



ВЕЛИКИЙ – Дарія Біда ПОВІЛЬНИЙ,

МАЛЕНЬКИЙ – ШВИДКИЙ?

ЕНЕРГІЯ І ЖИТТЯ



KING of BROBDINGNAG, and GULLIVER.
in the People called Lilliput in the Kingdom of Lilliput.



ПОТРЕБА У ЇЖІ

Здавалося б, великі тварини мають більше шансів вижити. Однак не все так однозначно: що більша тварина, то вона менш поворотка і менш спритна, а потреба у їжі росте пропорційно об'єму її тіла. Ось вам і протиріччя: великим тваринам треба набагато більше їжі, а можливості її роздобути зменшуються внаслідок їхньої огрядності. Саме тому виникає природне обмеження на існування дуже великих тварин. Починаючи з певних розмірів великі і неповороткі тварини не здатні добути стільки їжі, скільки їм потрібно для життя. Такі види приречені на вимирання. Колись на Землі жили велетенські плазуни. Сьогодні найбільша тварина суходолу – слон.

У морі фізичні умови для існування тварин інші. На тіло, занурене у воду, діє виштовхувальна сила. Тому в морях багато крупних тварин і риб. У кита не такий масивний скелет, як у слона чи бегемота, але він утримує на ньому значно більшу масу.

Наші міркування наводять на думку, що велетні у романі Свіфта мали б бути нежиттєздатними. А як щодо ліліпутів? Стосовно їхніх механічних характеристик – все гаразд. Механічно вони навіть міцніші, ніж звичайні люди¹. Сумніви про можливість існування таких теплокровних організмів виникають тоді, коли виникнути у процесі теплообміну.

¹Читай про те, як порівнювати силу різних організмів, у журналі „КОЛОСОК“, № 8/2013.



ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ОРГАНІЗМУ

У ссавців і птахів, на відміну від усіх інших тварин, температура тіла практично постійна і не залежить від коливань температури навколишнього середовища, вона може бути навіть значно вищою. Саме тому ссавців і птахів називають теплокровними – на відміну від холоднокровних, температура тіла яких трохи вища від температури середовища і змінюється разом з нею. Нормальна температура тіла людини приблизно 37°C , слона – 35°C , а птахів – в середньому 42°C . Сталу температуру тіла теплокровних забезпечують механізми охолодження і нагрівання. У організмі відбуваються різноманітні перетворення енергії, пов'язані з травленням, диханням, роботою м'язів, внаслідок яких виділяється теплота і організм нагрівається. З другого боку, процес тепловіддачі у навколишнє середовище супроводжується охолодженням. Якщо з'являється надлишок теплоти, включається додатковий механізм охолодження, і ми потіємо.

Теплообмін живих істот відбувається внаслідок випромінювання, конвекції, теплопровідності та випаровування з поверхні тіла. А утворюється теплота внаслідок процесів метаболізму, які відбуваються в усьому організмі. Теплота, яку організм виробляє, пропорційна кількості спожитої їжі, яка, в свою чергу, залежить від маси (або об'єму) організму (пропорційна кубу характеристичної довжини²). Швидкість тепловіддачі у навколишнє середовище пропорційна площі поверхні тварини (пропорційна квадрату характеристичної довжини).

Таким чином, швидкість тепловіддачі на одиницю маси тварини обернено пропорційна характеристичній довжині її тіла. Дуже маленька тварина може компенсувати втрату теплоти за рахунок постійного споживання їжі або кращої теплоізоляції тіла (відповідний шкірний покрив). Маленькі тварини щоденно з'їдають таку масу



їжі, яка складає значну частину їхньої власної маси. Наприклад, миша щодня з'їдає їжу, маса якої складає четверту частину її маси. Маленька землерийка померла б від голоду, якби не знайшла їжі впродовж трьох годин. У слона навпаки, здатність генерувати теплоту така велика, що він вимушений позбавлятися її надлишку. Він використовує будь-яку нагоду, щоб охолодитися у воді. У комах відношення площі поверхні тіла до об'єму більше, ніж у теплокровних тварин. Але для них це не проблема, адже вони – холоднокровні, і температура їхнього тіла така ж, як температура навколишнього середовища. А тому і втрата теплоти, і потреба у їжі у них значно менші.

