

### ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА НА ОРГАНИЗМ ЛЕТЧИКА

#### ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ ФАКТОРОВ ВЫСОТЫ В АСПЕКТЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Колебания атмосферного давления организм человека ощущает при подъемах и снижениях на самолетах с негерметичными кабинами, а также при разгерметизации кабин на самолетах, оборудованных герметичными кабинами в тех случаях, когда происходят перепады давления. Под перепадом давления в одних случаях понимают уменьшение или увеличение барометрического давления, в других - разницу между давлением окружающей среды и давлением в герметичной кабине самолета. Все зависит от того, какой конкретно перепад рассматривается.

В зависимости от направленности изменения давления перепад называют декомпрессионным или компрессионным. Декомпрессионным перепадом давления называют перепад, который происходит от повышенного давления к пониженному. Такой перепад наблюдается при подъеме на высоту в самолете без герметичной кабины или при разгерметизации кабины на большой высоте в самолете, оборудованном герметичной кабиной. Компрессионным перепадом давления называют перепад от пониженного давления к повышенному. Такой перепад наблюдается при снижении самолета с высоты.

При понижении барометрического давления могут возникнуть различного рода процессы дисбаризма, которые зависят от ряда условий, и в том числе, от времени изменения давления, разности и кратности его перепада. Все эти процессы дисбаризма, исходя из особенностей и механизмов их появления, принято подразделять в основном на три группы.

К первой группе чаще всего относят все явления, связанные с расширением газов и возникновением избыточного давления в полых органах, а также с трудностями выравнивания давления до его величин окружающей среды. К этой группе относят явления высотного метеоризма, связанного с расширением газов в желудочно-кишечном тракте, закладывание ушей, боли в ушах, боли в области гайморовых полостей, лобных пазух и др.

Ко второй группе относят явления, связанные с образованием в тканях газовых пузырьков из ранее растворенных в тканях газов (высотные суставные и мышечные боли, высотный кашель и другие декомпрессионные расстройства)

К третьей группе относят процессы, связанные с возникновением парообразования («кипения») жидких и полужидких сред, в частности, с возникновением высотной подкожной эмфиземы.

При подъеме на высоту происходит увеличение объема газов, находящихся в желудочно-кишечном тракте (высотный метеоризм), которые в свою очередь давят на стенки кишечника и смещают его вверх, ограничивая подвижность диафрагмы при вдохе и выдохе, уменьшая глубину дыхания и тем самым сокращая жизненную емкость легких. Увеличенный в объеме желудочно-кишечный тракт через диафрагму механически действует на положение сердца, несколько поворачивая его из продольного положения в поперечное, и создает некоторое затруднение в кровообращении сердца. Кроме механического воздействия на внутренние органы, систему кровообращения и дыхания высотный метеоризм оказывает существенное рефлекторное влияние на другие органы и системы. При небольшом расширении газов в желудочно-кишечном тракте человек испытывает неприятные ощущения со стороны живота.

Медленное увеличение высоты полета (уменьшение давления) практически не вызывает каких-либо неприятных ощущений или болей в лобных и верхнечелюстных пазухах. Обычно выравнивание давления происходит без особых препятствий, если слизистая оболочка соединяющих каналов находится в нормальном состоянии. Однако в зависимости от различных температурных условий внешней среды и в результате заболеваний иногда происходит сужение или даже слипание каналов за счет набухания слизистой, а также закупоривание слизью их стенок. В этих условиях человек может ощущать заложенность ушей, боли в ушах, а также в области пазух.

Особое место в общей схеме воздействия на организм человека барометрического давления занимает быстрая («взрывная») декомпрессия, которая, чаще всего, бывает связана с быстрой разгерметизацией кабины во время полетов. Особенностью воздействия «взрывной» декомпрессии является то, что уменьшение давления окружающей среды на организм создает большую разность в давлениях между полыми органами и окружающей средой. Избыточное давление воздуха (свободный газ) в полых органах (кишечнике, придаточных полостях, лобных пазухах, легких) может вызвать неприятные ощущения, а иногда и боли. Кроме высотного метеоризма и особенностей выравнивания давления между полыми органами и внешней средой уменьшение барометрического давления (в два раза и более), начиная с высоты 7-8 км, может сопровождаться декомпрессионными расстройствами, включающими в себя комплекс различных изменений в организме, в том числе высотные боли в суставах и мышцах, кожный зуд, высотный кашель, за грудиные боли и др. Болевые ощущения могут появиться в тканях и мышцах не только в результате механического воздействия газовых пузырьков на окружающие ткани, но и под влиянием образовавшегося рефлекторного спазма капилляров и сосудов в результате их определенной деформации.

## АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

Длительное болевое воздействие, при котором начинает нарушаться динамическое равновесие основных нервных процессов, чаще всего сопровождается вторичной рефлекторной реакцией. В этих случаях вместо обычных болевых ощущений могут появиться вторичные с нарушением функций большинства систем организма, резкой потерей работоспособности в виде коллапса (шока).

В некоторых случаях декомпрессионные расстройства проявляются в виде потери чувствительности на отдельных участках тела, болей по ходу нервных стволов, парезов, параличей конечностей, различного рода расстройств, наступивших вследствие поражения высших отделов центральной нервной системы. При поражениях высших отделов центральной нервной системы могут наступить серьезные нарушения дыхания, деятельности сердечно-сосудистой системы, сопровождающиеся явлениями общей слабости, головокружения, обильным выделением пота, тошнотой, преколлаптоидным состоянием, а иногда и потерей сознания.

В условиях пониженного барометрического давления - ниже 47 мм рт. ст. (на высоте более 19,2 км) при температуре тела 37 °С в наиболее рыхлых тканях организма происходит процесс парообразования, т. е. так называемое «закипание» биологических жидких сред. За счет процесса диффузии паров воды и растворенных газов, таких как кислород, азот, углекислый газ и др., образуется так называемая высотная тканевая эмфизема. Явление парообразования (газовые пузырьки) в указанных условиях наблюдается независимо от степени насыщения крови кислородом. Образовавшиеся первоначально газовые пузырьки по мере увеличения высоты начинают расширяться, расслаивая упругие и эластичные ткани. Компонентами подкожных эмфизематозных пузырей являются в основном пары воды и незначительное количество углекислого газа, азота и кислорода. При увеличении высоты суммарное давление газов падает, однако парциальное давление таких составных частей, как углекислого газа и водяных паров в альвеолярном воздухе, практически остается без изменений. При этом значительно изменяется скорость падения давления кислорода в альвеолярном воздухе.

Вследствие падения общего давления и, особенно, уменьшения парциального давления кислорода в альвеолярном воздухе, значительно затрудняется процесс диффузии (переход кислорода через тонкие стенки альвеол в кровь, связывание его с гемоглобином и доставка к тканям). Недостаточная доставка кислорода к тканям, обусловленная понижением парциального давления альвеолярного воздуха на больших высотах, вызывает кислородное голодание (гипоксию) и, соответственно, снижение функционального уровня работоспособности членов экипажа, потерю бдительности, ухудшение внимания, недооценку временных интервалов, увеличение количества ошибочных действий и т. п., что может привести к частичному или полному рассогласованию эргатической системы «экипаж - самолет - среда».

После прекращения поступления кислорода к тканям работоспособность человека еще больше ухудшается, ибо запасы кислорода в организме исчезают сравнительно быстро, а через 5- 6 мин наступает угроза жизни. Под гипоксией понимается снижение содержания кислорода в организме или в отдельных его органах и тканях. В зависимости от причин появления гипоксия подразделяется чаще всего на четыре формы:

**1. Гипоксическая** гипоксия возникает как от понижения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе, так и в результате затруднения проникновения кислорода в кровь через дыхательные пути, а также вследствие расстройства системы дыхания.

**2. Гемическая** гипоксия возникает, с одной стороны, в результате снижения и содержания кислорода как в артериальной, так и в венозной крови (анемическая форма), с другой - в результате воздействия различных ядовитых продуктов, инактивирующих гемоглобин крови

**3 Циркуляторная** гипоксия возникает в результате расстройства кровообращения и снижения доставки кислорода тканям Она проявляется в виде двух форм - застойной и ишемической Циркуляторная гипоксия может наблюдаться при дыхании кислородом под избыточным давлением

**4 Тканевая гипоксия** возникает в результате нарушения тканевого дыхания. Ее еще нередко называют гистотоксической. Причинами ее появления чаще всего являются отравления ядовитыми продуктами, оказывающими паралитическое воздействие на тканевое дыхание

При полетах на большие высоты наблюдается в основном гипоксическая гипоксия, поэтому при рассмотрении дальнейших материалов под словом гипоксия будет пониматься именно гипоксическая гипоксия.

