

Огляди

УДК 615.458:546.921+546.21

І.П.Козярін

Розріджувачі кисню. За і проти

Приведен краткий аналитический обзор, касающийся использования различных инертных газов в качестве разбавителей чистого кислорода при создании искусственных газовых смесей, применяемых в различных отраслях народного хозяйства.

Відомо, що на доставку кисню до тканин і органів впливають багато факторів, у тому числі й інертні гази, які входять до складу повітря або штучних газових сумішей. Важливість вивчення їх дії на організм людини пов'язана з тим, що на даний час в клінічній практиці, наукових дослідках, при виконанні спеціальних робіт (будівництво мостів і тунелів, освоєння глибин морів і океанів, перебування в підводних плавзасобах і літаючих апаратах) широко застосовуються штучні газові суміші (ШГС) підвищеної і зниженої густини, в яких азот повітря замінюється іншими інертними газами (гелієм, неоном, аргоном тощо), або ж їх сумішами [3, 15, 16, 52].

За даними, представленими вітчизняними і зарубіжними дослідниками [1, 9, 14, 19, 20, 24, 38, 40], відомо, що й досі нема загального підходу до доцільності застосування подібних сумішей в кожному окремому випадку. Дуже часто ці дані носять суперечливий характер. Якщо питання про вплив на організм людини чистого кисню більшою чи меншою мірою вивчено, питання про токсичність газової суміші в залежності від розріджувача (інертного газу) кисню ще тільки вивчається і чекає свого рішення [2, 3, 13, 18, 27, 28, 34, 43, 49, 54, 55].

До інертних (благородних) газів відносять аргон, неон, гелій, криптон і ксенон, які практично не утворюють сполук з іншими елементами [11] і в незначній кількості постійно присутні в атмосферному повітрі. Благородні гази широко застосовуються в багатьох важливих виробництвах. Не дивлячись на малу кількість цих газів у повітрі, їх видобувають із повітря при одержанні кисню і азоту методом низькотемпературної ректифікації. Після додаткового очищення інертні гази використовуються за призначенням. Крім добування цих газів із повітря, гелій, наприклад, добувається з природного газу деяких родовищ, в яких відносна кількість гелію становить 0,2—2,0 % об'єму.

Необхідно відзначити, що в науковій літературі повідомлення про дію інертних газів і їх сумішей на організм висвітлені дуже слабо. Так, за даними, представленими Діановим та співавт. [13], заміна азоту повітря аргоном за умов дії на організм високих і низьких температур не призво-

дить до істотних змін його діяльності, оскільки обидва інертні гази мають практично однакову теплопровідність. Автори роблять висновок, що відповідь організму на діяння екстремальними температурами при заміні азоту повітря на інші інертні гази визначається тільки теплофізичними властивостями цих газів. Такий висновок роблять і інші дослідники [5—7]. Подібні дані були одержані при вивченні наркотичної дії аргоно-кисневої газової суміші (у співвідношенні 80:20 відповідно) на організм волонтерів за умов гіпербаризму (4 і 7 атм.*) [38]. Дослідники дійшли висновку, що якісна характеристика аргону і азоту однакова за різними оцінками дії наркозу, і поставили питання про кількісне співвідношення між інертними газами як індикатора причинних механізмів дії наркозу.

При вивченні впливу азоту, гелію і неону під тиском 7,1 і 8,6 атм на організм білих щурів Thomas [56] встановив, що перебування тварин в атмосфері чистого азоту спричинює порушення орієнтації у часі, гелій викликає тільки незначні зміни часової орієнтації, а неон зменшує швидкість реакції і підтримує у тварин здатність розпізнавати час. Отже, це дослідження показало, що режим підкріплення часових характеристик поведінки у щурів дуже чутливий до дії різних інертних газів. В експериментах н.с. білих щурів-самців Говоруха [12] встановила, що заміна азоту повітря гелієм і аргоном підвищує швидкість споживання кисню в цілісній тканині печінки піддослідних тварин і не змінює її в гомогенатах цих тканин і мітохондріях, а також не впливає на активність сукцинат-дегідрогенази. Автор вважає, що заміна азоту повітря гелієм і аргоном полегшено впливає на доставку кисню до клітини.

