

Zusammenfassung:

Verfasser geben eine kurze übersicht des Schrifttums über die Rolle der Dextrose bei der Heilung entgiftender Leberprozesse und der Strahlenschäden. Sie stellen fest, dass die Dextrose eine je nach dem Mäusestamm unterschiedliche Schutzwirkung gegen Strahlungsschäden ausübt. Den Mechanismus dieser Schutzwirkung erklären Verfasser mit der Erhöhung des Blutzuckerspiegels und mit der Schutzfunktion der Leber. Auch werden die Möglichkeiten für die Erklärung des Unterschiedes im Verhalten der beiden verschiedenen Stämme behandelt. Es gelang den Verfasser nicht, durch die Versuche die gute Schutzwirkung der Fruktose nachzuweisen.

Az explozív dekompresszió kísérletes vizsgálata

Írta: **Halm Tibor** dr. orvosalezredes,
az orvostudományok kandidátusa.

Az emberi szervezetet körülvevő túlnyomásnak *robbanásszerű* csökkenése a repülés jelen napjainak és közel jövőjének egyik legidősebb és még eléggé meg nem oldott repülés-életlani problémája. Ez készített bennünket is, hogy lehetőségeinkhez mérten modell- és állatkísérletek elvégzésével a gyakorlatban előttünk eddig ismeretlen kérdéshez közelebb jussunk. Egyébként munkánk az adja meg jelentőségét, hogy a külföldi szakirodalomban ismertett állatkísérletekhez képest viszonylag a legnagyobb robbanási felületet és a legnagyobb fizikai megterheléseket alkalmaztuk.

Mielőtt rátérnénk kísérleteink részletezésére, röviden vázoljuk a kérdés repülés-életlani jelentőségét, elhagyva egyéb gyakorlati vonatkozásait (búvár-, kesszonmunka).

Az ember 12 000 méter felett, vagyis kb. 1/6 atmoszféránál kisebb nyomás alatt még tiszta oxigén-légzés esetén sem képes tartózkodni. Ezért alkalmazzák a repüléstechnikában a túlnyomásos elvet, amelynek lényege az embert körülvevő közvetlen térnek a légmentes elzárása ún. túlnyomásos kabin vagy túlnyomásos ruha segítségével. Ha a túlnyomás valamilyen technikai oknál fogva vagy harci tevékenység révén *hirtelen* megszűnik, úgy ezen folyamat alatt olyan rohamosan változó környezeti nyomásnak van kitéve a szervezet, amelynek életlani hatásával feltétlenül foglalkoznia kell a kísérletes orvostudománynak.

Az explozív dekompresszió — mivel állandó hőmérséklet esetén a térfogat fordítottan változik a nyomással — veszélyezteti a szervezet mindazon részeit, amelyekben nagyobb mennyiségű gáz vagy levegő van. Ezek a gyomor-bélrendszer, a tüdő, az orr-melléküregek és a középfül. Mivel ép viszonyok között a középfülnek és az orrmelléküregeknek szabad közlekedésük van a levegővel, a bennük hirtelen táguló levegő nyílásaikon át távozza, nem fenyegeti ezek épségét. Ha a hangrészlet és az egyén a kilégzési fázisban van, a tüdőben kitáguló levegő könnyedén eltávozik. Zárt hangrészlet esetén és belégzési állapotban súlyosan sérülhet a tüdő állománya a növekvő intrapulmonális nyomás folytán. A hirtelenül táguló gyomor-bélgázok fájdalmas feszüléseket okozhatnak, melyek néha shockszerű reakciót válthatnak ki, amennyiben nem tudnak természetes úton távozni. A hasüregben bekövetkező hirtelen tágulás a rekeszt erősen felnyomja.

Az explozív dekompresszió veszélyeit különbözőképpen ítélték meg. Eleinte, míg tisztán elméleti elgondolások alapján foglalkoztak a kérdéssel, úgy gondolták, hogy hatása a szervezetre végzetes. Ezzel szemben ma az általános vélemény, amit emberen végzett megfigyelések és állatkísérletek is bizonyítanak, hogy az explozív dekompresszió kockázata nem nagy, mert még tengerszinti nyomásról 15 000 méterre uralkodó alacsony nyomásra való hirtelen kiegyenlítődé is jól elviselhető, ha a kiegyenlítődé után nyomban 100 százalékos oxigént kap az egyén túlnyomás alatt.

Az elmondottak alapján és elvégzett állatkísérleteink nyomán az explozív dekompresziót — anélkül, hogy a emberi szervezetre vonatkoztatnánk bármit is kísérleteinkből — nem tartjuk minden kockázat nélkül valónak, amennyiben a fizikai körülmények olyan extrém értékűek, mint amilyeneket magunk szabtunk kísérleteinkben. Mivel az elszüvedett élettani megterhelések éppen a kísérletekben alkalmazott fizikai feltételek függvényei, a következőkben ezeket fogjuk kissé részletesebben ismertetni.

