

Дослідження резистентності деяких видів безхребетних тварин до вибухової декомпресії та низького кінцевого тиску

В. Я. Луханін

*Відділ патології гіпо- та гіпероксичних станів Інституту фізіології
ім. О. О. Богомольця АН УРСР, Київ*

В літературі є велика кількість праць, присвячених дії вибухової декомпресії на організм різних тварин. В достатній мірі вивчені функціональні та морфологічні зміни. Ряд дослідників приділяв увагу також і резистентності різних тварин до вибухової декомпресії [3, 4].

Хазен [3], піддавши декомпресії тварин з 760 до 40 мм рт. ст., встановив, що мишам властива невисока стійкість до цього перепаду тиску. У щурів стійкість виявилась трохи вищою. Ще більша стійкість у морських свинок, кроликів, собак та кішок. Латнер [11] відзначав невисоку стійкість мишей до декомпресії. Вибухова декомпресія з наступною негайною рекомпресією викликала загибель 50% тварин.

Щодо причин загибелі тварин, то єдиної думки з цього питання в літературі нема.

Холл і Корей [10] в дослідях на щурах встановили, що вибухова декомпресія до 21 мм рт. ст. без наступного аноксичного періоду не викликає загибелі тварин. Не всі тварини виживали, якщо крім декомпресії їх ще витримували протягом 10 сек при зниженому тиску. Смертність тварин збільшувалась з подовженням тривалості дії зниженого тиску. Усі щури гинули при тривалості експозиції 40 сек. Експозиція тварин в 100%-ному азоті при нормальному тиску також приводила до загибелі. Тому автори вважають, що перепад тиску, супроводжуваний різким розширенням легенів, не має вирішального значення, а основним летальним фактором є аноксична аноксія. Латнер [11], в дослідях якого експозиція була практично відсутньою, гадає, що причиною загибелі тварин є перерозтягнення легеневої тканини розширенням повітрям. Розтин тварин виявив у легенях геморагічні ділянки, частина яких спрямована вздовж ребер. Подібні зміни відзначались у перикарді, тимусі, печінці, великому кишечнику, підшлунковій залозі та фалопієвих трубах.

Великого значення, як травмуючому фактору надають розширенню повітря в момент вибухової декомпресії Едельман та ін. [7].

Гелл та ін. [9] піддавали вибуховій декомпресії щурів з нормально-го атмосферного тиску до «висоти» 20 км (40 мм рт. ст.) з наступною фіксацією тварин на «висоті». На підставі цих дослідів, без рекомпресії автори роблять висновок, що тварини гинуть в перші ж секунди від перепаду тиску. Використання тварин, більш стійких до аноксії та з структурними відмінами від використаних раніше, може, на нашу думку, пролити світло на причини загибелі тварин під час вибухової декомпресії. Сприяти цьому повинно також застосування різних швидкостей декомпресії та різного кінцевого тиску.

Методика досліджень

В наших дослідях тварин піддавали дії як вибухової декомпресії, так і повільної, використовуюваної як контроль. Повільну декомпресію з 760 мм рт. ст. до кінцевого тиску 50, 20 або 1—2 мм рт. ст. здійснювали відкачуванням повітря з барокамери об'ємом 0,01 м³ протягом 1—2 хв. Вибухову декомпресію досягали швидким приєднанням камери, в якій знаходились тварини, до більшої камери, де спочатку створювали потрібне розрідження. Різні швидкості вибухової декомпресії досягали використанням камер різного об'єму, в яких знаходились тварини. Коефіцієнт витікання в одних дослідках становив 2,6 м²/м³, в інших 0,16 м²/м³, а відношення тиску — 16, 35, 512.

Тиск вимірювали з допомогою ртутного манометра. Піддослідними тваринами були інфузорії (*Paramecium caudatum*), гідри (*Hydra fusca*), слимаки (*Arion hortensis*, *Planorbis corneus*) та черв'яки (*Lumbricus terrestris*).

Досліди проводили у дві серії. У першій серії тварини зазнавали дії і повільної, і вибухової декомпресії, знаходячись у воді.

У другій серії частину тварин піддавали декомпресії до згаданих величин, в звичайних умовах. І в першій, і в другій серіях досліджували вплив як декомпресії, так і декомпресії з наступною експозицією до кінцевого тиску. Стійкість тварин визначали за стопроцентною їх загибеллю. Проведено як макро-, так і мікроскопічне дослідження змін у тварин у процесі декомпресії, експозиції до низького тиску і після рекомпресії. У частини тварин досліджено вплив різних швидкостей рекомпресії: в 1, 5, 10, 20, 40 та 60 сек. Ряд дослідів проведено із застосуванням множинної вибухової декомпресії з наступною негайною рекомпресією. В кожному досліді з повільною декомпресією використовували десять тварин певного виду.