В герметичных кабинах большинства отечественных и зарубежных пассажирских самолетов в крейсерских полетах барометрическое давление поддерживается на уровне 642-567 мм рт ст. и имеется тенденция к его увеличению в целях повышения уровня безопасности полетов Более подробно исследованы и проанализированы физиолого-гигиенические характеристики условий кислородного обеспечения человека при поддержании абсолютного давления воздуха в кабине экипажа в пределах от 690 до 567 мм рт ст. и показаны психофизиологические реакции организма человека, которые могут наблюдаться в этих условиях (таблица 1).

В дополнение к материалам, представленным в таблице 1 в виде продолжения их анализа, рассмотрим состояние организма, его некоторые функции и работоспособность практически здорового

## АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

нетренированного и неакклиматизированного человека. Проследим характер перестройки организма и приспособительные реакции.

При давлении 760 мм рт. ст. (высота 0 км) общее состояние, самочувствие человека и его работоспособность хорошие

При давлении 690 мм рт. ст. (высота 0,8 км) происходят функциональные изменения в организме, перестраивается система дыхания приспособительного характера, изменяется внешнее дыхание и условия, определяющие диффузию газов и транспорт кислорода к тканям. Увеличивается минутный объем дыхания, при неупорядоченном изменении частоты дыхания. Происходит недонасыщение кислородом тканей организма, увеличение объема газов в кишечнике, остаточного воздуха в легких, дыхательных путях и других воздухоносных полостях организма. Отмечается некоторое затруднение выполнения мышечной работы и более выраженная, чем в наземных условиях, усталость после ее выполнения. В зависимости от индивидуальных особенностей у отдельных лиц в этих условиях может наблюдаться некоторое снижение производительности и качества выполнения работ интеллектуального характера. Иногда может наблюдаться снижение способности длительного сосредоточения внимания на выполнении какого-либо задания.

*Таблица 1*

**Физиолого-гигиенические характеристики условий кислородного обеспечения пилотов и пассажиров при поддержании абсолютного давления воздуха в кабине экипажа от 690 до 567 мм.рт.ст.**

| Изменения физиолого-гигиенических показателей                     |   |  |                        |                                  |                                     |
|---|---|--|------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| Внешняя среда   |   | Кислород в организме                       |                        |                                  |                                     |
|   |   | Парциальное давление кислорода, мм рт. ст. |                        | Насыщение крови кислородом, %    |                                     |
| Барометрическая высота в кабине экипажа, пассажирских салонах, км | Барометрическое давление воздуха в кабине экипажа, пассажирских салонах, мм рт. ст. | в атмосферном воздухе                      | в альвеолярном воздухе | в состоянии относительного покоя | при физической нагрузке 250 кгс/мин |
| 0   | 760   | 519  | 104—108                | 98,6—98,3                        | 94,5—89,6                           |
| 0,8   | 690   | 145  | 96—93                  | 98,2—98,0                        | 94,2—89,1                           |
| 1,0   | 674   | 141  | 94—90                  | 98,0—97,8                        | 93,8—88,5                           |
| 1,2   | 657   | 137  | 89—88                  | 97,8—97,6                        | 93,4—88,0                           |
| 1,4   | 642   | 134  | 88—86                  | 97,4—97,2                        | 93,0—87,4                           |
| 1,6   | 626   | 131  | 85—82                  | 97,0—96,8                        | 92,7—87,9                           |
| 1,8   | 611   | 128  | 81—79                  | 96,5—96,2                        | 92,2—87,1                           |
| 2,0   | 596   | 125  | 80—78                  | 96,0—94,0                        | 91,6—86,4                           |
| 2,2   | 581   | 121  | 76—72                  | 93,2—93,0                        | 90,3—85,6                           |
| 2,4   | 567   | 118  | 68—65                  | 92,7—91,2                        | 89,2—84,5                           |

При давлении 690 мм рт. ст. все изменения в организме человека в основном носят приспособительный характер или связаны с физическими законами расширения газов и являются незначительными. На этой высоте организм здорового человека хорошо справляется с указанным недостатком кислорода и сохраняет работоспособность.

При давлении 626 мм рт. ст. (высота 1,6 км) происходят дальнейшие изменения. Все изменения в организме усиливаются. Уменьшается световая чувствительность глаз. Ухудшается пространственное зрение. Значительно увеличивается частота дыхания, легочная вентиляция и сердечная деятельность. Минутный объем дыхания возрастает. Некоторыми людьми отмечается ощущение дискомфорта, происходит некоторое снижение интеллектуальной работоспособности, возникают затруднения в выполнении мышечной работы, иногда сопровождаемой одышкой.