Kísérleteinkhez egy nyitott kis kamrát helyeztünk egy nagy kamrába. A nagy kamra szivattyúval van összekötve. A nagy kamrában tartózkodó kísérletező a kívánt alacsony nyomáson elzárja a kis kamrát s a zsilipen keresztül távozik a nagy kamrából. A szivattyú tovább ritkítja a nagy kamra légerét. Így az elzáráskor lehet például a kis kamrában 1/2 atmoszféra nyomás, ami megfelel körülbelül 5500 méternek, míg a külső nagy kamrában például 1/6 atmoszféra, vagyis körülbelül 13 000 méternek megfelelő nyomás. A gyakorlati analógiában a kis kamra megfelel a túlnyomásos kabinnak, míg a nagy kamra légtere a repülési magasságnak. A kísérleti jelenség előállításához feladatunk, hogy a nyomáskülönbséget a lehető leggyorsabban kiegyenlítsük. Az explozív dekompreszió létrehozásához a kis kamrán olyan folytonossági hiányt kell hirtelenül létrehozunk, amelyen keresztül a légnyomáskülönbség a lehető leggyorsabban ki tud egyenlítődni. Mivel mind a kísérleti berendezést, mind pedig a kísérlet menetét magunknak kellett kidolgoznunk, illetve előállítanunk, ezért a következőkben először magát a kísérleti berendezést, az explozív dekompresziós kamránkat, majd a robbantási technikánkat és az ezzel kapcsolatos méréseinket, valamint ezek kapcsán végzett megfigyeléseinket fogjuk közölni.

A kis kamra 3 mm falvastagságú, 80 liter űrtartalmú fekvő vashenger, melynek mindkét fedelét két-két billenő csavar szorítja oda a kamra testéhez. Az ajtók légmentes záródását az érintkező felületeken gumitömítések biztosítják. Az ajtókon csaknem az egész ajtófelületet kitevő ujjnyi vastag, átlátszó plexiüveg biztosítja, hogy az egész kísérlet tartama alatt a kísérleti állatok jól megfigyelhetők legyenek. A kamra oldalán a levegő vagy esetleges gázok be- vagy kiengedésére egy-egy csap látható. Az elektromos átvetések egy többerű kábel átvezetését biztosító csatlakozó teszi lehetővé. A kamra tetején látható a biztonsági szelep és egy-egy nyomásmérő (egyik az alacsony nyomás, másik a túlnyomás mérésére). A tetején levő plexiablakon keresztül a kamrában levő állatokat tudjuk megvilágítani.

Ahhoz, hogy az explozív dekompresziót keresztül vihessük, bizonyos szempontokat kellett megfontolás tárgyává tennünk. Ugyanis a kamra egyik végének befedésére olyan anyagot kellett választanunk, mely membránszerű és az alábbi követelményeket elégíti ki:

1. megfelelő szilárdsággal kell rendelkeznie ahhoz, hogy a kísérleteknél alkalmazott különféle nyomáskülönbségeket kibírja;
2. léghatlanak kell lennie ahhoz, hogy a nyomáskülönbséget létre tudjuk hozni;
3. A membránnak, lehetőség szerint, átlátszónak kell lennie, hogy a légnyomás kiegyenlítése előtti jelenségek a kamrában jól megfigyelhetők legyenek;
4. fontos, hogy kívánatra a kis kamra és a nagy kamra közti nyomáskülönbség kiegyenlítését a másodpercek kis töredékei alatt létre lehessen hozni, tehát az úgynevezett robbanás rövid ideig tartson.

Az említett feltételeknek megfelelni látszott a hirtelen lobbanással eléző röntgenfilm, melyet elektromos úton gyűjtöttünk meg. Ez azonban sokszor

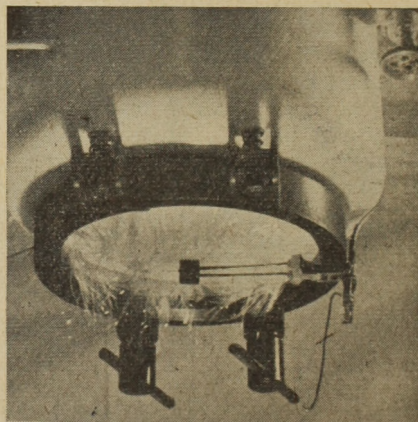
körülményes és veszélyes volt, amikor például a kísérleteknél jelentkező hipoxia csökkentésére oxigénnel töltöttük kamránkat. Sokkal megfelelőbbnek bizonyult az irodalomban többek által is ajánlott celofán papír, mely megfelelő méretezés esetén a fenti követelményeknek kiválóan megfelelt. A kereskedésben kapható háztartási celofán azonban nem bizonyult elég szilárdnak, ezért a gyárban vastagabb íveket rendeltünk.

