



граница със зона на преминаване по-малко от метър. Често няма постепенно преминаване в качеството на въздуха както може да се очаква ако разпръскването на газовете става с относително висока скорост.

Възможно обяснение на високата концентрация на CO<sub>2</sub> в някои дълбоки пещери с относително спокойна атмосфера е, че CO<sub>2</sub> се произвежда метаболитно или навлиза в пещерата чрез подземните води в по-голяма степен, отколкото газът може да се разпространи в пещерната атмосфера, като се отлага на дъното на пещерата, тъй като е относително тежък газ (Smith, G. K., 1997a).

Този начин на образуване на CO<sub>2</sub> е по-вероятен за дълбоките пещери, но може за се открие също и в някои плитките пещери с вертикални пасажи от по-малко от 10 м. Много спокойна пещерна атмосфера може да съдържа CO<sub>2</sub> потънал на (или останал там какъвто е произхода му) в най-дълбоката част на пещерата, където той измества O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> като позволява CO<sub>2</sub> да се разположи на най-ниската точка. Пример за това може да бъде Само убийствената дупка - пещера при Кранлей Пас, Нов Южен Уелс, която има поредица от вертикални пасажи от около 6 м всеки и съдържа висока концентрация от CO<sub>2</sub> на дъното на 2 м от пещерните пасажи. CO<sub>2</sub> може да бъде добавен към метаболитните процеси в голям брой от живи корени на дървета в пасаж точно над лошия въздух.

### **Ефект върху хората**

Ефектът на повишаващи се нива на CO<sub>2</sub> и намаляващи нива на O<sub>2</sub> върху хората са показани в Таблица 1 и 2; но тъй като всяко човешко тяло има относително различна реакция и издръжливост на стресови ситуации, симптомите са показани по принцип. Обаче, никой не е имунизиран срещу опасностите предизвикани от CO<sub>2</sub>.

Излагане на CO<sub>2</sub> от 1 и 2 % за няколко часа ще доведе до аксидоза, дори и да няма недостиг на кислород. Ацидемията ще е факт и вторичните механизми ще се инициират от телесните процеси на хомеостаза в опит да се избегнат драстични промени в рН и да се възвърне рН към нормалното ниво.

Продължително вдишване на въздух съдържащ около 2% CO<sub>2</sub> или повече, ще наруши телесната функция като предизвика силното окисляване на телесните течности. Това ще доведе до загуба на енергия и чувство на умора дори и след напускане на пещерата. Може да отнеме няколко дни в добра среда за възстановяване на телесния метаболизъм до нормалното ниво.

Правилата за здраве и сигурност казват, че 0,5% CO<sub>2</sub> е "... граничната стойност измерена средно". Това е концентрацията при която всеки човек може да понесе 78 часа на ден, пет дни в седмицата, без вреда. Ръководството за сигурност в лабораториите (1992) се позовава, че концентрация от 5% CO<sub>2</sub> и повече е "непосредствено опасна за живота и здравето." Казва се още, че това е концентрацията която предизвиква невъзвратими физиологични ефекти след излагане от 30 минути. (Секция 24, с.4-5, "Атмосфера, бедна на кислород").

Човек трябва да има предвид, че гледката на прилепи в пещерата, не означава че въздухът е подходящ за хора. В някои случаи аз съм изпитвал затруднено дишане в пещери, съдържащи прилепи, където проста газова запалка не се запалва и кибритена клечка само съска преди да изгасне? Изглежда прилепите не се влияят от високата концентрация на CO<sub>2</sub> и ниското съдържание на O<sub>2</sub>, съдържащи се във въздуха. Тези наблюдения са отбелязани от Hamilton-Smith /1972/ който поддържа, схващането че "... .... прилеп има способността да издържа на висока концентрация на газ (CO<sub>2</sub>) отколкото е допустимото за хората".

Австралийският стандарт (AS 2685-1986, с. 7) , Сигурна работа в затворени? пространства, утвърждава, че влизането в затворено пространство не трябва да се разрешава ако нивото на кислорода е по-ниско от 18%. Този стандарт е променен през 1995 и минималната

концентрация е повишена до 19,5% в обем под нормално атмосферно налягане, еквивалентно на частично налягане на  $O_2$  от 19,8кРа.

**Индикациите са, че много малко затруднения са предизвикани от краткотрайното излагане на  $O_2/N_2$  смеси по-ниски от 10%  $O_2$ ; проблемът не е в недостига на  $O_2$ , а излишъка на  $CO_2$ .**

Field (1992) твърди, че мнозинството от здрави хора, независимо дали са млади или стари, няма да са ограничени от вентилационната им функция по време на физическа дейност при дишане на въздух на морското равнище, който съдържа 3.1%  $CO_2$  и 15%  $O_2$ , но много, в частност, по-възрастните, могат да изпитат леко до средно затруднение в дишането. В атмосфера съдържаща 4,3%  $CO_2$  и 12,4%  $O_2$ , обикновено здрав човек с прилично ниво на здраве и тренировка ще е способен на по-малко от половината от максималното усилие, с което нормално се диша при нормален въздух.