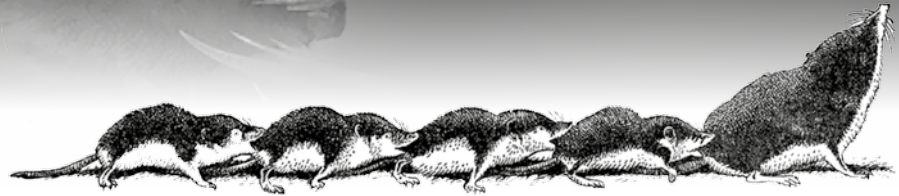
Для всіх теплокровних істот діє правило оберненої пропорції: що менша маса, то інтенсивніше тварині треба харчуватися, бо малі тіла мають велику питому тепловіддачу з поверхні тіла. Цю залежність просто пояснити на прикладі. Щоб завернути цукерку певної маси, потрібна мінімальна обгортка певної площі (обгортка – аналог шкіри тварини). Якщо масу цукерки збільшити вдвічі, площа обгортки збільшиться незначно. Або ще один дуже наочний приклад. Кубик з ребром 10 см має площу поверхні 600 см^2 . Якщо його роздрібнити на кубики з ребром 1 см , то загальна площа поверхні становитиме 6000 см^2 , а якщо його роздрібнити на міліметрові кубики, то сумарна поверхня буде вже 60000 см^2 . Розумієте, чому маленьким діткам холодніше, ніж дорослим? У них на одиницю маси тіла припадає більша площа шкіри, ніж у дорослих. А втрати тепла відбуваються переважно саме через поверхню тіла.



Ссавець суходолу – землерийка



²Орієнтовний розмір об'єкта для оціночних розрахунків.



В ЯК ЖИВЕШ, МАЛЕСЕНЬКА ТВАРИНО?

Біологи вже давно встановили, що теплокровна тварина, зокрема ссавець, не може мати масу, меншу, ніж 2 г, інакше в неї порушується обмін речовин і вона гине. У воді тепловіддача краща, тому морські теплокровні мають відносно великі розміри. Найменша теплокровна тварина суходолу – бурозубка мала, представник комахоїдних. Вона найменша серед землерийок: завдовжки не більше 6 см і масою до 5 г. Ззовні тваринка схожа на домову мишку, тому їх часто плутають. Живе бурозубка в усіх лісових і лісостепових областях України, у вологих листяних і мішаних лісах з розвиненим трав'яним ярусом.

Справжньою сенсацією для науковців виявилось, що доросле етруське мишеня *Suncus etruscus* (або карликова білозубка) має масу не більше 2 г, а багато з них – 1,5 г!

Твариною зацікавилися криптозоологи – спеціалісти, які вивчають тварин, існування яких викликає сумнів. У XIX столітті кісточки цієї дрібнесенької істоти знайшли у гнізді сови, а в середині XX століття зоолог Бонського університету Адельхайд Геретс після довгих пошуків на острові Сардинія знайшла спочатку мертвих, а потім і сім живих екземплярів цієї дивовижної тваринки (троє з них легко помістилися у сірникову коробку!). Білозубкам неабияк пощастило, що зоолог віднайшла їх: тваринки були вже мляві від голоду. Для підтримання своїх біологічних потреб вони змушені без упину їсти. І якби дослідниця не дала їм поживи (а харчуються вони черв'яками, гусінню, кониками), то крихітки загинули б від голоду.