A kísérletekhez választott „viszkóz eljárással” előállított celofán lapok vastagsága körülbelül 0,05 mm s azokat felhasználás előtt száraz helyen tároltuk. A választott celofánlapokat úgynevezett repesztési próbáknak vetettük alá, repesztő szilárdságuk meghatározására, illetőleg annak megállapítására, hogy a kísérleteknél mutatkozó nyomáskülönbségeket kibírják-e, vagy esetleges inhomogenitások nem zavarják-e a robbantások egyenletességét.

A repesztő vizsgálatok alapján kapott eredményeket átszámítva, egy 260 mm átmérőjű befogásra (ekkor a kis kamra ajtajának, vagyis a kiegyenlítődesi felszínnek az átmérője), a következő eredményeket kaptuk:

1 réteg celofán	0,22 kg/cm ²
2 réteg celofán	0,43 kg/cm ²
3 réteg celofán	0,60 kg/cm ²

Ezen nyomásoknál repedt szét a celofán. Az eredmények alapján nyilvánvaló, hogy három rétegben kell használnunk, mert ez a szilárdság felel meg legjobban kísérleteinknél jelentkező nyomásviszonyoknak. Tervbe vettük ezért még vastagabb celofánnak a készítését, hogy egyszerűbb legyen a celofán befogása. A repesztett próbadarabok sugárirányban mutatkozó egyenletes beszakadása arra mutat, hogy a felhasznált celofánlapok szilárdságilag többé-ke-

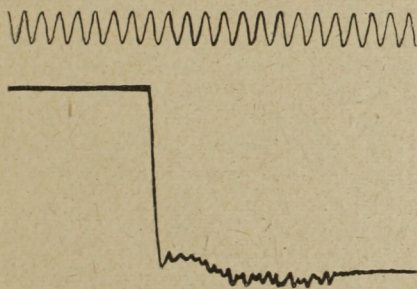


1. ábra

vésbé homogének. Hasonló homogenitásra mutató berepedési jelenségeket tapasztaltunk kísérleteink során is, amikor nem pusztán nyomással repesztjük szét, hanem amikor túvel megszúrjuk a legnagyobb elődomborodás helyén. A celofánlapokból megfelelő köröket vágunk ki, azokat összefogjuk és az egyik ajtón a plexiüveg helyett illesztjük be légmentesen. Ha a külső nagy kamrában a kis kamra hermetikus elzárása után ritkítjuk a levegőt, úgy a kis kamrán alkalmazott celofán megfeszül és erősen elődomborodik. Az elődomborodó celofánban húzó-feszültségek lépnek fel. Amíg ezek a feszültségek egy bizo-

nyos értéket el nem érnek, a celofán ép marad. A sértetlen celofánban fellépő feszültségek növekszenek, ha a nyomáskülönbségek nőnek. Ha a celofán-hártyát kilyukasztjuk, úgy már aránylag kicsiny nyomáskülönbségeknél is sugarasan szétreped a szorosán összefekvő három celofánlemez. Ennek oka, hogy a szűrt lyuk körül a feszültségek egyensúlya megbomlik s ez az egész összetett hártya szétrepedését vonja maga után. A szakadás a lyuktól kiinduló sugaras vonalak mentén történik a legnagyobb húzófeszültségeknek megfelelően. Az 1. sz. ábra a robbanás pillanatát ábrázolja. Jól látható, hogy a kiáramló levegő a celofánszalakat kifelé sodorja.

Mivel a kísérleti feltételek szerint a nyomáskiegyenlítődesnek olyan magasságban kell bekövetkeznie, ahol az ember túlnyomás nélkül már nem tartózkodhat, ezért a celofán szétrepesztését kívülről kell megindítani. A nagy kamra falán át, légmentes úton egy hosszabb exponáló zsinórt vezetünk, mely az elsütőszerkezetet hozza működésbe. Ez a berendezés egy a celofán legnagyobb domborulatának megfelelően felfüggesztett súly, amelyben egy hegyes tű van felerősítve. Ha az exponáló zsinórt működtetjük, úgy a felfüggesztett



2. ábra

súly megindul útján s a domborodó celofánt legnagyobb elődomborodása helyén kilyukasztja s ez megindítja a celofán pillanatok alatti teljes szétrepedését. Újabban már elektromágnes segítségével működtetjük kívülről az elsütőszerkezetet.

Mielőtt az állatkísérleteket megkezdtük, kísérletileg megállapítottuk a robbanás fizikai adatait, a nyomáskülönbségeket, a robbanás lefolyását, a légnyomás kiegyenlítődesének idejét. Ezért az első kísérleti sorozatban kísérleti állatokat nem is használtunk.