При давлении 567 мм рт. ст. (высота 2,4 км) помимо указанных изменений в организме, которые наблюдаются при давлении 690-626 мм рт. ст., дополнительно могут возникать более выраженные эмоциональные сдвиги: безразличие, сонливость, вялость, раздражительность (или наоборот самодовольство, эйфория), снижение самокритичности, снижение работоспособности на 20-25 %, увеличение объема легочной вентиляции на 3-5 % по сравнению с наземными условиями. Человеку, находящемуся в условиях давления 567 мм рт. ст., требуются несколько большие волевые усилия, чем при выполнении однотипных заданий в наземных условиях. Могут иметь место замедленность мышления,

## **АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА**

заторможенность, трудность запоминания и другие явления, а также появляются ошибочные действия, уменьшается способность организма противостоять другим действующим извне факторам. Могут замедляться отдельные действия, связанные с умственной деятельностью, координацией движений и др. Может появиться ощущение дискомфорта, снижение способности длительного сосредоточения внимания на выполнении какого-либо задания, ухудшится точность тонко координированных движений.

Конечно, у тренированных и акклиматизированных лиц психофизиологические реакции в этих условиях будут несколько иными. Однако, несмотря на ряд изменений, которые происходят в организме нетренированного человека в условиях поддержания барометрического давления, соответствующего высотам от 0,8 км и до 2,4 км, человек удовлетворительно справляется с тем недостатком кислорода, который имеет место в указанных условиях. Большинство реакций организма человека носит приспособительный характер, хотя на высотах 1,6-2,4 км организм человека находится в более напряженном состоянии, чем на высотах 0,8-1,6 км, и его работоспособность снижается также в большей степени.

Высоты от 0 до 2,4 км многие исследователи считают для здорового человека зонами полной компенсации.

Более выраженные функциональные изменения в организме начинают появляться на высотах 2,6-3,0 км. На указанных высотах еще больше увеличивается минутный объем легочной вентиляции, частота сердечных сокращений, минутный объем крови, повышается артериальное давление крови и наступает еще ряд других функциональных изменений. Легочная вентиляция на высоте 3 км увеличивается на 6-12 %. Кроме этого начинают появляться более выраженные явления общей вялости, сонливость, одышка при выполнении мышечной работы, ощущение тяжести в голове, иногда головокружение и другие явления, т. е. все признаки так называемой высотной болезни. Человек ощущает трудности проведения различных расчетов, в решении задач и т. д. Имеет место ощущение дискомфорта. Насыщение крови кислородом на высоте 2,6 км в состоянии покоя составляет 90,1-89,5 %, при физической нагрузке - 85,2-83,4 %.

Парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе на высоте 2,6 км находится в пределах 64,8-68,3 мм рт. ст. Работоспособность снижается на высоте 3 км на 25-30 %. Еще больше ухудшается ночное зрение. По мере увеличения высоты все больше и больше начинает ощущаться недостаток кислорода во вдыхаемом воздухе. На высоте 4 км резервные возможности организма человека уже не в состоянии полностью обеспечивать потребность всех органов в кислороде. В организме человека начинают появляться различного рода нарушения. Минутный объем легочной вентиляции увеличивается на 16-18 %. Работоспособность снижается на 40-50 %. Снижается и способность к правильному восприятию окружающих предметов и поступающей информации, затрудняется анализ всего происходящего, в том числе - решение задач и оценка обстановки. Ослабевает внимание и память при выполнении заданий, появляются безразличие, усталость, а иногда и признаки эйфории - состояния возбуждения и легкого «опьянения».

При выраженном кислородном голодании страдает и обмен веществ, изменяются процессы окисления белков, жиров и других веществ, играющих определенную роль в биохимических реакциях организма, увеличивается также и потеря жидкости организмом. Влагопотери происходят главным образом вследствие повышенного испарения с кожных покровов и слизистых оболочек верхних дыхательных путей.

При недостатке кислорода в организме у большинства людей изменяется двигательная активность органов пищеварения, замедляется продвижение пищи в желудочно-кишечном тракте, изменяются функции слюнных и желудочных желез. Все эти явления иногда могут сопровождаться потерей аппетита, извращением вкуса и тошнотой.

Зону высот с 4 км и более принято называть зоной «неполной компенсации».

На высоте 5 км все вышеуказанные явления проявляются еще больше. Наблюдаются резко выраженные расстройства эмоциональных и психических реакций. Объем легочной вентиляции увеличивается на 22-28 %. Работоспособность уменьшается на 55-60 %. Значительно замедляются отдельные действия, связанные с умственной работой, координацией движений и т. д.

