

Порівняльно-фізіологічне вивчення резистентності до радіального прискорення

М. М. Сиротинін

Академік О. О. Богомолец дуже цікавився питаннями, пов'язаними з екстремальними станами організму. Для обґрунтування своїх положень він користувався порівняльно-фізіологічними і навіть палеонтологічними даними.

Викладена нижче робота була задумана і в значній мірі виконана ще за життя О. О. Богомольця в керованому ним інституті.

Перша спроба порівняльно-фізіологічного вивчення резистентності тварин до радіального прискорення була зроблена ще К. Е. Цюлковським (1895), який обертав у центрифугі тарганів і курчат; тоді ж він звернув увагу на велику стійкість тарганів до прискорення. Пізніше аналогічні порівняльно-фізіологічні дослідження були проведені А. А. Лихачовим, В. М. Карасиком, Н. А. Риніним, А. А. Сергеевим (1929, 1930), Н. А. Риніним і А. А. Лихачовим (1931), А. А. Лихачовим (1935), М. М. Сиротиніним (1940, 1946), Р. Маргаріа, Т. Гуалтіеротті, Д. Спінеллі (1958), Д. П. Моррісом, Д. Є. Бейскером і Д. Д. Заріелло (1958), В. І. Данилейком (1961).

Ці дослідження свідчать про велику толерантність нижчих тварин до радіального прискорення і про зменшення її у більш високоорганізованих організмів. Для повнішого порівняльно-фізіологічного аналізу ми провели додаткові дослідження, які дозволили краще вивчати еволюцію чутливості тварин до радіального прискорення.

Методика досліджень

Мікроорганізми, представники багатоклітинних безхребетних, хребетних холоднокровних і теплокровних були випробувані на стійкість до радіального прискорення в центрифугах з діаметрами 4,4 і 10 см (з швидкістю обертання 40 000 і 50 000 обертів на хвилину), 25, 60 см (швидкість обертання 2500, 12 000 і 16 000 обертів на хвилину), 130 см (швидкість обертання 180 і 208 обертів на хвилину). Час розганання і зупинення центрифуги був різний для різних центрифуг і обчислювався кількома секундами. Величину прискорення визначали за спрощеною формулою Дерингсгофена $b = \frac{v^2}{10r}$ частково безпосередньо за допомогою пружинних терезів; прискорення було спрямоване в поперечному напрямку (за винятком мікроскопічних істот, коли напрямком залишався невідомим).

Результати досліджень

Відомо, що віруси витримують центрифугування із швидкістю 50 000 обертів на хвилину і більше. Ми дослідили вірус грипу типу А (Порто Ріко 8), піддаючи його дії близько 150 000 g.

Вірус зберігав при такому зараженні білих мишу таку саму бронхопневмонію.

З вірусоподібних тифу (*R. prowazeki*). Фузі, яка дає 28 153 гали свою вірулентність ефірним наркозом в штаму у такому ж р

З найпростіших *caudatum*). Вони так дини і залишалися з рухомість їх зменшу деякий час зовсім пр

З кишковопорож *fusca*). Після оберт лись і мали цілком н

З типу черв'як ми дошових черв'як (*Lu palis*). Дошові черв'як кількох хвилин і по ни. П'явки добре ви дин. Чотири п'явки тів на хвилину і вит Слід відзначити, що обертались без води

Серед молюсків слимаками: прісноо виноградні слимаки Перші два види ви (10 дослідів); слиз після 30-хвилинного прискорення, очевид перебували у бі. Серед типу членист прискорення у рако у 26 мокриць (*Onis ків* (*Tegenaria domi homini*). Всі ці тва 2058 g протягом год після обертання пр скорення протягом лені в центрифугі і суванні прискоренн лишались живими і тання. Більша стій зана з їх щільним

Ми обслідували під наглядом 32 гу ного прискорення 2 танні меншої трива

При обертанні і нієї — шести годин семи годин — гинул

Вірус зберігав при цьому свою вірулентність: при інтраназальному зараженні білих мишей під ефірним наркозом він викликав у них таку саму бронхопневмонію, як і вихідний штам у таких самих розведеннях.