Egyik legfontosabb adat, amelyet ismernünk kell, az a nyomás kiegyenlítődesének ideje. Ezt az időt különböző kiegyenlítődesi keresztmetszetek mellett sorozatban mértük. Ezeket a méréseket a Geofizikai Intézet együttesének (Gálfi, Liptai) közreműködésével végeztük. A nyomás kiegyenlítődesek mérése fénymutató, membrános nyomásmérővel történt, amely a nyomás változását fotografikusan regisztrálta (2. sz. ábra). A nyomáshullámoknak rugalmas lemezeire gyakorolt deformációját fogjuk fel s ez az önindukció változása folytán feszültségváltozásokat okoz, amelyek a nyomásváltozásokkal arányosak. Azt az időt mértük, amely a robbanás pillanatától a teljes kiegyenlítődesig eltelt, mégpedig különböző kiegyenlítődesi keresztmetszetek alkalmazása esetén. A nyomáskiegyenlítődesést a teljes robbanási keresztmetszet mellett, még nyolc különböző átmérőjű rekesz felhasználása mellett is megmértük. A különböző átmérőkhöz tartozó nyomás-diagrammok alapján nyilvánvaló, hogy a nyomás-kiegyenlítődes, bár nagy mértékben függ a különböző kiegyenlítődesi kereszt-

metszefektől, mégis mindig ugyanúgy, exponenciálisan történik, vagyis a robbanást követő pillanatban a legmeredekebb a görbe s így valószínűen a görbének ehhez a meredek szakaszához fűződnek leginkább az élettani elváltozások is. A különböző átmérőkhöz tartozó teljes kiegyenlítődesi idők a következők:

Átmérő cm	26	12	2,5	1,8	1,6	1,1	0,9	0,7	0,25
Idő mp-ben	0,013	0,082	2	4	6	10	12	22	162

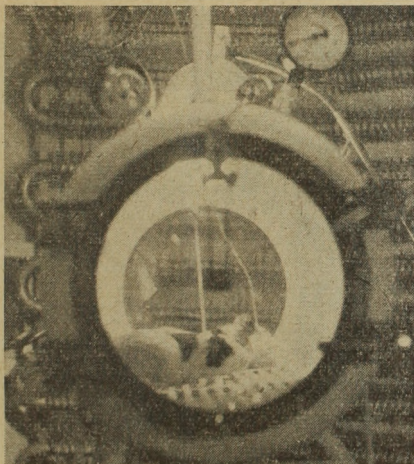
Megjegyezzük, hogy a műszer tehetetlenségi ideje körülbelül 5 millisec, amit a fenti értékekből le kell vonnunk s így a 0,013 mp valójában 0,008 mp-t jelent. A táblázat alapján látható, hogy minél kisebb a kiegyenlítődesi felület átmérője, annál lassúbb a kiegyenlítődes. Bizonyos fokig a nyomáskülönbség is befolyásolja a kiegyenlítődes idejét, mert nagyobb nyomáskülönbségek esetén a kiáramlás nagyobb sebességgel történik. Azonban nagy nyomáskülönbség esetén — mindaddig míg a nyomásviszony nagyobb kettőnél — a közeg áramlása a hangsebességgel történik. Természetesen nem egyedül a kiegyenlítődes ideje a döntő az élettani elváltozásokat illetően, hanem a nyomásviszonyok mellett szerepet játszik a nyomáskülönbség maga is. Tehát ugyanazon kiegyenlítődesi sebességek esetén, a nyomáskülönbségeket is figyelembe kell vennünk. Minél nagyobb nyomáskülönbség minél kisebb idő alatt egyenlődik ki, annál nagyobb az élettani hatás.

Az irodalomban ma általában az úgynevezett explosiv dekompressziós koeficientst használják az élettani hatás érzékeltetéséhez. Ez a méterekben kifejezett robbanási felület az ugyancsak méterekben kifejezett köbtartalom viszonya ($K = \frac{m^2}{m^3}$). Kísérleteinkben ez az együttható a következő: $K = \frac{0,13^2 \cdot \Pi}{0,08} = 1/1,5$. Az explozív dekompressziós együttható szabatos meghatározás a fizikai megterhelések szempontjából fontos, mert lényegében a bekövetkező nyomásváltozások folyamatát fejezi ki. Ugyanis minél nagyobb a kiegyenlítődesi keresztmetszet, annál rövidebb idő alatt változik a nyomás, és minél nagyobb az edény köbtartalma, annál lassúbb a kiegyenlítődes (kétszer akkora térfogat, kétszer annyi idő alatt egyenlődik ki). A kamra alakjával nem igen kell számolnunk, mert többnyire egyszerű hengeralakok használatosak. Irodalmi adatok szerint, ha az explozív dekompressziós együttható $1/2$, úgy már kétszeres nyomáskülönbség is veszélyes lehet. Ha viszont az együttható $1/100$, úgy csak tízszeres nyomáskülönbség jelent veszélyt a szervezetre.