Результати досліджень

Всього з тваринами, що знаходились у воді, було проведено понад 200 дослідів. Інфузорії, гідри, черв'яки та слимаки зазнавали дії повільної та вибухової декомпресії двох швидкостей. Крім того і кінцевий тиск був різним. Тварин піддавали декомпресії до 50, 20 або 8—3 мм рт. ст. Остання величина тиску залишалась нечіткою у всіх дослідках, де тварин піддавали декомпресії у воді. Внаслідок бурхливого «кипіння» води неможливо було домогтись більш низького розрідження в наших умовах. У всіх цих дослідках, незалежно від швидкості декомпресії та величини кінцевого тиску, тварини переживали експозицію в 12 год. Утворення пухирців у тканинах тварин (черв'яки та слимаки) спостерігалось при зниженні тиску до 20 та 8—3 мм рт. ст. У цих дослідках тварини спливали через 1—2 хв після початку «кипіння» рідини (рис. 1). Відзначалось поступове зниження рухомості тварин (черв'яки, слимаки). Водночас проведені досліді на черв'яках та слимаках (річкових та садових), що знаходились в атмосфері повітря. Умови дослідів були подібні описаним нами раніше, за винятком того, що замість 8—3 мм рт. ст. тварин піддавали декомпресії до 1—2 мм рт. ст.

60 дослідів було виконано при декомпресії від 760 до 50 мм рт. ст. Тварини не гинули ні після повільної, ні після вибухової декомпресії, в умовах дослідів, де час експозиції не перевищував 8 год. Більшу частину дослідів тварини залишались рухливими. Після рекомпресії тварини були до деякої міри зневодненими. Наступного дня слимаки демонстрували помітну рухливість. Черв'яки ж починали рухатись вже через кілька хвилин після рекомпресії.

36 дослідів проведено з черв'яками в умовах повільної декомпресії з 760 до 20 мм рт. ст. Через 0,5 хв після досягнення кінцевої «висоти» ставали добре помітними порожниоутворення та пов'язане з ним збільшення розмірів тіла тварини. Поступово рухи тварини ослаблювались, і згодом вона перебувала у нерухомому стані, хоч на подразнення і реагувала. Усі черв'яки гинули в цих умовах через 5 год експозиції. Під час рекомпресії розміри загиблого черв'яка значно зменшувались, він зморщувався, однак пухирці залишались ще помітними. Якщо ж тварин експонували значно менше 5 год і вони рекомпресувались живими, то під

час рекомпресії розмір їх швидко зменшувався, а пухирці зникали. Через кілька хвилин після рекомпресії такі черв'яки вже активно перемішувались. Обстеження через добу не виявило ніяких зовнішніх проявів патологічних змін. Розривів зовнішньої оболонки черв'яка не спостерігалось.

24 досліди в тих же умовах проведено на слимаках (садових) (рис. 2). Збільшення розмірів тіла слимака починалось через той же проміжок часу, що й у черв'яка. Протягом 12—15 хв розмір тварин збільшувався у три-чотири рази (рис. 3). У передній частині тулуба зовнішній покрив



Рис. 1. Слимак річковий (*Planorbis corneus*) під час декомпресії до 8—3 мм рт. ст. спливає на поверхню. З-під черепашки з'являються пухирці.



Рис. 2. Слимак садовий (*Arion hortensis*) перед декомпресією.

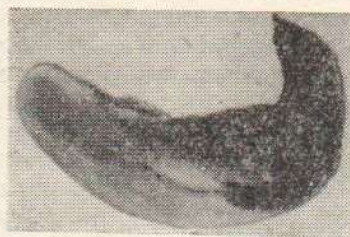


Рис. 3. Слимак садовий під час експозиції до 20 мм рт. ст. Розмір слимака значно збільшився внаслідок «закипання» тканинних рідин. Передня частина (світліша) заповнена великими пухирцями пару.



Рис. 4. Слимак під час декомпресії до 1—2 мм рт. ст. (розмір тварини не змінюється внаслідок її швидкого замерзання).