В інших роботах [39, 56] дослідники вказують на те, що в механізмі негативної дії стиснених інертних газів (ксенону, аргону, азоту, гелію) істотну роль відіграють вільні радикали, які посилюють інгібуючу і летальну дію вказаних газів на фоні підвищеної взаємодії радикалів із клітинними компонентами і зниженого їх виходу в навколишнє середовище.

За даними, які їх отримали Іванов, Хромушкін [15] і Газенко [8], а також інші дослідники, такі рідкісні гази, як криптон, ксенон і аргон при їх використанні для розрідження чистого кисню в штучних газових сумішах сприяють розвиткові декомпресійних розладів. Ці гази мають відносно високу молекулярну масу, низьку дифузійну спроможність, тому їх використання збільшує масу газового середовища, потребує більшої витрати енергії для вентиляції, наприклад, салонів термоприміщень і тощо [8, 9].

Загальновідомо, що повітря майже на 80 % складається з азоту, який добре розчиняється в рідинах і тканинах (особливо в жировій) внаслідок чого при перепадах барометричного тиску він може відносно легко виділятися як газ, утворюючи бульки, які спричиняють розвиток декомпресійних розладів [1, 5, 6, 8, 9, 23]. При цьому необхідно підкреслити, що створення бульків може мати місце не тільки при різних коливаннях барометричного тиску, зумовлених аварійними обставинами, але й у випадках виконання деяких робочих операцій, як, наприклад, шлюзування кесонів, вихід у відкритий космос та інших.

Експериментальні досліді, проведені у нас і за рубежом, показали, що присутність азоту у газовій суміші не обов'язкова, тому що його біологічна роль в організмі зводиться головним чином до підтримування відповідного об'єму порожнин тіла [1, 2, 17, 18, 29, 37]. Проте, на підставі дослідів Allena [31], заперечувати біологічну роль азоту для діяльності організму

* 1 атм (атмосфера фізич.) = 101,325 кПа.

тварин і людини недоцільно. Автор показав, що за умов атмосфери, яка складалася з чистого кисню, при тиску 190 мм рт.ст. спостерігається затримка розвитку судинної системи ембріонів курчат, і вважав, що причиною цього явища є відсутність азоту в газовому середовищі. Цей висновок був підтверджений і дослідями Агаджаняна [1], виконаними за подібних умов, які показали, що тривале (100 діб) перебування тварин в атмосфері чистого кисню призводить до збільшення строків вагітності у щурів, появи серед потомства мертвонароджених, відставання їх маси від маси контрольних тварин, народжених за звичайних умов.

На превеликий жаль, у літературі зустрічаються лише поодинокі праці, присвячені вивченню реакцій організму у відповідь на дію підвищеного чи зниженого тиску азоту повітря. Так, Генін та співавт. [10] в 38 спостереженнях за участю 21 волонтера показали, що за умов зниженого до 250 і 180 мм рт. ст. тиску за допомогою запобіжної десатурації організму людини протягом 6 і 8 год гіпербаричній азотній атмосфері (60 % N_2 і 40 % O_2) відбулося попередження розвитку декомпресійних розладнань. У дослідях, виконаних Ахметовою та співавт. [2] встановлено, що під час перебування кішок у нормооксичній азотній атмосфері (за умов нітроксії) під тиском 6 кгс/см²* при гіпоталамічній самостимуляції спостерігаються зміни частоти самоподразнення, що пов'язано з «наркотичною» дією азоту під підвищеним тиском. Цей висновок має своє підтвердження і в дослідях Бреслава та ін. [5], які показали, що азотнокиснєве гіпербаричне середовище тиском до 7 кгс/см² підвищує активність центру дихання у кішок, а при подальшому зростанні тиску (до 11 і 21 кгс/см²) — знижує. Ці ж автори [6] встановили, що дихання гіпоксичною сумішшю (13 % O_2 в N_2) супроводжується спочатку нарощуванням легеневої вентиляції, а потім її падінням.

Збільшення концентрації гемоглобіну, гематокриту, числа еритроцитів і еритропоетичної активності плазми крові, зниження діастолічного АТ, резистентності периферійних судин, зміна показників ЕКГ і тощо у тварин і людей при їх перебуванні за умов нітроксії підвищеної діяльності за-реєстрували Волжська та співавт. [7], а також Mazurek [41]. У той же час Березовський і Носарь [4] в експериментах на кроликах показали, що наявність азоту в гіпоксичній газовій суміші (7,4 % O_2) сприяє підвищенню дифузійної здатності гематопаренхиматозного бар'єру для кисню.

Вивчаючи вплив азоту на розвиток нервового синдрому високого тиску у мишей, що знаходилися в гелій-азотній атмосфері, Brauer та співавт. [34] показали, що період розвитку цього синдрому прямо пропорційний концентрації азоту. Причому, одноразове введення азоту виявляє приблизно вдвічі нижчий ефект, ніж безперервна дія. У спостереженнях за поведінкою, реакціями мишей і функцією дихання Rokitka та співавт. [47] відзначають відсутність захисної дії азоту при отруєнні-киснем за умов високого парціального тиску (0,8; 1,0 і 1,5 атм).

Необхідно відзначити, що за певних умов (під дією ультрафіолетового променю, іонізуючого випромінювання тощо) азот може порівняно легко вступати в хімічні реакції і утворювати речовини, токсичні для організму [23]. Таким чином, вважати азот ідеальним розріджувачем кисню, особливо при створенні лікувальних газових сумішей, або штучної атмосфери гермоприміщень, не можна. Очевидно, у цих випадках використання азоту можливе при концентрації і тиску, що відповідають «земним». Тому ряд

* 1 кгс/см² = 98,0665 кПа.

дослідників [1, 11, 14] рекомендують при створенні штучних газових сумішей використовувати такі біологічно індіферентні гази, як неон і гелій. З теоретичної точки зору кращим газом-розріджувачем кисню для атмосфери у літаючих апаратах і підводних плавзасобах є неон. Але в доступній літературі відсутні будь-які дані про тривале використання неону, як основного компонента газової суміші. Зустрічаються лише поодинокі відомості про те, що цей газ використовували для дихання в підводних камерах і не виявили будь-якої негативної дії на організм [33].

В останні роки все частіше обговорюється питання про заміну в ряді випадків азоту повітря гелієм [1, 3—7, 14, 18—28, 32, 35—39, 41—56]. Можливо, це пов'язано з тим, що гелій за своїми фізико-хімічними властивостями значно відрізняється від азоту: дуже низька наркотична дія, висока дифузійна властивість, низька густина і розчинність газу у воді і ліпідах. Крім цього, гелій у 2 рази швидше, ніж азот, виводиться із організму за умов десатурації. Відомо, що коефіцієнт розчинності гелію в жирах (0,0148) значно менший, ніж азоту (0,0667), а швидкість дифузії гелію (1202 м/с при 0 °C і 760 мм рт. ст.) більша, ніж азоту (453 м/с). Гелій має значно більшу теплопровідність, ніж азот: коефіцієнт теплопровідності останнього 5,68, а питома теплоємність гелію (1,25) набагато перевищує цей показник азоту (0,25). У силу цих обставин атмосфера, що містить гелій, більш вигідна, коли необхідно вивести надлишок тепла із організму [1].

Гелій як інертний газ використовується в медицині давно. Особливо для профілактики і лікування гострої дихальної недостатності, що виникала в результаті вентиляційних порушень (гіповентиляція при ателектазі, запалення легенів, обструкція дрібних бронхів тощо), а також при парезі шлунково-кишкового тракту [1, 14, 19, 21, 22, 26, 30, 40, 54—56]. Загальновідомо, що дихальні шляхи людини являють собою складну систему, де циркулюють як турбулентний, так і ламінарний потоки повітря, що і лягло в основу теоретичного обґрунтування використання гелію при дихальній недостатності. При ламінарному потоці опір рухові газів залежить в основному від в'язкості газу, тоді як при турбулентному — від густини [8, 9, 11, 22]. Використання гелію ґрунтується на тому, що його густина в багато разів менша за густину кисню і повітря в цілому. А тому, використовуючи гази з меншою густиною, можливо значно знизити опір дихальних шляхів і тим самим набагато полегшити механічну роботу органів дихання.