Az explozív dekompresszió néhány fontos fizikai adatának tisztázása után, rátérünk állatkísérleteink ismertetésére. Kísérleteink javarészt tengeri malacokon végeztük. A nyomáskiegyenlítődes legkedvezőbb lehetőségét választottuk legtöbb kísérletünkben, ami 26 cm átmérőjű celofánnak a sugaras szétrepesztését jelenti, vagyis a 80 literes kis kamránk esetében $1/1,5$ értékű együtthatóval való kísérletezést jelent. Az általunk ismert irodalmi adatok szerint ilyen nagy együtthatóval még nem dolgoztak. Ez megfelel a feltűnő rövid, század másodpernyi kiegyenlítődesi időnek, szemben az irodalomban legtöbbször szereplő tized másodpercekkel. A kísérleteket 5500 méterről, körülbelül $1/2$ atmoszféra nyomásról, 20 000 méternek megfelelő $1/20$ atmoszférára hajtottuk végre, ami tízszeres nyomáscsökkenésnek, tehát szintén egy viszonylagosan szélsőséges irodalmi értéknek felel meg. Kísérleteinknél a teljes kiegyen-

lítődési idő — amint az a fenti táblázatból kitűnik — 13 millisec. A nyomáski-egyenlítés után nyomban azonnal növeltük, a lehető leggyorsabban (kezdetben 350 m/sec) a nagy kamra nyomását, vagyis a leggyorsabban magasságcsökkentést hajtottunk végre, hogy lehetőség szerint elkerüljük, illetve csökkentjük a hipoxia zavaró hatását. Általában 60 mp alatt értük el az 1 atmoszféra tengerszinti magasságot. Néhány, 1 atmoszféráról 1/5 atmoszférára, egy- század másodperc alatt történt expozíciót úgy végeztünk, hogy a nagy kamrát oxigénnel töltöttük fel s így a kísérleti állat elkerülve a hipoxiát, 150 Hg mm oxigén nyomásba jutott, amit azután 30 percen át is jól tűrt.

Allatkísérleteinket, amelyekről a következőkben részletesen beszámolunk, úgy folytattuk le, hogy a kis kamrát nyitott állapotban a kísérleti állattal elhelyeztük a nagy kamrába. A kísérletező együtt emelkedett a nyitott kis kamrával a nagy kamrában s anélkül, hogy a nagy kamra evakuálását abbahagytuk volna, 5500 méternek megfelelő 1/2 atmoszféra nyomáson lezárta a kis

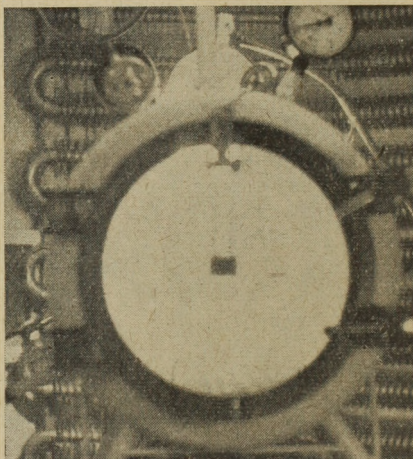


3. ábra

kamrát, megvárta míg a celofán a kis kamrában kialakuló viszonylagos túlnyomás folytán elődomborodik s azután kiszilipelte magát. A nagy kamrát tovább emeltük, amíg az 1/20 atmoszférának megfelelő, 20 000 métert el nem érte s így a két kamra között tízszeres nyomásviszony alakult ki. Közben a nagy kamra ablakán keresztül állandóan figyelemmel kísértük a kísérleti állatot. A megfeszülő celofánon át egészen tisztán látható a kis kamra belseje, amelyben a kísérleti állat a számára élettani ingert alig jelentő, 1/2 atmoszféra nyomáson nyugodtan viselkedik (3. sz. ábra). Amidőn a nagykamrában elértük az 1/20 atmoszférának megfelelő 20 000 métert, megnyomjuk az exponáló zsinórt, mire nagy dőrejjel bekövetkezik a robbanás, azaz a két kamra közti légnyomás-kiegyenlítés. A robbanás pillanatában a hirtelen táguló levegő lehűlése következtében kicsapódik a vízpára, ami 5—6 mp-ig tartó erős köd képződését okozza s emiatt nem látható a kísérleti állat (4. sz. ábra). A köd eloszlása után a legszembetűnőbb az állatok hatalmas felpuffadása, amiről az alábbiakban részletesen szólnunk. Az első tünetek a végtagokra, majd az egész törzsre kiterjedő tónikus-klónikus görcsök 8—10 mp múlva jelentkeznek. A