розтягувався, ставав тоншим, що дозволяло спостерігати появу великих порожнин. Незважаючи на це слимаки довгий час залишались рухливими. Коли ж тварини переставали рухатися, вони все ще протягом довгого часу реагували на подразнення. Гинули усі слимаки через 5 год експозиції до 20 мм рт. ст. Слимаки менших розмірів гинули раніше. Якщо після рекомпресії до нормального тиску через 3 год експозиції слимаки невеликих розмірів мали висушений вигляд і вже не виживали, слимаки більшого розміру, швидко скорочуючись, починали незабаром рухатись. Через 5 год експозиції ці слимаки також гинули, але не мали такого зневодненого вигляду. Слимаки в середньому втрачали за летальний проміжок часу 30—40% ваги тіла внаслідок випаровування рідини.

Слимаки (річкові), як малі, так і великі гинули усі через 60 хв експозиції до 20 мм рт. ст. З досягненням кінцевої «висоти» відзначалось бурхливе виділення пухирців з-під черепашки; помітити збільшення тіла тварини однак не вдавалось, оскільки слимак ховався в середину черепашки.

При повільній декомпресії до 1—2 мм рт. ст. (усього 80 дослідів) картина різко змінювалась. Черв'яки, не встигаючи збільшитись у розмірі внаслідок «закипання» тканинних рідин, швидко замерзали. Усі тварини в цих умовах гинули через 5 хв від початку декомпресії. Швидка рекомпресія рятує їх від загибелі тільки в тому разі, якщо замерзання тварини ще не наставало. Подібні зміни відбувались і з слимаками (садовими). Тварини гинули вже через 6 хв (рис. 4). Слимаки (річкові) також гинули через 6 хв. У слимаків невеликих розмірів відзначалось не тільки замерзання, а й виразне висихання їх тканин.

Після рекомпресії слимаки невеликого розміру, на відміну від слимаків більшого розміру та черв'яків, не вкривались слизом та не виділяли рідини, а залишались сухими.

Із застосуванням вибухової декомпресії від 760 до 20 мм рт. ст. проведено 20 дослідів на черв'яках. В цих умовах, як і в дослідах із застосуванням повільної декомпресії, усі черв'яки гинули через 5 год. Зовнішній вигляд тварин був подібним до описаного раніше. Слимаки (садові) в цих умовах гинули також через 5 год експозиції, тобто в той же проміжок часу, що й при повільній декомпресії. Слимаки (річкові) гинули через 1 год. Щодо перепаду тиску з 760 до 1—2 мм рт. ст., то в даних умовах черв'яки виживали не довше 2 хв після вибухової декомпресії. Слимаки (садові) в цих умовах гинули через 6 хв, а слимаки (річкові) — через 4 хв. Причиною загибелі, як і при повільній декомпресії, було розмороження тварин під час рекомпресії. На дослідах з декомпресією, проведених з проміжною швидкістю, ми не спинаємось, оскільки результати їх не відрізняються від наведених вище.

Необхідно також відзначити, що проведені спочатку 80 дослідів тільки з вибуховою декомпресією, як з одиночною, так і множинною, з негайною рекомпресією виявились цілком безпечними для життя піддослідних тварин.

Ряд дослідів (16) було проведено з використанням різних швидкостей рекомпресії (1, 5, 10, 20, 40 і 60 сек). Таке коливання швидкостей рекомпресії в даних умовах не позначалось на часі виживання тварин. Наведені дані викладені у таблиці.

Залежність максимальної тривалості виживання деяких видів безхребетних тварин після різних швидкостей декомпресії від величини кінцевого тиску

Вид тварин	Вид декомпресії та величина кінцевого тиску								
	Повільна декомпресія			Вибухова декомпресія					
	1—2 мм	20 мм	50 мм	Об'єм камери з тваринами 0,5 л			Об'єм камери з тваринами 0,03 л		
				1—2 мм	20 мм	50 мм	1—2 мм	20 мм	50 мм
Черв'яки (<i>Lumbricus terrestris</i>)	5 хв	5 год	8 год	2 хв	5 год	8 год	2 хв	5 год	8 год
Слимаки річкові (<i>Planorbis corneus</i>)	6 хв	1 год	8 год	4 хв	1 год	8 год	4 хв	1 год	8 год
Слимаки садові (<i>Arion hortensis</i>)	6 хв	5 год	8 год	6 хв	5 год	8 год	6 хв	5 год	8 год

Обговорення результатів досліджень

З питання про вплив вибухової декомпресії на організм тварини і досі нема чіткого уявлення. Частина авторів [5, 6, 8, 10] основним летальним фактором вважали аноксичну аноксію, яка стає можливою тільки

при деякій тривалості експозиції. Ці автори, працюючи на щурах, не відзначали небезпечного для життя тварин впливу вибухової декомпресії від нормального тиску до 21 мм рт. ст., якщо тільки щури при досягненні кінцевого тиску зазнавали швидкої рекомпресії до нормально-го рівня.