Відомо, що дихальні м'язи за нормальних умов потребують 1—2 % від загальної кількості кисню, який споживається організмом. При вентиляційній недостатності дихальні м'язи спроможні використовувати до 5 % метаболічної кількості кисню, що значно погіршує наявне кисневе голодання. Використання гелію за цих умов сприяє зменшенню енергетичних затрат на дихання [1, 3, 4, 7, 20, 21, 26, 48, 50]. Слід підкреслити, що гелій має дещо більшу в'язкість і значно меншу густину, ніж повітря, тому при деяких формах обструктивної дихальної недостатності спостерігається зменшення опору дихальних шляхів рухові газів.

Літературні дані вміщують різноманітні відомості про вплив газових сумішей, виготовлених на основі гелію, на організм. Але до останнього часу відсутнє єдине фізіологічне обґрунтування необхідності використання гелієво-кисневих сумішей в кожному окремому випадку. Особливо численні відомості про дію цих сумішей з підвищеним парціальним тиском кисню в них [13, 19—22, 24, 42—44, 52—56]. Проте ці відомості часто носять суперечливий характер. Ряд праць присвячений впливу гелію на функцію зовнішнього дихання, доставку кисню в кров, киснево-транспортну

функцію крові, метаболізм тканин тощо [3, 4, 23—25, 26—28, 46—51]. Виконані дослідження показали можливість тривалого перебування людей і тварин в гелієво-кисневій атмосфері з нормальним вмістом кисню. У той же час зменшення концентрації кисню у газовій суміші, що трапляється при аварійних ситуаціях, може призвести до тяжких наслідків. Тому вивчення фізіологічних реакцій організму за таких умов набуває значного інтересу для космічної медицини і практики глибоководних занурювань.

У працях, присвячених цій проблемі, відзначається, що тривалість життя тварин у гіпоксичній гелієвій атмосфері значно довша порівняно з тривалістю життя в азотній і аргоновій атмосферах [5—9, 32—34]. Це явище автори пояснюють охолодженням тварин внаслідок високої теплопровідності гелію. В інших дослідках показано, що заміна азоту повітря гелієм активує газообмін у тварин і збільшує споживання кисню тканинами [1, 19, 51, 53]. Встановлено, що при захворюваннях органів дихання використання гелієво-кисневих сумішей полегшує стан хворих [14]. На основі цих дослідів були розраховані параметри кисневих режимів організму при диханні нормоксичними гелієво-кисневими сумішами [17, 22]. На цей час існують різні інтерпретації механізму дії гелію та інших інертних газів [21, 36, 42, 48]. Але жодна з них не дає вичерпної відповіді на питання, яким чином реалізується дія гелію на тканинному рівні. Хоча в деяких дослідках показано, що споживання кисню тканинами печінки з гелієво-кисневої суміші подібне його споживанню з ксенонової [51], а в ряді інших — що інертні гази (в тому числі гелій) спроможні змінювати проникність клітинної мембрани, впливати на транспорт кисню в клітину і на обмін речовин в ній [40, 48, 50]. За даними Fowler та співавт. [38] майже всі інертні гази в чистому вигляді спроможні спричинити наркотичну дію.

Воднево-кисневі суміші внаслідок їх вибухової небезпечності не знайшли широкого використання в практиці, хоча водень має значно більший поріг наркотичної дії, ніж азот. Крім того, водень має більшу теплопровідність, ніж азот, і меншу густину. У зв'язку з цим більш раціональним є введення в гелієво-кисневу суміш азоту, що дозволить «виправити» теплопровідність гелію, його малу густину і зменшити його витрати. Все це дає підставу віддати перевагу азотно-гелієво-кисневим сумішам, які останнім часом широко використовуються у водолазній справі [50], над гелієво-кисневими [44, 46, 47, 52].

У науковій літературі зустрічаються поодинокі повідомлення про дію на організм суміші декількох інертних газів, наприклад, тримікса (N_2+O_2+He). Так, Vaernes та співавт. [52] встановили, що за умов підвищеного тиску (51 ат*) у водолазів, які знаходилися в середовищі триміксу, зареєстровано посилення тремору, головокружіння, зменшення динамометричної сили рук тощо. Гіпертонус, м'язові спазми, хаотичний рух очних яблук, активацію міокарда спостерігали у бабуїнів Rostain та співавт. [52] у середовищі триміксу при їх занурюванні на глибину більше 600 м. Вказані зміни автори пов'язують із комплексною дією підвищеного тиску і газової суміші, де основну роль відіграє азот.