gyomor-bél gázok hirtelen tágulása valószínűen az okozott peritoneális izgalmak miatt csuklásszerű mozdulatokat vált ki a legtöbb tengeri malacon. Néhány mp alatt, rendszeren 20 mp-en belül, az állat elterül és mozdulatlanul fekszik a nagyfokú oxigénhiány következtében. Többnyire ebben a pillanatban kezdjük meg a gyors leszállást, vagyis a nagy kamrába több szelepen keresztül levegőt engedünk be. Az esetek túlnyomó többségében az állatok leszállás közben, tehát 1 percen belül ismét magukhoz térnek, 6—7000 méternek megfelelő nyomáson, vagyis akkor, amikor már elegendő oxigén áll rendelkezésükre, életfolyamataik biztosítására. A kísérlet befejeztével az állatok az átélt események következtében csendesen, féltéken egyhelyben ülnek, remegnek, légzésük szapor. Többnyire előre sejthető volt, hogy melyikük szenvedett el súlyosabb sérülést a robbanás következtében. Az ilyen állat rendszeren mozdulatlanul ül vagy oldalán fekszik s ha mozgásra készítjük, nyöszörögve, hátsó lábain húzva vonszolja magát.

Az említett kísérleti feltételek mellett 39 tengeri malacot tettünk ki 20 kísérletben hirtelen légnomás csökkenésnek. Közvetlenül az explozív dekom-



4. ábra

resszió következtében, a kis kamrában egyetlen állat sem pusztult el, bár a nagy magasságban bekövetkező hipoxia miatt mindegyik állat mozdulatlanul elterült, de — mint említettük — kisebb magasságokban a gyors leszállás következtében magukhoz tértek. Az állatok közül a robbantást követő 6—12 óra között 7 állat pusztult el. Mind a hét esetben a gyomor-bél-rendszeren megtaláltuk a sérülést. A hét ruptúra közül öt esetben a vastagbélben, közelebből a vakbél haránt-fekvetén (Zimmermann: A tengeri malac, 1948), szemben a mezenteriális széllal, 3—4 mm hosszú, éles szélű, cirkuláris irányú folytonossági hiányt találunk. Két esetben pedig a gyomor hátsó falán, közel a nagy görbülethez, 6—8 mm hosszú sugárirányú szakadás következett be. Kisebb sérüléseket valószínűen a legtöbb állat elszenvedett, mert testszerte, főképpen a savós hártályak alatt rizsszemnyi vérzéseket és a mezenteriális erekben buborékokat találtunk a boncolásoknál. Ezen kisebb sérülések tüneteket nem okoznak, mert a legtöbb állat a kísérletet követő egy-két óra múltán, rendszeren táplálkozott s megszokott módon viselkedett.

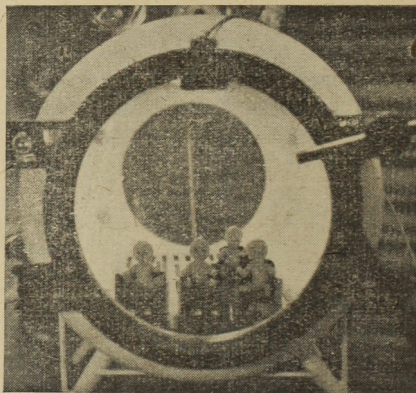
Az említett sérülések közvetlen oka nyilvánvalóan a gyomor-bél-rendszerben képződő gázoknak és a lenyelt levegőnek az alacsony nyomás hatására bekövetkező tágulása. Ezen bélgázoknak a nyomása rendes körülmények között egyezik a környező atmoszféra nyomásával. A gyomor-bélgázok is, mint minden gáz, engedelmessé válnak a gáztörvénynek, melynek értelmében állandó hőmérséklet mellett a térfogat fordítottan változik a nyomással. Ezért emelkedés közben nő a bélgázok térfogata, mégpedig a testhőmérséklettel járó telített vízgőz nyomásának (47 Hg mm) megfelelően jobban, mintha csak száraz gáz tágulna. Természetesen minél kisebb nyomás alá kerül a szervezet, annál nagyobb lesz a telített vízgőz 47 Hg mm-nyi nyomásának a jelentősége. Így például, ha 1 atmoszféráról (760—47 = 713 Hg mm) 1/10 atmoszféra (76—47 = 29 Hg mm) nyomás alá jut a szervezet, úgy a vízgőzzel felített bélgázok 76 Hg mm nyomásából 29 Hg mm marad a gázokra. Ahhoz, hogy 713 Hg mm-ről 29 Hg mm nyomás legyen, annyiszor kell tágulnia a gáznak, ahányszor a 713-ban megvan a 29, vagyis 24,5-szeresére. Ha kívül 47 Hg mm a nyomás, úgy már egyedül a telített vízgőz nyomása kiteszi az egész nyomást s így elméletileg a bélgázok végtelenné tágulnának. A gázok tágulása egyébként sem követi az ideális gázok törvényét, a gázok tágulása következtében beálló hőmérsékletváltozások következtében (úgynevezett polytrop folyamat). Amennyiben a gáz tágulása akadályba ütközik, úgy a térfogatváltozás helyett feszülést (disztenziót) okoz.