У карликової білозубки м'яке блискуче хутро сірого або коричневого кольору, яке взимку стає довшим і ще м'якішим. Турботливі матусі білозубки водять своїх діточок шнурочком. Перше дитя чіпляється за основу маминого хвоста, а друге тримається за хвіст першого. Мишенята рухаються, наче живий ланцюг. Вони гинуть, якщо залишаються без їжі впродовж двох годин.

Незважаючи на те, що етрусська миша вкрита шерстю, внаслідок теплообміну малесенька тварина втрачає дуже багато тепла. Тому впродовж дня вона з'їдає їжі удвічі більше своєї маси. Найбільша тварина на Землі – блакитний кит – з'їдає 8 т їжі щодня (4 % від його маси); слону щодня треба до 230 кг листя або 50-70 кг сіна. Мишка у порівнянні з цими гігантами – справжня ненажерка! Вона має такий апетит, наче людина, яка з'їдає щодня 150 кг їжі. Тому мишка майже не спить: вона і вночі шукає їжу. Таке напружене життя виробило у тваринки справжні бійцівські якості. Звірятко відчайдушно атакує приречених павуків, великих жуків і навіть ящірок завдовжки 10 см. У тварини виключна реакція і величезна для її розмірів фізична сила.

Якщо їжі немає, мишка впадає у сплячку, скрутившись у клубок, щоб зменшити поверхню тепловіддачі³, і біологічні процеси сповільнюються. Такий стан не може тривати більше двох годин. Прокинувшись, мишка знову вимушена вирушати на полювання. Якщо тварина і тепер не знайде поживи, вона приречена. Таке життя, практично за межею можливого, вимагає ідеальної роботи всього організму, роботи виснажливої. І якщо у слона серце здійснює 27 ударів на хвилину, у людини – 70, то в етруської мишки серцевий ритм становить 1300-1500 ударів на хвилину (25 ударів на секунду!). Не дивно, що живе вона лише 16 місяців.

³З усіх тіл заданої маси куля має найменшу площу поверхні.





РЯТІВНІ МЕХАНІЗМИ

Що менша тварина, то більше тепла вона втрачає на одиницю маси через поверхню свого тіла. Природа придумала для „малечі” рятівні механізми. Порівняйте коня і звичайну польову мишку, які живуть в однаковому кліматі. Кінь – дуже спокійна у звичайній ситуації тварина, а миша постійно в русі, вона весь час снує, метушиться. Кінь за хвилину вдихає об’єм повітря, який складає менше однієї соті частини об’єму його тіла, а миша щохвилини вдихає об’єм повітря, більший за її власний об’єм. Отож, в організмі миші обмін речовин відбувається набагато інтенсивніше, ніж у коня. До того ж, у миші кращий шерстяний покрив, тобто краща теплоізоляція. Саме так природа компенсує зменшення розмірів тварин: посиленням обміном речовин і кращою теплоізоляцією шкіри. Однак можливості такої компенсації є обмеженими, врешті вони вичерпаються, і тоді подальше зменшення розмірів теплокровних тварин уже не можливе.

Якщо дуже малі ссавці не в змозі себе обігріти, то дуже великі, навпаки, надто сильно потіють і намагаються охолодитися. Дуже маленьким тваринам загрожує смерть від холоду, а дуже великим – від теплового удару. Але доки станеться тепловий удар, вони швидше загинуть від механічних навантажень на організм. Таким чином, зверху розміри тварин обмежені законами механіки, а знизу – теплофізики. Нижнє обмеження стосується лише теплокровних тварин.



Повертаючись до ліліпутів Свіфта, можемо зробити висновок: люди заввишки *10 см* навряд чи змогли б існувати. Щоб вижити, їм довелося б дуже часто дихати, без упину їсти, швидко рухатися і кутатися у теплий одяг. Так що Дюймовочка, яка з’їдала в день лише половинку зернятка і тому була вигідною партією для крота – така ж нереальна вигадка Ганса Крістіана Андерсена, як і ліліпути в романі Свіфта, гноми у казці про Білосніжку та Хлопчик-мізинчик.

