

Майор медицинской службы Н. А. АГАДЖАНЯН, подполковник медицинской службы  
М. И. ВАКАР, майор медицинской службы А. С. ЦИВИЛАШВИЛИ, В. Б. МАЛКИН,  
капитан медицинской службы И. Н. ЧЕРНЯКОВ

## **Реакция сердечно-сосудистой системы человека при гипоксии**

Изучение сосудистых реакций при гипоксии может иметь известное значение в экспертизе для выявления причин, обуславливающих пониженную индивидуальную устойчивость человека к кислородному голоданию.

Некоторые авторы (А. Ф. Александров и П. И. Егоров — 1938 г.) указывают, что низкая устойчивость к гипоксемической гипоксии обусловлена функциональной недостаточностью регуляции сердечно-сосудистой системы. А. П. Аполлонов и Д. И. Иванов (1947 г.), М. Д. Вядро (1958 г.), изучавшие индивидуальную устойчивость к гипоксии при подъеме на высоту 5000 м без кислорода, установили, что многие гипертонией кислородную недостаточность переносят удовлетворительно, а лица с вегетативной дистонией в большинстве случаев плохо. В то же время другие авторы показали, что в процессе барокамерной тренировки одновременно с повышением высотной устойчивости изменения со стороны сердечно-сосудистой системы сглаживаются (А. Г. Кузнецов, О. Г. Газенко и др., 1947 г.).

Для более полного изучения механизма гипоксических нарушений сердечно-сосудистой системы было важно провести комплексное исследование физиологических реакций организма. В связи с этим в настоящей работе наряду с изучением электрокардиограмм и артериального давления исследовалось также и насыщение крови кислородом.

Исследования проводились у 19 человек; из них 16 были здоровые, у 2 выявлена пониженная переносимость недостатка кислорода, у одного — вегетативная гипертония.

Артериальное давление в условиях разреженной атмосферы записывалось на осциллографе специальным прибором<sup>1</sup>. Одновременно на шестиканальной осциллографической установке регистрировались дыхание и электрокардиограмма. В процессе всего исследования непрерывно измерялось насыщение крови кислородом оксигемометром завода «Красногвардеец» (0-38). Исследования проводились на высоте 3000, 5000 и 6000 м.

С целью выяснения роли гипоксии в реакции сердечно-сосудистой системы были поставлены отдельные опыты с дыханием в условиях нормального барометрического давления газовыми смесями, бедными кислородом, и с дыханием на высоте 5000 м чистым кислородом. «Подъем» на высоту и «спуск» во всех исследованиях проводились с одинаковой скоростью (20—25 м/сек). На различных высотах и при дыхании газовыми смесями проведено 65 исследований.

Анализ экспериментального материала показывает, что в условиях кислородного голодания на высоте 3000, 5000 и 6000 м отмечаются закономерные изменения со стороны дыхания и сердечно-сосудистой си-

<sup>1</sup> Описание см. в ВМЖ № 10, 1958 г., стр. 87.