Таким чином, на основі даних літератури можна зробити висновок, що до останнього часу єдиної думки про оптимальний розріджувач кисню не існує. Для вирішення цієї проблеми доцільно провадити подальші дослідження, направлені на вивчення біологічної ролі інертних газів і їх сумішей в діяльності організму для визначення можливості їх використання в різних галузях народного господарства.

* 1 ат (атмосфера технічна) = 98,0665 кПа.

I.P.Kozyarin

OXYGEN DILUTENTS. PROS AND CONS.

The paper presents a short analytic review of utilization of various inert gases as dilutents of pure oxygen in composing artificial gas mixtures that are applied in various fields of national economy.

Institute of Advanced Medical Studies,
Ministry of Public Health of Ukraine, Kiev

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агаджанян Н.А. Организм и газовая среда обитания. — М.: Медицина, 1972. — 246 с.
2. Ахметова Г.К., Поляков Е.Л., Трошихин Г.В. Реакция самораздражения гипоталамуса у кошек в азотно-кислородной среде под повышенным давлением // Физиол. журн. СССР. — 1983. — 69, № 9. — С. 1224—1227.
3. Березовский В.А., Назаренко А.И., Говоруха Т.Н. Влияние гелия на газообмен и тканевое дыхание // Физиол. журн. — 1982. — 28, № 3. — С. 353—358.
4. Березовский В.А., Носарь В.И. Влияние гипероксических газовых смесей на массоперенос кислорода через гематопаренхиматозный барьер // Физиол. журн. СССР. — 1985. — 31, № 11. — С. 1403—1408.
5. Бреслав И.С., Исаева Г.Г. Дыхание человека при мышечной работе в условиях различного газового состава и плотности среды // Космич. биология и авиакосмич. медицина. — 1982. — № 6. — С. 182—183.
6. Бреслав И.С., Ключева Н.З., Трошихин Г.В. Влияние гипербарической азотно-кислородной среды на активность дыхательного центра // Там же. — 1981. — № 1. — С. 88—89.
7. Волжская А.М., Трошихин Г.В. Изменение кислородтранспортных свойств крови у животных после пребывания в нормоксической газовой среде повышенной плотности // Физиол. журн. СССР. — 1987. — 33, № 7. — С. 908—911.
8. Газенко О.Г., Кальвин М. Основы космической биологии (совместное советско-американское издание). — М.: Наука, 1975. — Т. 2. — С. 7—105.
9. Газенко О.Г., Пестов И.Д., Макаров В.И. Человечество и космос. — М.: Наука, 1987. — 270 с.
10. Генин А.М., Черняков И.Н., Максимов И.В. и др. Гипобарическая азотно-кислородная атмосфера как способ предупреждения высотной декомпрессионной болезни // Космич. биология. — 1975. — № 3. — С. 48—53.
11. Глизманенко Д.Л. Получение кислорода. — М.: Химия, 1972. — 752 с.
12. Говоруха Т.Н., Назаренко А.И. Влияние замены азота воздуха гелием и аргонном на интенсивность тканевого дыхания // Физиол. журн. — 1987. — 33, № 3. — С. 58—62.
13. Дианов А.Г. Физиологический аспект замены азота воздуха гелием в условиях недостатка кислорода и повышенных концентраций углекислого газа // Проблемы космич. биологии. — М.: Медицина, 1967. — С. 220—232.
14. Зальцман Г.Л. Физиологические основы пребывания человека в условиях повышенного давления газовой среды. — Л.: Медгиз, 1961. — 188 с.
15. Иванов Д.И., Хромушкин А.И. Системы жизнеобеспечения человека при высотных и космических полетах. — М.: Машиностроение, 1968. — 227 с.
16. Исаев Г.Г., Погодин М.А., Хвалибова А.И. Регуляция механики дыхания и легочной вентилляции человека при изменении сопротивления дыханию и мышечной деятельности // Человек и животные в гипербарических условиях. — Л.: Наука, 1980. — С. 21—27.
17. Козак В.А., Моисеенко Е.В., Турчин В.А. и др. Влияние плотности вдыхаемой среды на массоперенос кислорода в организме // Спец. и клинич. физиология гипоксич. состояний. — К.: Здоров'я, 1979. — Ч. 3. — С. 48—50.
18. Малкин В.Б. Влияние на организм искусственной газовой среды космических кораблей и станций (барометрическое давление и газовый состав) // Основы космич. биологии и медицины. — М.: Наука, 1975. — С. 11—74.
19. Назаренко А.И., Говоруха Т.Н. Влияние нормоксической гелиевокислородной газовой смеси на потребление кислорода тканями печени и легких белых крыс // Физиол. журн. — 1982. — 28, № 5. — С. 598—602.
20. Назаренко А.И., Говоруха Т.Н. К вопросу о влиянии гипероксических гелиево-кислородных газовых смесей на потребление кислорода тканями белых крыс // Там же. — 1985. — 31, № 3. — С. 346—349.
21. Огородникова Л.Г. Гелио-кислородная смесь и организм (гипербарический аспект) // Космич. биология. — 1979. — № 3. — С. 3—7.
22. Розова У.В. Особенности внешнего дыхания и газообмена организма при дыхании гелиево-кислородными смесями с различным содержанием кислорода // Физиол. журн. — 1982. — 28, № 5. — С. 593.