Kísérleteinkben leírt sérülések tudomásunk szerint emberen nem fordultak elő. Valószínűen a tengeri malacok könnyen erjedő tápláléka és főképpen viszonylag vékony bélfalai okozzák a kísérletekben aránylag gyakran jelentkező súlyos sérüléseket. Más állatokkal, így hat esetben fehér patkánnyal, 11 esetben házinyúllal, két esetben egészen fiatal kutyával teljesen hasonló fizikai feltételek mellett végzett explozív dekompRESSZIÓ negatív eredménnyel zárult. Sőt, hét esetben fehér patkányokkal 5000 m-ről 25 000 méterre (körülbelül 30 Hg mm) végeztünk explozív dekompRESSZIÓT, szintén negatív eredménnyel. Embereken végzett megfigyelések szerint a gyomor-bélgázok tágulása következtében az ember alacsony nyomású kamrában, ha még lassan is emelkedik, már 4—5000 méter körül feszüléseket és gázmozgásokat érez. Növekvő magasság esetén a gázok távoznak (bőfögés, flatus). Lassú emelkedés esetén (100 m/min) ritkán jelentkezik olyan fokú disztenzió, amely miatt meg kellene állnunk vagy éppen sülyednünk. Gyors emelkedés (600 m/min felett) esetén azonban a táguló gáz többnyire a megfelelő bélrészletben marad és igen erős fájdalmakat okozhat. A hasüregben jelentkező gázok tágulása a rekesz felnyomásával a légzést és a keringést is zavarja. Előfordult, hogy az erős hasúri fájdalom kamrai felszállások alkalmával shockszerű jelenségeket vagy éppen kollapszust is okozott. Ha a nyomást növeljük, vagyis a magasságot csökkentjük, a panaszok nyomban enyhülnek, de előfordult már, hogy órákon át fennállott a görcsös fájdalom.

Éppen az explozív dekompRESSZIÓVAL kapcsolatosan felmerül a kérdés, hogy vajon az állatkísérletekben említett gyomor-bél sérüléseket a gázok tágulásának *hirtelen* mivolta vagy pusztán maga a gázok tágulásának ténye okozza-e. Bizonyos, hogy a hirtelen ható erővel szemben más az anyagok szilárdsága s az explozív dekompRESSZIÓ problémája éppen e kérdés körül mozog. Említettük, hogy felszállásaink kapcsán éppen a gyors felszállások okozták a súlyosabb panaszokat. Irodalmi adatok szerint is, ha a dekompRESSZIÓ tizedmásodperces nagyságrendű, úgy már 2—4-szeres tágulás veszélyes lehet, míg ha lassúbb a dekompRESSZIÓ, úgy jóval többszörös tágulás is veszélytelen.

Kísérleteink kapcsán az a meggyőződés alakult ki bennünk, hogy az említett gyomor-bél sérüléseket nem a tágulás *hirtelen* mivolta okozza. Ugyanis egyik explozív dekompressziós kísérletünkben, melyet egyszerre három tengeri malaccal akartunk végrehajtani, a kis kamra tökéletlen hermetizálása miatt nem sikerült. Feltűnő volt már a kísérlet közben, hogy az állatok összebújtak és csendben mindvégig így is maradtak. A robbantás sem sikerült, mert a celofán nem feszült meg eléggé. A boncoláskor kiderült, hogy mindhárom állat hipoxiában pusztult el a kis kamrában, de az egyik tengeri malaccal a már előzetesen ismertetett típusos gyomor-ruptúrát találtuk.

Ugyancsak alátámasztotta fenti nézetünket a legkisebb rekesszel (0,25 cm átmérővel 162 mp alatt) végzett kísérletünk. A diafragmát a celofán mögött helyezük el. Így a celofán az ismertetett módon reped szét, de a mögötte elhelyezett diafragma csak a szűk lyukon keresztül engedi a nyomás kiegyenlítését. Két ilyen kísérletet hajtottunk végre s egyik kísérlet alkalmával az egyik tengeri malac vakbelén a fent már részletesen ismertetett típusos sérülést találtuk. Érdekes megfigyelés volt e kísérlet kapcsán, hogy a gyors zuhanás alkalmával, amikor csak kicsiny nyílás van a kis kamrán, abban kisebb lehet jóval a nyomás, mint a nagy kamrában s a levegő fordítva áramlik, vagyis a nagy kamrából a kis kamrába. Ennek analógja érdekes helyzetet



5. ábra

teremthet a gyakorlatban a hipoxia szempontjából éppenúgy, mint ahogyan a gyorsan tovaáramló levegő szívóhatása is veszélyesen alacsony nyomást hozhat létre a kabinban.