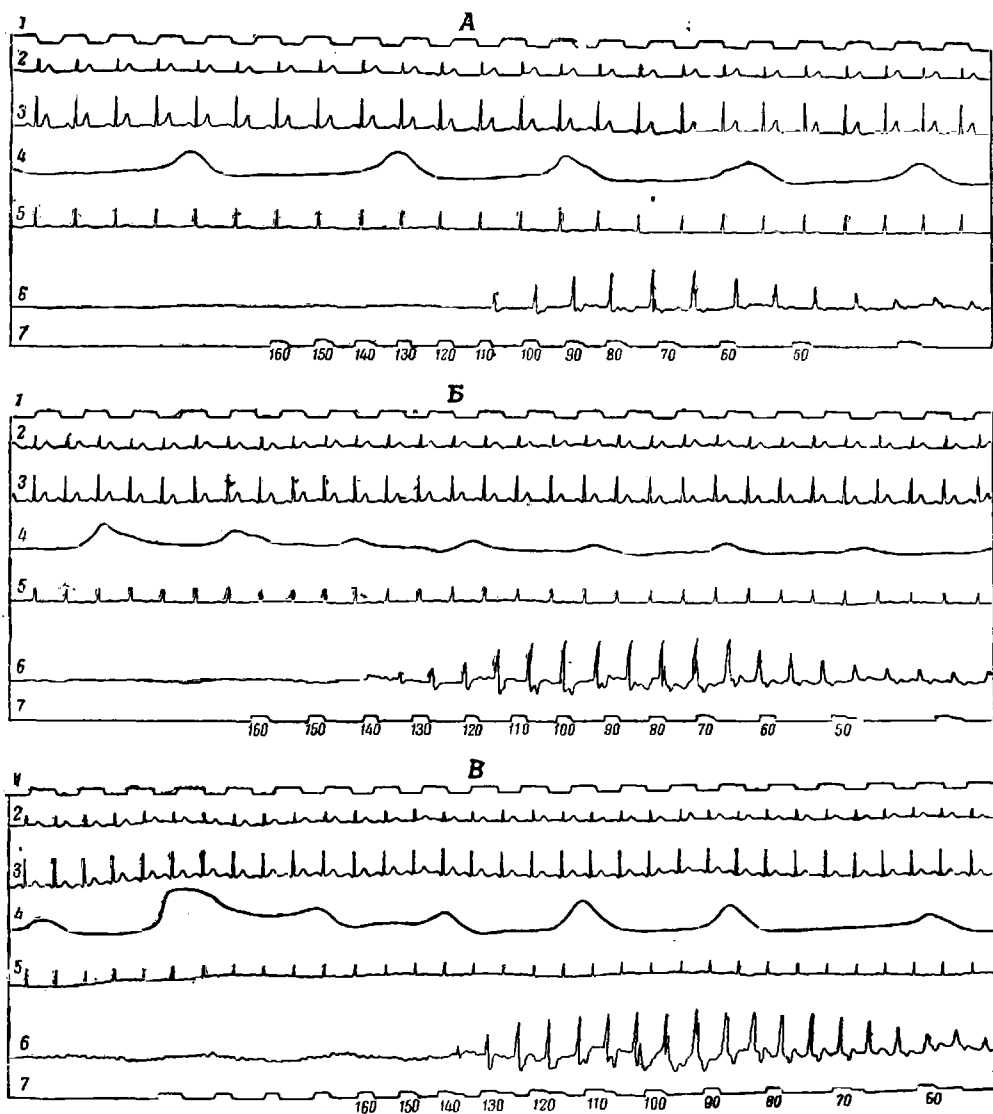


Рис. 1. Характер изменений ЭКГ, дыхания и артериального давления при гипоксии на высоте 5000 и 6000 м.

А — контрольные данные в наземных условиях; Б — на высоте 5000 м; В — на высоте 6000 м. 1 — отметка времени в сек.; 2, 3 — ЭКГ в двух отведениях; 4 — дыхание; 5 — ЭКГ — 3-е отведение; 6 — осцилляции кровяного давления; 7 — отметка величины кровяного давления.

стемы. Эти изменения тем значительнее, чем больше высота. Характер наблюдаемых в отдельных опытах изменений показан на рис. 1.

На высоте 3000 м у большинства обследуемых отмечается некоторое повышение систолического и диастолического артериального давления. Более значительно повышение на высоте 5000 м. На этой высоте в большинстве случаев увеличение максимального давления выражено в большей степени, чем минимального, что и обуславливает повышение пульсового давления.

У обследуемого В. с гипертонией повышение пульсового давления при недостатке кислорода происходило не за счет систолического давления, как это наблюдалось у здоровых, а в результате понижения диастолического давления.

По исследованиям других авторов, а также по нашим данным, наряду с повышением артериального давления в условиях гипоксии увеличивается частота и глубина дыхательных движений, учащается пульс. Вместе с тем этот материал показывает, что в реакции дыхания и сердечно-сосудистой системы на недостаток кислорода имеются индивидуальные различия. Это выражается как в неодинаковой степени учащения пульса и дыхания, так и в различной степени выраженности изменений артериального давления и электрокардиограммы. Так, на ЭКГ, снятой при развитии гипоксии, уплощение зубца Т во всех отведениях было выражено, как правило, больше у исследуемых, у которых обнаруживалось более значительное развитие синусовой тахикардии. Индивидуальные различия в изменении пульса, дыхания, артериального давления наиболее выраженными оказывались на высоте 6000 м.

В связи с этими данными о реакции сердечно-сосудистой и дыхательной систем на кислородное голодание было интересно узнать, как изменяется в этих условиях насыщение крови кислородом. Последнее позволило бы выявить зависимость реакций сердечно-сосудистой системы от величины насыщения артериальной крови кислородом, т. е. от степени гипоксемии. В таблице приведены результаты наблюдений за изменением насыщения крови кислородом у исследуемых на различных высотах (перед «подъемом» насыщение крови кислородом у всех обследуемых составляло 95%).