З вірусоподібних мікроорганізмів ми дослідили рикетсії висипного тифу (*R. prowazeki*). Ми обертали їх протягом однієї години в центрифугу, яка дає 28 153 g. Вони не тільки залишалися живими, а й зберігали свою вірулентність: при інтраназальному зараженні мишей під ефірним наркозом виникала рикетсіозна пневмонія, як і від вихідного штаму у такому ж розведенні.

З найпростіших ми дослідили інфузорій туфельок (*Paramecium caudatum*). Вони також витримували прискорення 28 153 g протягом години і залишалися живими; після обертання протягом однієї хвилини рухомість їх зменшувалась, а після десятихвилинного обертання — на деякий час зовсім припинялась.

З кишковопорожнинних ми піддали такому ж впливу гідр (*Hydra fusca*). Після обертання при 2800 g протягом години вони розправлялись і мали цілком нормальний вигляд.

З типу червів ми дослідили толерантність до прискорення у десяти дощових червів (*Lumbricus terrestris*) і десяти п'явок (*Hirudo medicinalis*). Дощові черви виживали при 2058 g після обертання протягом кількох хвилин і почасти гинули після обертання протягом однієї години. П'явки добре витримували прискорення 2058 g протягом двох годин. Чотири п'явки обертались у центрифугу із швидкістю 16 000 обертів на хвилину і витримували прискорення 28 153 g протягом 5 і 10 хв. Слід відзначити, що п'явки знаходились у воді, тоді як дощові черви обертались без води.

Серед молюсків ми проводили такі дослідження над легеневиими слимаками: прісноводні — катушки (*Planorbis planorbis*), наземні — виноградні слимаки (*Helix pomatia*) і слизняки (*Arion emarginatus*). Перші два види витримували прискорення 2058 g протягом години (10 дослідів); слизняки в цих умовах гинули, але залишалися живими після 30-хвилинного обертання. Така різниця в стійкості до радіального прискорення, очевидно, пояснюється тим, що молюски перших двох видів перебували у більш сприятливих умовах всередині своєї черепашки. Серед типу членистоногих ми дослідили толерантність до радіального прискорення у ракоподібних, павукоподібних і комах: з ракоподібних — у 26 мокриць (*Oniscus asper*), з павукоподібних — у 26 хатніх павуків (*Tegenaria domestica*), з комах — у 20 платтяних вошей (*Pediculus humanus corporis*). Всі ці тварини здебільшого добре витримували прискорення 2058 g протягом години. Деякі мокриці (великого розміру) гинули вже після обертання протягом 30 хв. Павуки і воші витримували таке прискорення протягом двох-трьох годин. Тому досліди на них були поставлені в центрифугу із швидкістю 16 000 обертів на хвилину. При застосуванні прискорення 28 153 g протягом 5 хв. павуки гинули, а воші залишалися живими і мали цілком нормальний вигляд і після 10 хв. обертання. Більша стійкість до радіального прискорення, очевидно, пов'язана з їх щільним хітиновим покривом.

Ми обслідували представників усіх класів хребетних. З риб були під наглядом 32 гупії (*Girardinus guppyi*). При застосуванні радіального прискорення 2058 g протягом 15, 10 і 5 хв. вони гинули; при обертанні меншої тривалості залишалися живими.

При обертанні в центрифугу діаметром 130 см при 31 g протягом однієї — шести годин вони залишалися живими; при обертанні протягом семи годин — гинули.

З амфібій у нас під дослідом були 12 тритонів (*Molge vulgaris*) і 32 жаби (*Rana esculenta*). Тритони добре витримували радіальне прискорення 2058 *g* протягом 30 хв.; при обертанні їх протягом 50 хв. у них наставав шок, але вже через півгодини вони набували свого звичайного вигляду. При обертанні протягом 1 год. 15 хв. вони виходили з такого стану через одну-дві години. Обертання протягом 1 год. 20 хв. і 1 год. 30 хв. призводило їх до загибелі.