Деякі дослідники [7] описували несприятливий ефект вибухової декомпресії на організм тварин і при відсутності експозиції їх до низького тиску. У 68% досліджених собак були виявлені легеневі пошкодження (від петехіальних до екхіматозних геморагій). У 23,1% досліджених тварин були виявлені серцеві пошкодження, що проявлялись екхімозами на мітральному клапані. Відзначались також геморагії при дослідженні мозку у 40% випадків. Та незважаючи на наявність легневих, мозкових та серцевих ушкоджень, тварини не виявили ніяких зовнішніх хворобливих проявів і мали зовсім нормальний вигляд.

Ряд авторів [9, 11] вважають вибухову декомпресію основним летальним фактором. Наші дослідження на більш простих організмах (черв'яки, слимаки) не виявили ніякого впливу на виживання не тільки одиночних, а також і множинних декомпресій. Це, можливо, пов'язане з відсутністю у цих тварин напівзамкнених, з відносно затрудненим виходом для повітря, добре іннервованих порожнин. При великих швидкостях декомпресії у зв'язку з низькою еластичністю ці органи (легені у високорозвинених тварин) звичайно легко травмуються різко розширеним повітрям, що призводить до шоку і смерті.

Застосовані в наших дослідах різні швидкості рекомпресії не впливали на виживання тварин. Як видно з проведених нами дослідів, ці тварини виявились досить стійкими до умов експерименту, і ця стійкість насамперед пов'язана з доброю переносимістю цими тваринами гіпоксії [2].

Зокрема, також стало очевидним, що не можна недооцінювати і ряд інших додаткових факторів, таких як виражена втрата тваринами рідини внаслідок випаровування і несприятлива дія низької температури, при розрідженні до 1—2 мм рт. ст., що приводить до швидкого замерзання тварин. Залежно від величини кінцевого тиску і зв'язаною з цим зміною значення цих факторів, час виживання таких дрібних тварин змінюється. Так після декомпресії до 50 мм рт. ст. тварини виживають при тривалості експозиції 8 год. При тиску 20 мм рт. ст. усі черв'яки та слимаки (садові) гинуть через 5 год експозиції, що може бути пов'язане як із впливом «закипання» тканинних рідин і збільшенням втрати вологи, так і зростанням ступеня гіпоксії. При зниженні ж тиску до 1—2 мм рт. ст. тварини гинуть через короткий період експозиції. Явною причиною загибелі в даному разі є розмороження тварин під час рекомпресії. Проведення дослідів з тваринами, що знаходились у воді, продемонструвало виражену захисну дію води. Особливо чітко це видно при зниженні тиску до 20 мм рт. ст. Усі тварини, незалежно від швидкості декомпресії і величини кінцевого тиску, переживали час експозиції 12 год. Вище згадувалось про можливий вплив на стійкість поряд з іншими факторами, «закипання» тканинних рідин. Однак досліди із знаходженням тварин у воді, де відбувалось «кипіння» рідин тканин при тиску 20 мм рт. ст. і нижче, примушують відмовитись від цього припущення і вважати крім аноксії зневоднення тканин більш важливим фактором, що приводить цих тварин до загибелі.

Ще Кузнецов [1] вказував на надзвичайно незначний вплив «закипання» тканинних рідин і пов'язаної з ним тканинної емфіземи на виживання тварин і підкреслював основне значення гіпоксії.

Висновки

1. Вибухова декомпресія (без наступної експозиції до низького тиску), як одинична, так і множинна, не спричиняє будь-якого помітного впливу на виживання черв'яків та слимаків. Не відзначається також помітного впливу вибухової декомпресії на стійкість черв'яків та слимаків до постдекомпресійної експозиції.

2. Рекомпресія різних швидкостей не спричиняла помітного впливу на виживання досліджених тварин.

3. Загибель черв'яків та слимаків, підданих декомпресії та експозиції до тиску 20 мм рт. ст. в основному залежить від аноксії, але в значній мірі визначається і втратою води. Причиною смерті цих тварин, якщо вони зазнавали декомпресії та експозиції до 1—2 мм рт. ст., є їх розмороження під час рекомпресії. Вода виявляє захисну дію на тварин (інфузорії, гідри, черв'яки, слимаки-річкові), підданих дії як декомпресії (повільної чи вибухової), так і експозиції до низького тиску.