Из таблицы видно, что при «подъеме» в барокамере на высоту 3000, 5000 и 6000 м степень насыщения крови кислородом у всех исследуемых снижается, причем тем значительнее, чем больше высота. Вместе с прогрессирующим снижением насыщения крови кислородом отмечается соответствующее нарастание гипоксемических изменений ЭКГ и более выраженные сдвиги величин артериального давления (см. рис. 1). Развитие компенсаторных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы и дыхания наблюдается уже при снижении насыщения крови кислородом на 3—5%. Однако на одной и той же высоте величина насыщения крови кислородом у различных исследуемых колеблется в широких пределах (см. таблицу).

Как видно из таблицы, на высотах 5000—6000 м наиболее низкая величина насыщения крови кислородом отмечалась у обследуемого X., обладавшего низкой устойчивостью к гипоксии (рис. 2). При подъемах на высоты 5000—6000 м у этого исследуемого в четырех подъемах из пяти наблюдалось резкое ухудшение общего состояния, которое проявлялось в усиленном потоотделении, бледности, заторможенности и т. д. Это дает основание заключить, что у обследуемого X. низкая устойчивость к кислородному голоданию была обусловлена недостаточным развитием компенсаторных реакций. Однако следует иметь в виду, что у некоторых лиц выраженные проявления гипоксии могут развиваться на высоте 5000 м и при достаточно высоком уровне насыщения артериальной крови кислородом.

**Изменение насыщения крови кислородом на различных высотах**

Обследуемые	Процент насыщения крови кислородом на высоте		
	3000 м	5000 м	6000 м
К. . . . .	89—90	77—83	70—72
К. . . . .	78—80	70—72	—
Р. . . . .	80—83	68—74	—
А. . . . .	88—90	80—82	58—70
К. . . . .	76—78	66—68	58—68
Б. . . . .	89—90	76—83	62—76
С. . . . .	90—92	82—87	66—74
А. . . . .	77—78	68—78	—
С. . . . .	90—92	62—70	—
Г. . . . .	87—89	70—72	—
Ч. . . . .	91—92	70—71	—
Р. . . . .	88—90	68—72	—
Н. . . . .	89—90	72—78	—
В. . . . .	90—92	75—83	—
Х. . . . .	75—82	60—64	48—52
» . . . . .	85—87	58—62	—
» . . . . .	90—92	60—68	—
» . . . . .	84—86	66—70	—

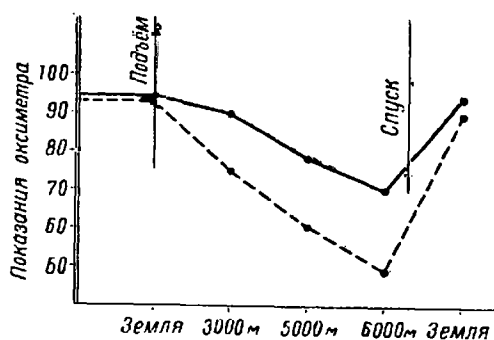


Рис. 2. Индивидуальные колебания величины насыщения крови кислородом на высоте 3000, 5000 и 6000 м; — — — обследуемый К; — — — — обследуемый X.

на высоте. Индивидуальные колебания величин насыщения крови кислородом, по-видимому, обусловлены тем, что дыхательные и сердечно-сосудистые компенсаторные реакции организма на недостаток кислорода у обследуемых выражены не в равной степени.

Обнаруженные в наших исследованиях колебания оксигенации крови у одного и того же обследуемого в различные периоды пребывания его на высоте, вероятно, можно объяснить тем, что в первые минуты пребывания на высоте в результате компенсаторной перестройки дыхания и кровообращения на какое-то время обеспечивается достаточно высокое насыщение крови кислородом. В дальнейшем по мере угнетения компенсаторных механизмов постепенно снижается процентное содержание кислорода в крови, в то время как у лиц, обладающих высокой устойчивостью к гипоксии, к концу пребывания наступает адаптация к высоте.

В опытах с переходом на дыхание чистым кислородом на высоте 5000 и 6000 м отмечено, что содержание кислорода в крови в этих условиях возрастает до исходных величин. При этом всегда наблюдается нормализация изменений со стороны дыхания и сердечно-сосудистой системы. Только при анализе ЭКГ можно отметить некоторые отличия от нормы; отклонение электрической оси сердца влево на 5—8° вследствие развития высотного метеоризма, приводящего к изменению анатомического положения сердца.

