Researcher, Department of Comparative Cardiology, Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Russia, 167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaya st., 24; e-mail: bocha48@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6918-5523>.

Shilov Aleksandr Sergeevich, Candidate of Sciences (Biology), Researcher, Department of Comparative Cardiology, Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Russia, 167982, Syktyvkar, Kommunisticheskaya st., 24; e-mail: shelove@list.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0520-581X>.

For citation

Bocharov M.I., Shilov A.S. Kriterii prognoza bioelektricheskikh protsessov serdtsa cheloveka pri raznoy stepeni ostroy gipoksii [Criteria for predicting bioelectrical processes in the human heart under various stages of acute hypoxia]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2021; 4: 132–142. DOI: 10.34014/2227-1848-2021-4-132-142 (in Russian).