A kísérletek kapcsán jelentkező akcidenциák közül említésre méltónak tartjuk a következő esetet. A legszűkebb diafragmával végzett explozív dekompresszió végeredményét nem vártuk be, hanem gyors magasságvesztést hajtottunk végre. Még ugyanabban az órában a kísérletet meg akartuk ismételni ugyanazon kísérleti állattal, de felszállás közben, 1500 méteren az eddig semmi rendellenességet nem mutató tengeri malac élénken balra kezd forogni, hosszanti tengelye körül mindaddig, míg emelkedünk. Amikor 3000 méteren megállunk, a forgás is szünetel. Másnap a kísérletet megismételtük s a jelenség éppenúgy ismétlődött. Harmadnap azonban már 10 000 méter felett jártunk anélkül, hogy a forgás újból jelentkezett volna. Feltételezhetően a labirinthtal összefüggésben, esetlegesen buborék okozhatta a jelenséget. Mindenesetre az

a tény, hogy az első robbantás után semmiféle tünet nem jelentkezett, hanem csupán az újbóli felszállás folyamán manifesztálódott a tünet, felhívja figyelmünket a reascenziós effektusra, illetve a gyakran egymás után végzett kamrai felszállások jelentőségére.

A másik említésre méltó jelenség, amely azután az 5. sz. ábrán látható bábukkal való kísérletre ösztökélt bennünket, azt volt, hogy több esetben láttuk, hogy a robbanás pillanatában a kísérleti állatok gyakran a kis kamra tetejéhez vágódtak. Egy alkalommal pedig a celofán közelében tartózkodó kísérleti állat a robbanás pillanatában éles ívből kirepült a kis kamrából. A robbanás pillanatában ugyanis expanziós hullám indul a kamra belső felé, vagyis az a hely, ahol a nyomás csökkenése bekövetkezik, pillanatról pillanatra beljebb vándorol, mégpedig a hang sebességével. A bábukkal elvégzett kísérletek is bizonyítják, hogy a celofán közelében elhelyezett bábuk a robbanás pillanatában kisodrónak a kamrából, mert a kiegyenlítődési felszín közelében lesz a legnagyobb a kiegyenlítődési sebesség (legnagyobb a sebesség vektor). A nyomáshullám és az utána következő nagy sebességű levegősugár tehát bizonyos rombolásokat is végezhet. Mint tudjuk, az explozív dekompresszióval járó ezen hatás, már nem egyszer súlyos problémát jelentett a gyakorlati repülésben is, mert tárgyakat, sőt személyeket is magával ragadhat.

Összefoglalás: Miután ismertettük a robbanásszerű dekompresszió lényegét és tisztáztunk néhány, a jelenséggel kapcsolatos fizikai fogalmat, rátérünk állatkísérleteink ismertetésére. Tengeri malacokon végzett kísérletek alkalmával körülbelül az esetek 1/5 részében, a táguló gázok következtében, a gyomor-bél-rendszeren ruptúra következett be. A kísérletekkel járó kisebb sérüléseket és elváltozásokat nem figyelhettük meg, mert csupán a kísérletek következtében elpusztult állatokat boncoltuk fel.

Подполковник мед. сл. д-р. Тибор Хальм:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛОЗИВНОЙ ДЕКОМПРЕССИИ

Авторами трактуется сущность эксплозивной декомпрессии, объясняются некоторые физические понятия связанные с ней, потом излагаются эксперименты на подопытных животных. При исследованиях проведенных на морских свинках в $\frac{1}{5}$ всех случаев появилась руптура на желудочно-кишечном тракте вследствие расширения газов. Небольшие повреждения и изменения в ходе экспериментов мы не могли обнаружить, так как вскрывались только животные и погибшие вследствие экспериментов.

Dr. T. Halm Oberstleutnant d. San.:

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DER EXPLOSIVEN DEKOMPRESSION

Zusammenfassung:

Der Beschreibung des Wesens der explosiven Dekompression und der Klarstellung einiger mit dieser Erscheinung zusammenhängender physikalischer Begriffe folgt ein Bericht über die vom Verfasser durchgeführten Tierversuche. Bei Experimenten an Meerschweinchen verursachten die expandierenden Gase bei etwa $\frac{1}{5}$ der Versuchstiere Rupturen im gastrointestinalen Traktus. Die mit den Versuchen einhergehenden kleineren Verletzungen und Veränderungen konnten nicht beobachtet werden, da nur die infolge der Versuche zugrunde gegangenen Tiere seziiert wurden.