Трябва да се отбележи, че не само обемни процента на  $O_2$  е важен за човешкото дишане, но и частичното налягане. Например, частичното налягане на  $O_2$  намалява по-бързо, докато процента на  $O_2$  си остава постоянен. Например, частичното налягане на  $O_2$  на ниво 2000 м над морското равнище е 17,7 кРа (177 милибара), което е еквивалентно на дишания въздух, в който концентрацията на  $O_2$  е намалена до 17,5%.

### **Как тялото елиминира $CO_2$**

Човешкото тяло при средни условия вдишва въздух, който съдържа около 21% кислород и 0,03 %  $CO_2$ . Издишваният въздух съдържа около 15 до 16,3%  $O_2$  и около 4,5%  $CO_2$ , който е достатъчно да се възстанови човек използващ използвания въздух за съживяване. Човек в покой вдишва и издишва около 6 л въздух на минута, но при стрес това може да се покачи до повече от 100 л на минута.

Нивото на  $CO_2$  в кръвта е важен стимул за дишане. Нервните рецептори в аортата, близо до сърцето и каротидните артерии, които минават до главата и врата, наблюдават промените на концентрацията на  $CO_2$  в тялото. Ако количеството на  $CO_2$  в кръвта се повишава, и двете и честотата и дълбочината на дишането се увеличават. Промените на нивата на кислород също се наблюдават, но рецепторите не са толкова чувствителни на промените на кислорода, както на промените на  $CO_2$ .

Обменът на двата газа се прави в дробовите чрез дифузия покрай стените на въздушните мехурчета (алвеолите). Кислородът от вдишания въздух се разпространява покрай линията на алвеолите и се влиза в циркулация в кръвта.  $CO_2$  се движи в обратната посока. Газовете се транспортират между клетките и дробовите чрез циркулация на кръвта. Газ с висока концентрация (или частично налягане) ще се придвижи до област с относително ниска концентрация (или частично налягане), докато не се постигне равновесие. Това позволява на  $CO_2$  в тялото да бъде в относително висока концентрация да дифузира от капилярите във вдишания въздух в дробовите. (Smith, G.K., 1993&1997b).

### **Прост тест за лош въздух**

В болшинството от случаите на лош въздух в пещерите, истинска опасност представлява концентрацията на  $CO_2$ , което е главния фактор човешкото тяло да увеличи честотата на дишане. Продължително излагане на  $CO_2$  с концентрация само 6% или повече може да бъде достатъчно да причини задушаване. В болшинството от случаи, ако човек в пещера има някои от симптомите на увеличен  $CO_2$ , един прост тест може да бъде полезен: "тестът на открития пламък": **но необходимо е да се знае, че този тест не е сигурен да определи точната концентрация на  $CO_2$ .**

Тестът на открития пламък се състои в запалването на клечка кибрит или запалка, или да се носи запалена свещ при подозрение в лош въздух. Ако пламъкът угасва, има лош въздух.

Където е възможно е добре да се използва газова запалка, за да се избегнат неприятните газове от кибрита, когато се тества качеството на въздуха в пещерата. (Smith, 1997a).

Лабораторното тестване на лош въздух е доказало, че запалването на кибритена клечка, свещ или газова запалка ще намали концентрацията на кислород от около 14,5 до 15%. На практика хората могат да оцелеят в атмосфера, съдържаща 10% кислород, така че когато пламъкът само намалява, във въздуха все още остава достатъчно кислород за да се оцелее.

### **Тест на открития пламък**

Тъй като повишаването на нивото на  $\text{CO}_2$  в пещерите *обикновено* се съпровожда с намаляване на  $\text{O}_2$  пещерняците от много години използват тестът на открития пламък за да определят дали въздухът съдържа твърде много  $\text{CO}_2$ .

Тестът на открития пламък се състои в запалването на кибритена клечка или газова запалка, или носене на запалена свещ в пещерата, където се предполага наличие на лош въздух. Когато бъде достигната определена концентрация, пламъкът ще угасне. Този тест има широко приложение сред пещерняците като относително точна индикация на концентрация на  $\text{CO}_2$ .

Аз съм прилагал разширени тестове в контролирани атмосфери, които показват, че тестът на открития пламък *не е сигурен* за концентрации на  $\text{CO}_2$ , освен да покаже, че въздухът на пещерата може да е опасен за живота на човека. На практика, тестът на открития пламък измерва само концентрацията на  $\text{O}_2$ , а  $\text{CO}_2$  има толкова малко влияние върху горенето, че може да бъде игнорирано в последователността от концентрации, откривани в пещерата.

Снимка...

Снимката е направена в пещерата Грил в Австралия, където намесата на  $\text{CO}_2$  с висока концентрация се среща и  $\text{O}_2$  е по-малко от 15%. Газовата запалка е запалена в добър въздух и постепенно намалява пламъка в лош въздух. 25мм пламък гори точно над нивото на недостатъчния  $\text{O}_2$ . Снимката показва, че в лошия въздух няма достатъчно кислород за поддържане на горенето, но 75 мм по-нагоре, има достатъчно кислород.

Този феномен не се забелязва при твърди горива като кибрит и свещи, тъй като топлината от пламъка изпарява пречещите на горенето компоненти.