Жаби витримували прискорення 2058 *g* протягом однієї години, але вже при впливі такого ж прискорення протягом 1 год. 7 хв. у них наставав шок, з якого вони виходили через 1—1,5 год. При обертанні протягом 1 год. 15 хв. частина жаб гинула, інша частина перебувала в тривалому шоку, з якого виходила через 24—48 год. Після обертання протягом 1 год. 25 хв. жаби гинули. 14 жаб обертались у центрифугі діаметром 130 *см* при 31 *g*; при цьому вони виживали при обертанні протягом трьох годин; після п'ятигодинного обертання вони гинули, втрачаючи в значній кількості воду. При зануренні у воду вони лишались живими навіть після обертання протягом шести-семи годин, але при цьому протягом тривалого часу перебували в стані шоку.

З рептилій ми дослідили вужів (*Natrix natrix*), ящерок (*Lacerta agilis*) і черепах (*Testudo Horsfieldi*). Вужі (2 екз.) добре витримували радіальне прискорення в 2058 *g* протягом однієї години.

Ящірки (8 екз.) витримували 2028 *g* протягом кількох хвилин без різних патологічних порушень; 30-хвилинне обертання викликало у них шокоподібний стан; після обертання протягом 1 год. 30 хв. вони гинули. Черепахи (2 екз.) перенесли таке саме прискорення протягом 10 і 46 хв. без видимих патологічних явищ.

З птахів ми дослідили горобців (*Frigilla domestica*) і голубів (*Columba livia*). Горобці гинули при трихвилинному обертанні при 43,6 *g*. При 20 *g* протягом такого ж часу вони залишались живими.

Голуби (16 екз.) виживали при обертанні протягом однієї хвилини при 31 *g*; частина з них загинула при обертанні протягом 1 хв. 30 сек. Деякі з них виживали і при обертанні протягом 1 хв. 45 сек. Обертання протягом 2 хв. звичайно призводило їх до загибелі.

Серед ссавців особливо стійкими до радіального прискорення виявились кажани (*Vespertilionidae*). Вони (7 екз.) витримували прискорення в 455 *g* протягом 5—7 хв., проте в результаті цього у них наставав шок, який незабаром проходив. Після обертання протягом 8 і 9 хв. тварини назавтра гинули. Два їжаки (*Echinocactus europaicus*) обертались при 15 *g* протягом 1 хв.; при цьому у них виникали задишка, неспокій після кругових рухів, але через деякий час усі ці явища зникали.

Білі лабораторні миші самці і самки вагою близько 20 *г* (134 екз.) були випробовувані на центрифугах діаметром 26, 40, 60 і 130 *см*. При обертанні в малій центрифугі вони витримували прискорення 20 *g* протягом кількох секунд і гинули після обертання протягом 30 сек. У центрифугі діаметром 40 *см* при прискоренні 20—22 *g* протягом 2 хв. з 19 мишей чотири загинули і 15 лишилися живими. При трихвилинному обертанні шість мишей загинули і одна лишилася живою. При випробуванні мишей в центрифугі діаметром 60 *см* протягом 3 хв. при прискоренні 82 *g* всі тварини загинули; при 30 *g* з 8 мишей три загинули, одна лишилася живою і чотири протягом деякого часу були живі, а потім загинули.

Білі миші (самці і самки вагою 20—25 *г*) обертались у центрифугі діаметром 130 *см* при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек.; при цьому з 15 мишей загинули вісім і лишилися живими сім. Після обертання протягом такого ж часу при прискоренні 18,9 *g* всі миші залишились живими.

Лабораторні білі миші піддані дії при 31 *g* протягом 3 хв. Після такого впливу миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв.

Морські свинки витримували при 30 і 31 *g* прискорення в 30 *g* протягом 3 хв. 30 сек. Після такого впливу миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв.

Ховрашки (Сітні) витримували при 31 *g* прискорення в 30 *g* протягом 3 хв. 30 сек. Після такого впливу миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв.

Після чотирьох годин обертання при 31 *g* прискорення в 30 *g* протягом 3 хв. 30 сек. миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек. Після такого впливу миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек.

Привертає увагу на те, що миші, які витримували прискорення в 30 *g* протягом 3 хв. 30 сек. після такого впливу вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек.

У стійкості до радіального прискорення миші відрізняються від інших тварин, які витримували прискорення в 30 *g* протягом 3 хв. 30 сек. Після такого впливу миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек.