СЕКРЕТИ КОЛІБРИ

Маса колібри не більша, ніж у землерийок (*1,7–19,1 г*). Отож, пташечка теж мусить у поті чола добувати собі їжу. На одиницю маси вона з’їдає в *100* разів більше, ніж слон. Колібрі – денна пташка, вона не може шукати поживу і вночі, як землерийка. І впродовж дня колібрі не може запасти стільки енергії, щоб її вистачило ще й на ніч. Швидкість обміну речовин у цієї пташки така велика, що *6–8 годин* без їжі загрожують пташці смертю від виснаження. Щоб такого не трапилося, вночі колібрі наче клякнуть, і від звичної *40–45 °C* температура їхнього тіла знижується до температури навколишнього повітря, а обмінні процеси сповільнюються у *10–15* разів. Вранці пташка оживає і знову жадібно поглинає їжу. Пташка малесенька, а тому і різке падіння, і різке підвищення температури її тіла відбуваються впродовж декількох секунд. Отакий малий фенікс!





КЛІМАТ МАЄ ЗНАЧЕННЯ

Іє лише розміри тварин визначають спосіб їхнього життя. У природі існує певна залежність розмірів тварини від кліматичних умов, зокрема – від температури повітря. Ми вже з'ясували: що більші розміри тіла (або менше відношення площі поверхні тіла до об'єму) у близьких видів, то менша у них тепловіддача. Саме тому що холодніше в тих місцях, де мешкають представники близьких видів, то більші їхні розміри. Мамонти і шерстисті носороги, що проживали на Півночі, були набагато більші, ніж їхні „побратими” на півдні. Це стосується і полярних ведмедів: приріст їхньої маси випереджує збільшення поверхні тіла: що більший ведмідь, то менша тепловіддача.

МИ – ЩАСЛИВЧИКИ!

Давайте усвідомимо, що ми з вами – щасливчики. Радіймо, друзі, розміри людини – саме те, що треба! У попередній статті⁴ ми з'ясували, що з точки зору механіки організм людини влаштований розумно і працює дуже ефективно (у всякому разі порівняно з коником ☺), а лінійні розміри гарантують нам і міцність, і спритність. Фізика теплових процесів у живих організмах теж вселяє в нас оптимізм: ми не копошимося, їмо лише 3–4 рази на добу, не надто пітніємо і не замерзаємо. Тож розміри людини не просто оптимальні, а вочевидь, єдино можливі. Як тут не пишатися своєю фізичною досконалістю?

ЗАДАЧА „СКІЛЬКИ З'ЇЛА БИ МИШКА?”

Маленька польова мишка з'їдає за добу 10 г корму. Оцініть, скільки повинна з'їсти мишка, усі розміри якої збільшилися вдвічі.

В першу чергу треба з'ясувати, які процеси суттєві для розв'язання задачі. У нашому випадку основа розв'язку – рівняння теплового балансу (воно ж – закон збереження енергії для теплових процесів): мишка має отримати з їжею стільки ж енергії, скільки вона витрачає впродовж доби на рух (у пошуках їжі) і теплообмін (вона істота теплокровна). Ми вже знаємо, що втрати тепла прямо пропорційні площі поверхні тіла миші, тому вони збільшуються у 4 рази. Маса великої мишки більша у 2^3 разів, тому й роботу з переміщення вона здійснює більшу. Але велика мишка рухається з іншою швидкістю, бо її крок у 2 рази більший і на нього треба у $\sqrt{2}$ разів більше часу (вважаємо, що крок – це падіння з висоти підйому ноги). Швидкість руху другої мишки буде у $\sqrt{2}$ разів більша, а потужність – у $\sqrt{2^7}$ разів вища: $40 + 10\sqrt{2^7} = 40 + 113$ г. Отже, відповідь знаходиться у інтервалі від 40 до 153 корму на добу.