4. «Закипання» тканинних рідин не спричиняє помітного впливу на стійкість черв'яків та слимаків до низького тиску.

Література

1. Кузнецов А. Г.—Известия АН СССР, сер. биол., 1957, 3, 293.
2. Сиротинин М. М.—Медицинский журн., 1940, 10, 5, 1415.
3. Хазен И. М.—В сб.: Вопр. физиол., вегет. нервн. сист. и мозжечка. Ереван, АН АрмССР, 1964, 568.
4. Bancroft R. W., Dunn J. E.—Aerospace Med., 1965, 36, 8, 720.
5. Corey E. L.—Am. J. Physiol., 1947, 150, 4, 607.
6. Corey E. L.—Am. J. Physiol., 1949, 157, 1, 88.
7. Edelmann A., Whitehorn W., Lein A., Hitchcock F.—J. Av. Med., 1946, 17, 6, 596.
8. Gelfan S., Nims L., Livingston R.—Am. J. Physiol., 1950, 162, 37.
9. Gell C. F., Hall W. M., Mostofi F.—J. Av. Med., 1958, 29, 1, 15.
10. Hall W. M., Corey E. L.—Am. J. Physiol., 1950, 160, 2, 361.
11. Latner A. L.—The Lancet, 1942, 6211, 303.

Надійшла до редакції
7.IX 1967 р.

**Исследование резистентности
некоторых видов беспозвоночных животных
к взрывной декомпрессии и низкому конечному давлению**

В. Я. Луханин

Отдел патологии гипо- и гипероксических состояний Института физиологии
им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев

Резюме

В условиях барокамеры исследовалась устойчивость некоторых видов беспозвоночных (инфузории, гидры, слизни, черви) к взрывной декомпрессии и последующей экспозиции к пониженному давлению. В качестве конечных величин давления использованы давления 50, 20 или 1—2 мм рт. ст. Животные подвергались воздействию как единичной, так и множественной взрывной декомпрессии. Исследовалось также влияние на устойчивость различных скоростей рекомпрессии: за 1, 5, 10, 20, 40 и 60 сек. С частью животных опыты проводились в воде, с частью — и в воде, и в воздухе. Всего с этими животными выполнено свыше 500 опытов. В большинстве опытов использовалось по десять животных.

Ж
цію в
душно
увелич
взрыв
ных к
еотны
лось н
щим ж

Т
slugs,
subsec
ressio
the fil
single
resista
60 sec
water,
ments
tes we
Т
exposi
of the
ses. T
affect
xia (a
brates
used,
death.

Животные, находившиеся в воде, выдерживали 12-часовую экспозицию во всех случаях. В опытах, в которых животные находились в воздушной среде, длительность их выживания уменьшается в основном, с увеличением степени разрежения. Применявшиеся скорости и величины взрывной декомпрессии не оказывали влияния на устойчивость животных к низкому давлению. Основным фактором, вызывающим гибель животных, является гипоксия (аноксия). В опытах, в которых использовалось конечное давление 1—2 мм рт. ст., основным фактором, приводящим животных к гибели, было их замораживание.

Investigation of Resistance of Some Invertebrate Species to the Explosive Decompression and Low End Pressure

V. Ya. Lukhanin

Division of Pathology of Hypo- and Hyperoxic States, the A. A. Bogomoletz Institute of Physiology, Academy of Sciences, Ukrainian SSR, Kiev

Summary

The resistance of some species of invertebrates (infusoria, hydra, slugs, worms) was investigated to the explosive decompression and the subsequent exposure to the drop of pressure under conditions of decompression chamber. The pressures of 50, 20 or 1—2 mm Hg were used as the finite quantities of pressure. The invertebrates were examined by single decompression as well. The effect was also investigated on the resistance of different speeds of recompression: for 1, 5, 10, 20 40 and 60 sec. The experiments were conducted with some of invertebrates in water, with other ones—both in water, and in air. More than 500 experiments were made with these invertebrates. In most cases ten invertebrates were used in each experiment.

The invertebrates which were in water always endured 12 hours of exposition. In the experiments with invertebrates in the air, the duration of their survival decreases mainly when the rarefaction degree increases. The applied speeds and values of the explosive decompression did not affect on the resistance of the invertebrates to the low pressure. Hypoxia (anoxia) is the main factor which causes the death of the invertebrates. In the experiments where the end pressure of 1—2 mm Hg was used, freezing of the invertebrates was the main factor causing them to death.