В процесі фізіологічного прискорення при переході від 30 до 31 *g* прискорення миші вимирли. 10 щурів вагітних загинали і два личинки при 31 *g* протягом 3 хв. 30 сек.

Лабораторні білі щури (самці і самки вагою 100—180 г) були піддані дії при 31 g в центрифугі діаметром 130 см протягом 3 хв. 30 сек. Після такого впливу з 11 щурів дев'ять загинули і два залишилися живими. 10 щурів вагою 230—280 г обертались протягом 3 хв., з них вісім загинули і два лишилися в живих. З чотирьох щурів, підданих обертанню при 31 g протягом 2 хв. 45 сек. один загинув і три лишилися живими.

Морські свинки (самці і самки вагою близько 300 г) були випробувані при 30 і 31 g в центрифугі діаметром 130 см. Вони витримували прискорення в 30 g протягом 1 і 1,5 хв. і стали гинути після трихвилинного обертання. Три свинки вагою 200—240 г обертались при 31 g протягом 3 хв. 30 сек. Дві з них загинули, одна залишилася живою.

Ховрашки (*Citellus suslica*) — самці і самки вагою 180—340 г виявились трохи більш резистентними, ніж миші, щури і морські свинки. Вони витримували прискорення в 31 g протягом 2 хв. 30 сек. і 3 хв.

Після чотирехвилинного обертання з шести тварин три загинули і три лишилися в живих; після п'ятихвилинного обертання з 12 ховрашків сім загинули і п'ять лишилися живими. Більша резистентність ховрашків, можливо, була пов'язана з осіннім періодом, хоч вони були в несплячому стані. Чотири лабораторних кролики були піддані обертанню при 31 g протягом 1,5, 2 і 3 хв. Після обертання, яке тривало 1,5 хв., вони лишилися живими, а після обертання в 2 і 3 хв. тварини загинули. Дві кішки (вагою 2 і 2,5 кг) загинули після обертання в центрифугі при 31 g протягом трьох хвилин.

Обговорення результатів досліджень

Привертає увагу більша стійкість до радіального прискорення вірусів, рикетсій та інфузорій. Проте слід відзначити, що вони знаходились у рідкому середовищі, що значно пом'якшує гравітаційний вплив. Очевидно, цим же пояснюється те, що п'явки, які знаходяться у воді, значно стійкіші, ніж дощові черви, піддані обертанню в сухому стані. Крім того, слід відзначити, що безхребетні взагалі дуже резистентні до радіального прискорення. Навіть порівняно високоорганізовані комахи витримують прискорення в 28 153 g.

У стійкості деяких безхребетних певну роль можуть відігравати щільний хітиновий покрив і черепашка. Проте і при врахуванні цих факторів толерантність їх до радіального прискорення все ж значно перевищує відповідний показник у теплокровних. До певної міри це, очевидно, пов'язано з менш інтенсивним обміном речовин, з тим, що життєдіяльність безхребетних в значній мірі здійснюється за рахунок анакисбиотичних процесів, а також з меншою організованістю їх нервової системи. На обґрунтованість останнього міркування вказує виявлений нами факт більшої стійкості до радіального прискорення новонароджених тварин, які народжуються сильно недорозвиненими (мишенята), і тварин, що перебувають в стані глибокої зимової сплячки. Велика різниця в толерантності до прискорення холоднокровних і теплокровних тварин, очевидно, пов'язана з температурним фактором.

Висновки

В процесі філогенетичного розвитку стійкість організмів до радіального прискорення знижується. Найбільш різко ця властивість падає при переході від холоднокровних до теплокровних.

ЛИТЕРАТУРА

- Данилейко В. И., Физиол. журн. АН УРСР, т. VII, № 1, 1961.
 Лихачев А. А., Труды Всесоюзной конференции по изучению стратосферы, М., 1935, с. 591.
 Лихачев А. А., Карасик В. М., Рынин Н. А., Сергеев А. А., (наведено за А. А. Сергеевим). Влияние ускорений на организм летчика, М., 1957, с. 50.
 Рынин Н. А., Лихачев А. А., Труды научно-исследовательского аэроинститута, М., № 1, 1931, с. 53.
 Сиротинин М. М., Мед. журн. АН УРСР, т. X, в. 5, 1940, с. 1415.
 Циолковский К. Э., Грезы о земле и небе, М., 1895.
 Margaria R., Gualtierotti T., Spinelli D., Journ. of Aviat. Medicine, v. 29, n. 6, 1958, p. 433.
 Morris D. P., Beischer D. E., Zariello J. J., Journ. of Aviat. Medicine, v. 29, n. 6, 1958, p. 438.