23. Савин Б.М. Теоретическое обоснование микроатмосферы кабин планетарных космических кораблей и перспективы использования для этих целей гелио-кислородных смесей // Проблемы космич. биологии. — 1965. — 4. — С. 188—193.
24. Середенко М.М., Розова Е.В. Влияние замены азота воздуха гелием на внешнее дыхание // Физиол. журн. — 1982. — 28, № 5. — С. 603—607.
25. Сушко Б.С. Особенности транспорта кислорода через оболочку ооцита: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — К., 1976. — 24 с.
26. Трошихин Г.В. Терморегуляционные реакции у крыс в гипоксической атмосфере с азотным и гелиевым разбавлением // Космич. биология. — 1972. — № 6. — С. 23—26.
27. Трошихин Г.В. Терморегуляционные реакции у животных в гелиокислородной среде // Космич. биология и медицина. — 1972. — 6, № 5. — С. 84—86.
28. Трошихин Г.В., Доница Ж.А. О токсичности кислорода в смеси с гелием // Космич. биология и авиакосмич. медицина. — 1979. — № 3. — С. 54—58.
29. Adams L.D., Cankle I.P., Mabson W.E. The study of Man during a 56-day exposure to an oxygen-helium atmosphere at 258 mm Hg total pressure // Aerospace Med. — 1966. — № 37. — P. 555—558.
30. Aanderud L., Onarheim I., Lisseboth I. Effekt of 71 ata He—O₂ on organ blood flow in the rat // J. Appl. Physiol. — 1985. — 60, № 5. — P. 1369—1375.
31. Allen S.E. Further studies on the role of nitrogen in the problem of O₂ toxicity // The Physiologist. — 1962. — № 5. — P. 98—102.
32. Bitterman U., Laor A., Nelamed G. CNS oxygen toxicity in oxygen-inert gas mixtures // Undersea Biomed. Res. — 1987. — 14, № 6. — P. 477—483.
33. Bennet P.B. The Astiologi of compressed air intoxication and inert gas narcosis. — London: Pergamen, 1966. — 27 p.
34. Brauer R.W., Hinson W.W. Effect of variations in time pattern of nitrogen addition on development of HPNS in mice // Undersea Biomed. Res. — 1983. — 10, № 4. — P. 281—298.
35. Cook B., Frank E.S. Helium comparative in vitro metabolism of mouse-tissue slices // Amer. J. Physiol. — 1960. — 199, № 2. — P. 243—245.
36. Ebert N., Hornsey S., Howard A. Effect on radiosensitivity of inert gases // Nature. — 1958. — № 4609. — P. 623—616.
37. Ernsting I. Respiration and Anoxia. The effects of Anoxia on the Central Nervous System: The Metabolic effects of Anoxia // A textbook of Aviation physiology. — London: Pergamon Press, 1965. — P. 215—302.
38. Fovler B., Ascles K.N., Pozlieor U. Effects of inert gas narcosis on behavior: a critical review // Undersea Biomed. Res. — 1985. — 12, № 4. — P. 369—402.
39. Ficini M., Oppo G.M., Mertelloni M. et al. Interferenze correlazionali tra la medicina subacquea ed i radicali liberi dell'ossigeno // Annali di medicina naturale. — 1987. — № 2. — P. 221—250.
40. Maio D.A., Noville I.R. Effect of chemically inert gases on oxygen consumption in living tissues // Aerospace Med. — 1967. — 38, № 10. — P. 1049—1056.
41. Masurek K. Investigations of exercise adaptation of the cardiovascular system in pilots breathing an oxygen — poor gas mixture. Part I. Analysis of haemodynamic parameters // Acta physiol. pol. — 1983. — 34, № 3. — P. 277—283.
42. Puling L.A. A molecular theory of general anesthesia // Science. — 1961. — № 134. — P. 15—21.
43. Ross L.A., Green H.L. Levels of short electrical shocks from a 50. He supply inducing ventricular fibrillation in hyperbaric helium and oxygen // Brit. J. Industr. Med. — 1987. — 44, № 11. — P. 764—768.
44. Risberg J., Tysselothe I. Hyperbaric exposure to a 5 ata He—N₂—O₂ atmosphere affects the cardiac function and organ blood flow distribution in awake trained rats // Undersea Biomed. Res. — 1987. — 13, № 1. — P. 77—90.
45. Rostain I.C., Gardette-chauffour M.C., Forni C. HPNS of balloons during helium-nitrogen-oxygen slow exponential compressions // J. Appl. Physiol. — 1984. — 59, № 2. — P. 341—350.
46. Robertson W.G., Nerae C.L. Study of man during a 56-day exposure to an oxygen-helium atmosphere at 258 mm Hg total pressure. Respiratory function // Aerospace Med. — 1966. — № 6. — P. 578—580.
47. Rokitka M.A., Rahn H. Effects of high O₂ and N₂—O₂ pressure on the physical performance on deep mice: preliminary studies // Aviat space environm. Med. — 1977. — 48, № 4. — P. 323—326.
48. Schreiner H.R. General biological effects of inert helium-xenon series of elements // Fed. Proc. — 1968. — 27, № 3. — P. 872—878.
49. Small A., Ide R.S., Mokray H.H. In vitro renal transport of organic ions during exposure to hyperbaric helium // Undersea Biomed. res. — 1983. — 10, № 3. — P. 157—168.