В исследованиях с газовыми смесями, содержащими 10% кислорода (соответственно высоте 5000 м), было установлено, что повышение артериального давления наблюдается в меньшем числе случаев, чем это бывает при высотных испытаниях. В некоторых случаях отмечается даже некоторое снижение артериального давления, особенно минимального. Изменения ЭКГ в опытах с газовыми смесями весьма близки к таковым при подъемах в барокамере, за исключением того, что отклонения электрической оси сердца при этом не обнаруживаются. Определенный интерес представляет тот факт, что в этих опытах при повторных измерениях артериального давления отмечалось более заметное колебание его величин, по сравнению с исходным уровнем. Последнее свидетельствует о некотором нарушении регуляции сосудистого тонуса.

Таким образом, наряду с определенным сходством наблюдаемых изменений функционального состояния сердечно-сосудистой системы при развитии гипоксии во время дыхания газовыми смесями и при подъемах в барокамере, имеются и определенные различия. Последнее связано, по-видимому, с влиянием пониженного барометрического давления. Определенную роль при этом играет и общая реакция обследуемого на обстановку высотного опыта.

Последнее, вероятно, связано с индивидуально высокой чувствительностью к кислородному голоданию. В. Б. Малкин склонен объяснять такие случаи развивающейся в результате гипервентиляции гипоксией.

При одинаковой величине насыщения крови кислородом изменения электрокардиограммы и сдвиги в величинах артериального давления и частоты сердечных сокращений также выражены не в одинаковой степени как у различных обследуемых, так и у одного и того же обследуемого в различные периоды пребывания

Результаты исследований с дыханием на высоте чистым кислородом и газовыми смесями свидетельствуют о том, что в генезе изменений функции сердечно-сосудистой системы и дыхания при подъемах на высоту основная роль принадлежит снижению парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе. Снижение парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе ведет к понижению напряжения кислорода в артериальной крови и раздражению каротидной и аортальной рефлексогенной зон, в результате чего изменяется функциональное состояние дыхательного и сосудодвигательного центров.

Следует учитывать, что гипоксемия, с одной стороны, рефлекторно вызывает сужение периферических сосудов, с другой, в результате пониженного напряжения кислорода в тканях оказывает сосудорасширяющее действие. В каждом отдельном случае конечный эффект будет зависеть от результата взаимодействия центрального и местного влияния недостатка кислорода. Повышение кровяного давления, как и усиление дыхания и увеличение частоты сердечных сокращений на высотах 5000—6000 м, наступает в результате повышения тонуса дыхательного и сосудодвигательного центров и направлено на приспособление организма к кислородному голоданию. Однако надо полагать, что тонус сосудодвигательного и дыхательного центров в условиях гипоксии не может оставаться повышенным в течение длительного времени. При этом снижение функционального уровня центров, регулирующих дыхание и кровообращение, особенно быстро наступает у лиц с низкой устойчивостью к гипоксии.

## ВЫВОДЫ

1. В условиях кислородного голодания на высотах 5000—6000 м в результате недостаточных компенсаторных реакций со стороны дыхания и сердечно-сосудистой системы отмечается значительное снижение насыщения артериальной крови кислородом. У некоторых обследуемых, обладающих низкой устойчивостью к гипоксии, уровень насыщения крови кислородом снижается до 48—52%.

2. Развитие компенсаторных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы и дыхания наблюдается уже при снижении насыщения артериальной крови кислородом на 3—5%. При одинаковой величине насыщения крови кислородом на высотах 5000—6000 м изменения электрокардиограммы и сдвиги в величинах артериального давления и частоты сердечных сокращений выражены не в одинаковой степени как у различных обследуемых, так и у одного и того же человека в различные периоды пребывания на высоте.

3. При дыхании чистым кислородом на высотах 5000—6000 м насыщение крови кислородом возрастает до наземных величин. Наблюдавшаяся при этом нормализация ЭКГ, кровяного давления, дыхания и частоты пульса свидетельствует о том, что в генезе этих изменений основная роль принадлежит первичному снижению парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе. Дыхание чистым кислородом является надежным средством, исключающим развитие глубоких нарушений кровообращения в полете.

Поступила в январе 1959 г.