Сравнительно-физиологическое изучение резистентности к радиальному ускорению

Н. Н. Сиротинин

Резюме

В работе приводятся данные об устойчивости к радиальному ускорению живых существ в филогенетическом разрезе, начиная от микроорганизмов и кончая млекопитающими.

Испытанные вирусы (вирус гриппа типа А) и вирусоподобные риккетсии (риккетсии сыпного тифа) переносят радиальное ускорение в 150000 g и 28153 g, инфузории туфельки — 28153 g.

Многоклеточные беспозвоночные менее резистентны к ускорению, но и они обладают большой толерантностью к такому воздействию. Гидры выдерживают 2058 g в течение часа; пиявки — 28153 g в течение 10 минут, дождевые черви — 2058 g в течение нескольких минут; моллюски с раковинами (катушки, виноградные улитки) выдерживают ускорение 2058 g в течение часа, без раковины (слизняки) — в течение 30 минут. Приблизительно такой же толерантностью к радиальному ускорению обладают членистоногие (мокрицы, домашние пауки); платяные вши выдерживают 28153 g в течение 10 минут.

Позвоночные менее устойчивы к радиальному ускорению, но все же холоднокровные (рыбы гуппии, тритоны, лягушки, ящерицы, ужи, черепахи) переносят ускорение в 2058 g длительностью от нескольких минут до часа и более.

При переходе к теплокровным животным резистентность к радиальному ускорению сильно падает. Птицы (воробьи, голуби) погибают уже при 43 g, 31 g. Среди млекопитающих большей устойчивостью к радиальному ускорению обладают летучие мыши; они выдерживают ускорение в 455 g в течение 5—7 минут. Лабораторные белые мыши, крысы, морские свинки обладают приблизительно одинаковой толерантностью, более чем половина животных гибнет при 31 g в течение 3 мин. 30 сек. Несколько более устойчивы суслики, которые могут выдерживать такое ускорение в течение 4—5 мин.

Comparative

This paper presents data on the resistance of living beings in the phylogenetic series, starting with microorganisms and ending with mammals. Among the microorganisms, influenza virus (type A) and rickettsiae (typhus fever Rickettsia) withstand radial acceleration up to 150,000 g and 28,153 g, respectively. Among the multicellular invertebrates, planarians withstand 28,153 g, earthworms 2,058 g, and snails 2,058 g. Among the cold-blooded animals, guppies, newts, frogs, lizards, snakes, and turtles withstand 2,058 g for several minutes to hours. Among the warm-blooded animals, bats withstand 455 g for 5–7 minutes. Laboratory white mice, rats, and guinea pigs withstand approximately the same acceleration, with more than half of the animals dying at 31 g within 3 minutes and 30 seconds. Squirrels are somewhat more resistant, being able to withstand such acceleration for 4–5 minutes.

Comparative Physiological Study of Resistance to Radial Acceleration

N. N. Sirotinin

Summary

This paper presents data on the resistance to radial acceleration of living beings in the phylogenetic aspect, beginning with microorganisms and ending with mammals.

Among the microorganisms investigated were type A influenza virus, typhus fever Rickettsia, infusorians of the genus *Paramecium*; among the multicellular invertebrates — hydras, leeches, earthworms, *Planorbis* mollusks, grape snails (*Helix pomatia*), slugs, wood lice, house spiders, body lice. Among the cold-blooded vertebrates investigated for resistance to radial acceleration were guppies, tritons, frogs, grass snakes and turtles; among the warm-blooded birds (sparrows, pigeons), mammals (bats, albino mice, rats, guinea pigs, ground squirrels). On the basis of the data obtained the author arrives at the conclusion that during the process of phylogenetic development of organisms, resistance to radial acceleration falls, the most pronounced fall being observed in the transition from cold-blooded animals to warm-blooded.