### **ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИТАНИЕМ ЛЕТНЫХ ЭКИПАЖЕЙ.**

Человек в целях поддержания расхода энергии постоянно с пищевыми продуктами употребляет углеводы, жиры и белки, которые окисляясь восстанавливают энергетический баланс. Энергетические затраты в основном зависят от уровня основного обмена, а величина основного обмена в свою очередь зависит от массы тела, возраста, роста и характера выполняемой мышечной работы.

В летной практике на величину основного обмена оказывают большое влияние нервно-психическое напряжение, определенный недостаток кислорода во вдыхаемом воздухе, вибрация, шум, неравномерное по времени питание, режим, а иногда и гиподинамия, обусловленная длительными полетами, и ряд других факторов. В этих условиях энергетический обмен и функции желудочно-кишечного тракта нередко изменяются.

В полетах повышается потребность организма в витаминах, белках и углеводах. Поэтому необходимо обеспечение членов экипажей рациональным питанием, т. е. таким питанием, которое могло бы

## АВИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА

полностью обеспечить потребность организма в пище, как в количественном, так и в качественном отношении. Пищевые продукты должны быть доброкачественными, обработанными и приготовленными таким образом, чтобы они вызвали аппетит, были легко усвояемыми и оптимально распределялись по калорийности рационов в течение рабочего дня с учетом особенностей полетов. Важным условием безопасности полетов является также оптимальное обеспечение летного состава бортовым питанием на многоместных самолетах в длительных полетах. Должен осуществляться своевременный контроль за доброкачественностью продуктов, санитарным состоянием пищеблоков и обработкой сырья в целях предупреждения возможностей появления метеоризма и пищевых отравлений. При разработке режима питания должен также быть учтен и ряд моментов, связанных с метеорологическими и климатическими условиями, а также с ассортиментом и наличием продовольствия.

Следует иметь в виду, что прием большого количества пищи перед полетом или во время полета может снизить работоспособность пилота, так как прием пищи ведет к приливу крови к органам пищеварения, а это в свою очередь может неблагоприятно сказаться на кровоснабжении головного мозга и работоспособности мышц. Кроме того, переполненные желудок и кишечник могут оказывать стесняющее действие на диафрагму и затруднять дыхательные движения и сердечную деятельность.

Перед полетом пища должна быть по объему компактной, обладать достаточной насыщающей способностью, быть легко усваиваемой и перевариваемой и не вызывать чрезмерного газообразования в кишечнике. Перед высотным полетом желательнее ограничить в пищевом рационе содержание жира, а также бобов и гороха и увеличить содержание легкоусвояемых углеводов, которые повышают высотную устойчивость. При значительных промежутках времени между приемами пищи у некоторых лиц могут появляться чувство голода, ощущение слабости, головокружение, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

Особо важную роль в обеспечении полноценности питания во время длительного полета играют такие пищевые вещества, как аскорбиновая кислота, рибофлавин, тиамин, которые входят в состав ферментов, участвующих в окислительно-восстановительных процессах. Учитывая, что при длительных полетах в кабине экипажа и пассажирских салонах относительная влажность значительно уменьшается и воздух становится сухим, а у экипажей и пассажиров возникает ощущение сухости во рту и чувство жажды, целесообразно применять кондитерские изделия, содержащие в себе органические кислоты, которые уменьшают эти ощущения и способствуют утолению жажды.

Питание летных экипажей, основанное на рациональных принципах, должно удовлетворять энергетическим, пластическим и другим потребностям организма и обеспечивать необходимый уровень обмена веществ и работоспособности членов экипажей.

Питание, основанное не на рациональных принципах, может привести к нарушению обмена веществ и расстройству функционального состояния различных органов и систем организма.

По пищевым ингредиентам питание членов экипажей должно быть сбалансировано и индивидуализировано в соответствии с энергозатратами, особенностями метаболизма в условиях высоты, а также наличием тех или иных отклонений в состоянии здоровья (чрезмерная полнота, нарушение обмена веществ и др.).

Питание может быть четырех- или трехразовым, поэтому суточный рацион питания по калорийности рекомендуется распределять в зависимости от принятого режима питания. При четырехразовом питании рацион может быть распределен ориентировочно следующим образом: на первый завтрак - 25 % общего количества суточной пищи, на 2-й завтрак-15%, на обед-40% и на ужин-20%; при трехразовом: на завтрак-30%, на обед - 40 % и на ужин - 30 %. Прием пищи с соблюдением таких режимов может обеспечить регулярное поступление в организм пилота необходимых питательных веществ и предотвратить возникновение чувства переедания или голода.