### **Действия при високи нива на $\text{CO}_2$**

При най-малкото съмнение за лош въздух трябва да бъде направен теста, и ако пламъкът угасне, тогава всички членове на екипа трябва да незабавно да напуснат пещерата в ред и без паника. Неопитните пещерняци в групата трябва да бъдат специално наблюдавани и водени до изхода.

Когато се предприемат спускания във вертикални пещери, които могат да съдържат  $\text{CO}_2$ , първият слязъл долу човек трябва да провери внимателно за  $\text{CO}_2$ .

Пещерняците трябва да влизат в области с лош въздух само при изключителни случаи, като при операции за издирване и спасяване, проучване или научна работа. При тези обстоятелства трябва да се вземат специални мерки за сигурност, за да се осигури безопасността на групата.

### **Заключителни бележки**

В болшинството от случаите в пещерния въздух се наблюдава повишена концентрация на  $\text{CO}_2$  в комбинация с изчерпване на  $\text{O}_2$ . Високите концентрации на  $\text{CO}_2$  са най-заплашващите живота ситуации, срещани под земята.

Обратно, заплашваща живота ниска концентрация на  $\text{O}_2$  се среща рядко, но когато  $\text{CO}_2$  е много висок, за да е опасен за хората, обикновено няма достатъчно кислород за да поддържа горенето.

Първите физиологични признаци на високи нива на CO<sub>2</sub> включват повишен пулс и честота на дишането, главоболие, непохватност, умора, тревога и загуба на енергия. Ако вие или член на групата има някои от тези симптоми които са странични ефекти от отравяне с CO<sub>2</sub>, направете простият тест с открития пламък на запалка. В *большинството* от случаите, ако човек има някои от тези симптоми, характеризиращи нарастване на концентрацията на CO<sub>2</sub>, тестът с открития пламък ще се провали?. Ако запалката(кибритът) не се запалят, предупредете другите и опразнете пещерата по безопасен начин. **Обаче, тестът с открития пламък не е изцяло сигурен за концентрацията на CO<sub>2</sub>.**

CO<sub>2</sub> при внимателно отношение не е по-опасен от другите опасности в пещерите. Независимо от възможните опасности, спелеологията е по-безопасна от шофирането, което повечето приемат за дадено. Най-добрият съвет е “Ако се съмняваш, излизай навън”.

CO <sub>2</sub>	Ефекти
0.03 %	Не се случва нищо, защото това е нормалната концентрация на CO <sub>2</sub> във въздуха
0.5 %	Белодробната вентилация се повишава с 5% - участва се дишането. Това максималната безопасна концентрация за 8-часов работен ден в индустрията (Австралийски стандарт)
1.0 %	Могат да се появят симптоми като: усещане за топло и студено (влажно); липса на внимание към детайлите; умора; отпадналост и загуба на енергия, първите белези на което е слабост в коленете (меки колена); тревога (безпокойство).
2.0 %	Белодробната вентилация се повишава с 50 %, след няколко часа престой се появява главоболие; Акумулацията на CO <sub>2</sub> в тялото след продължително дишане на въздух съдържащ 2 или повече % ще тормози функциите на организма като причини течности в него да станат много кисели. Това довежда до загуба на енергия и усещанията се снижават (спадат) дори след напускането на пещерата. За да възстанови нормалният си метаболизъм на човек могат да са му необходими повече от няколко дена в безопасна среда .
3.0 %	Белодробната вентилация нараства с 100%, ..... ?
5-10 %	... .. до нивото на изтощение .... от дишането и много силно главоболие. по-дългото излагане на 5% може да доведе до невъзвратими промени за здравето. Продължителното излагане на 6% и по-висока концентрация може да доведе до загуба на съзнание и смърт.
10-15%	... .. много силно главоболие и бързо изтощение. Излагането за няколко минути ще доведе до загуба на съзнание и задушаване без предупреждение.
25-30%	Много високите концентрации ще доведат до кома и конвулсии в рамките на една минута от излагането. Сигурна смърт.

Таблица 1. Ефекта от повишаване на нивото на CO<sub>2</sub>

O <sub>2</sub>	Симптоми
21-14%	Първите отличителни знаци с увеличаване на честотата и обема на дишането, ускорен пулс и намаляване на способността за концентрация на вниманието.

14-10% Продължава състоянието на съзнание, но преценката за действие вече е погрешна. Бързо... последвано от ... Засегнати са емоциите, в частност, бързото разгневяване и избухване.

10-6% Може да причини ... и повръщане. Загуба на способността за бързо движение или изобщо загуба на способността за движение. Често жертвата може да не съзнава, че нещо не е в ред докато не загуби съзнание или е неспособна да върви или пълзи. Дори ако ... е възможно, може да настъпи трайно увреждане на мозъка.

под 6% ... дишане. Конвулсивни движения могат да се появят. Дишането спира, но сърцето може да продължи да бие още няколко минути - неизбежна смърт.

Таблица 2 - Ефекти на ниските концентрации на кислород.

**Превод от английски: Магдалена Стаменова и А.Жалов**