50. Socolovski E., Markiewicz L., Czermiakovka K. Effect of breathing on oxygen-helium mixture under positive pressure on biochemical parameters // *Acta physiol. pol.* — 1983. — 34, № 3. — P. 293—297.
51. South F.E., Cooc S.F. Argon, xenon, hydrogen and oxygen consupcion and glycolysis of monsetissue cloes // *J. Cen. Physiol.* — 1954. — 37, № 3. — P. 335—341.
52. Vaernes R., Hammerborg D., Ellerisen B. et al. Central nervous system reaction during heliox and trimix dies to 51 ata, deep. ex. 81 // *Undersea Biomed. Res.* — 1983. — 10, № 3. — P. 169—192.
53. Wright R.A., Lesser M.A., Weiss H.S. Metabolism and X-ray sensitivity of chick embryos ineubated in a helium-oxygen atmosphere // *Aerospace Med.* — 1964. — 35, № 3. — P. 284.
54. Wardley-Smith B., Dore C., Nonk S. et al. Effect of exposing mice to 50 ata helium pressure at different stages of pregnaney // *J. Appl. Physiol.* — 1987. — 62, № 3. — P. 976—982.
55. Ueiger C.D., Brumleve S.G., Boelkins C.N. Selective induction of liver grup — metabolising ensymes in rats exposed to a 21 ata He — O₂ environment // *Aviat space environ. Med.* — 1977. — 48, № 8. — P. 237—240.
56. Thomas J.R. Nitrogen, helium and neon effects on timing behavior at increased pressures // *Aerospace Med.* — 1973. — 44, № 1. — P. 45—48.

Ін-т удосконалення лікарів
М-ва охорони здоров'я України, Київ

Матеріал надійшов
до редакції 08.02.93