

Tasa metabólica basal

Este documento discute la tasa metabólica de diferentes animales y cómo se escala con la masa de la criatura. Originalmente fue escrito como un tema complementario para un curso de primer año en la Universidad de Toronto: Física para las ciencias de la vida I.

Metabolismo

Nuestros cuerpos producen energía de los alimentos que comemos. La velocidad a la que nuestro metabolismo produce esta energía se llama tasa metabólica, y a menudo se mide en vatios. Otras unidades comunes incluyen kcal / día. La tasa metabólica basal (BMR) es la tasa metabólica cuando el organismo descansa. La tabla muestra algunas tasas metabólicas basales para varios animales. Se puede ver que a medida que la masa aumenta también lo hace la BMR.

Masa animal (kg) Tasa metabólica basal (vatios)

Paloma

0.16

0.97

Rata

0.26

1.45

Paloma

0.30

1.55

Gallina

2.0

4.8

Perro (mujer)

11

14.5

Perro (masculino)

dieciséis

20

Oveja

45

50

Mujer

60

68

Hombre

70

87

Vaca

400

266

Dirigir

680

411

Estos números son "genéricos" en el sentido de que existen grandes variaciones entre los individuos.

Tristemente, como es común para datos biológicos tomados o compilados por personas que no han

tomado el laboratorio PHY138 en la U de T u otro curso bueno en análisis de datos, no se dan errores con los números anteriores.

Vemos que para las personas, cuando descansa, estamos generando energía a una velocidad igual a una bombilla incandescente típica.

Si estamos siendo físicamente activos, nuestra tasa metabólica aumenta y la energía extra se usa para la actividad. Las tasas de 400 W o más son comunes para los atletas en buena forma física.

Radiación de calor

Considere la posibilidad de una mujer en reposo cuyo metabolismo genera 68 vatios, casi la misma potencia que una bombilla incandescente de 60 vatios. Si su cuerpo está irradiando energía a la habitación a una velocidad de 68 vatios, entonces ella está en equilibrio térmico. Si su tasa metabólica permanece constante y comienza a irradiar energía térmica a su entorno a un ritmo mayor que 68 W, se enfriará.

Ahora, la velocidad a la que se irradia la energía térmica de un objeto es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie del objeto y la temperatura del entorno. Esto generalmente se llama Ley de enfriamiento de Newton.

Esto significa que si estamos en una habitación fría irradiamos energía más rápido que en una habitación cálida y comenzamos a sentir frío. El cuerpo comenzará a temblar, lo que aumenta la tasa metabólica. Las tasas metabólicas de 200 W o más son posibles para las personas que están temblando.

Julius Robert Mayer era un médico nacido en Alemania. A comienzos de 1800 notó que las personas que vivían en Indonesia tenían sangre, que era de un rojo más intenso que las personas que vivían en Europa. Esto indicó que tenían menos oxígeno en la sangre, lo que significaba que su tasa metabólica era más baja que la de los europeos. Él razonó que esto se debía a que para mantener el equilibrio con su entorno más cálido se requería una tasa metabólica más baja. Esta fue una de las primeras realizaciones, el calor es solo otra forma de energía. El primer trabajo de Mayer sobre esta realización fue rechazado, en gran parte porque era médico y en gran parte ignorante sobre la física. Aunque decepcionado, Mayer tomó el estudio de la física, aprendió sobre la energía cinética, y su segundo trabajo se publicó en 1842.

Nota: Mayer no usó el vocabulario del párrafo anterior en su razonamiento.

Hay otro factor que se relaciona con la radiación de la energía térmica, el área superficial A del cuerpo que hace la radiación. En términos de potencia, es decir, energía por tiempo:

(1)

Aquí k es una constante. Esta relación explica por qué, por ejemplo, los motores de motocicletas refrigerados por aire tienen aletas: esto aumenta en gran medida el área de superficie efectiva para que el motor irradie calor a un ritmo mucho más rápido.

Análisis dimensional

Imagina que tenemos 2 objetos con la misma forma pero diferentes tamaños. Caracterizamos el tamaño del objeto por una longitud L . Para una esfera L puede ser el radio o diámetro, para un cubo puede ser

la longitud de uno de los lados, para un elefante puede ser la altura. Independientemente de la elección de cómo caracterizamos el tamaño de los objetos, el área de superficie se escala como:

(2)

Para diferentes especies de animales, podemos esperar que esta escala también sea aproximadamente cierta, aunque el área superficial efectiva de, por ejemplo, un animal con pelo es mayor que el área superficial efectiva de un animal del mismo tamaño pero sin pelo.

Para un objeto con densidad ρ y volumen V , la masa m es:

(3)

Para diferentes objetos caracterizados por cierta longitud L el volumen se escala como:

(4)

Dado que, a partir de la ecuación (3), la masa es proporcional al volumen, es proporcional a la longitud de la tercera potencia:

(5)

Podemos afirmar esta misma relación diciendo que la longitud es proporcional a la raíz cúbica de la masa:

(6)

Entonces el cuadrado de L escala como la masa m a la potencia de dos tercios:

(7)

Vimos en la ecuación (2) que el área de superficie se escala como el cuadrado de L , por lo que en términos de la masa:

(9)

En la sección anterior vimos que la velocidad a la que un organismo cede calor a su entorno es proporcional al área, ecuación (1), por lo que ahora vemos que es proporcional a la masa de la potencia de los dos tercios: (10) donde c es una constante. Pero, hemos visto que en el equilibrio la velocidad a la que el organismo irradia energía es proporcional a su tasa metabólica. Por lo tanto, predecimos que la tasa metabólica basal de diferentes organismos debería escalar como la potencia de dos tercios de su masa. (11) Este tipo de análisis dimensional que conduce a la ecuación (11) a menudo se denomina

alometría. Análisis de datos. Experimentalmente, para investigar la validez de la Ecuación (11), es conveniente tomar el logaritmo de ambos lados: (12) Entonces podemos ajustar el logaritmo de la tasa metabólica basal versus el logaritmo de la masa a una línea recta. La intersección del resultado del ajuste es $\ln(c)$ y la pendiente debe ser de dos tercios. Sin embargo, como fue determinado por primera vez por Kleiber en 1932, el resultado del ajuste da una inclinación de casi exactamente $3/4$. La cifra es una reciente compilación de datos para mamíferos. Fuente: VM Savage, JF Gillooly, WH Woodruff, GB West, AP Allen, BJ Enquist, JH Brown, "El predominio de la escalada de cuarto de poder en biología", Jour. Functional Ecology 18, (2004) 257-282. Por lo tanto, la ecuación experimental (11) no es correcta. En lugar: