

Comparison between motor control of insects and mammals. Inspired in “neurobiology of insect motor control”

Comparaciones entre el control motor de insectos y mamíferos Inspirado en “Neurobiología del control motor en insectos”

Alcaraz-Zubeldia Mireya 

Department of Neurochemistry,
National Institute of Neurology and
Neurosurgery Manuel Velasco Suarez

Correspondence

Dra. Mireya Alcaraz Zubeldia
Department of Neurochemistry,
National Institute of Neurology and
Neurosurgery Manuel Velasco Suarez.
Insurgentes Sur 3877, colonia la
Fama, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14390,
Ciudad de México, México.

Abstract

This reflection, inspired by the article “Neurobiology of motor control in Insects” raises the particularities of motor control of chordates and especially in mammals, as well as the difficulty to raise motor control through a central pattern generator (GCP). However, several functional analogies between insects and mammals are discussed.

Key words: motor coordination, march, kinematics, mammals

Resumen

Esta reflexión, inspirada en el artículo “Neurobiología del control motor en Insectos” plantea las particularidades del control motor de cordados y en especial de mamíferos, así como la dificultad para plantear el control motor por medio de un generador central de patrones (GCP). Sin embargo, se discuten varias analogías funcionales entre insectos y mamíferos.

Palabras clave: coordinación motora; marcha; cinemática; mamíferos

Los mamíferos, como la mayor parte de las especies animales, se desplazan preferentemente de manera terrestre. La marcha terrestre se basa en una serie de pequeños saltos de cada pata, formando un péndulo invertido, que transforma la energía cinética en potencial, y viceversa. Al pasar de caminar a correr, a este modelo se suma la energía elástica, generada por el contacto de la pata con el piso, y almacenada de manera temporal en los músculos, tendones y ligamentos.¹

En mamíferos, la locomoción se clasifica morfológicamente en trepar, reptar o correr. En los más recientes evolutivamente, la regionalización del eje vertebral es similar y juega un papel dinámico importante durante la locomoción.² Las fuerzas no sólo se transmiten a partir del sistema esqueleto-muscular, sino que también son generadas por este, contribuyendo en la longitud de la zancada cuando los miembros oscilan.³ En primates arbóreos la cola mantiene la estabilidad y la posición del eje vertebral para mantener la coordinación.⁴

Extremidades en tetrápodos

Las extremidades de los tetrápodos se componen de elementos denominados quiridios, divididos en tres segmentos: el estilopodio (más cercano a las cinturas), el zeugopodio y el autopodio (pie), generalmente iguales en extremidades anteriores y posteriores. La articulación permite la locomoción terrestre y sus cambios evolutivos definen la capacidad para correr o nadar.⁵

Coordinación del movimiento

Todos los tetrápodos poseen una marcha alternada a manera de espejo que corresponde al patrón trípode de los insectos, donde existe un apoyo en tres puntos formando un triángulo. El movimiento de cada extremidad en los cuadrúpedos requiere de postura y balanceo. La postura parte cuando inicia el contacto de la pata con la superficie generando una potencia provocada por la flexión pasiva de hombro, codo y tobillo, etapa donde los músculos almacenan energía elástica y después se extiende a las articulaciones.

El tiempo de contacto de cada extremidad con el piso disminuye conforme la velocidad de los animales aumenta, como ocurre en los insectos.²

En ratas las características clave del sistema de redes que dirigen la locomoción incluyen: el ritmo, la alternancia entre flexión y extensión, y la coordinación de las extremidades del lado derecho e izquierdo.⁶

Por su parte, en homínidos, durante la marcha bípeda, las diferencias en la distribución de la masa en las extremidades superiores e inferiores genera un péndulo virtual similar para ambos pares de extremidades, aunque posean diferentes longitudes. Como consecuencia de este efecto pendular, existe un balance de la inercia entre las extremidades ipsilaterales moviéndose en dirección opuesta.²

Fisiología de la coordinación motora. Masa y velocidad

Aunque se considera que los tetrápodos primitivos poseían una marcha simétrica que confería mayor estabilidad y velocidad en respuesta a un mayor balance; la marcha asimétrica de algunos Diápsidos (cocodrilos jóvenes y lagartijas) durante la conducta de escape, genera dudas al respecto.²

Durante la marcha rápida en mamíferos de tamaño pequeño y mediano, la flexión de la región lumbar durante la oscilación es requerida en la protracción de las extremidades, responsable de la distancia entre el contacto de un pie con el siguiente. La oscilación no se limita a una fase de "recuperación" para que cada extremidad tenga un nuevo contacto y gane espacio, sino que participa en el equilibrio dinámico del cuerpo.²

El manejo de la aceleración en mamíferos depende de su tamaño. Aunque se modifican los mismos dos parámetros (frecuencia y largo de la zancada) los mamíferos pequeños (como ocurre en insectos) elevan la frecuencia, mientras los mamíferos grandes aceleran al aumentar la zancada. Aumentar la frecuencia requiere un mayor reclutamiento de fibras musculares, cuya contracción requiere mayor tasa de ATP y, por tanto, mayor demanda mitocondrial. Por su parte, las extremidades erectas de los grandes mamíferos favorecen una mayor zancada, sin mayor gasto energético y con una locomoción menos costosa por unidad de masa que la requerida para los pequeños.⁷

El doctor Fernández-Villalobos⁸ asocia al control motor del sistema nervioso con el de los sistemas motores rítmicos que dirigen la respiración, el vuelo y la deglución. Esto coincide con lo reportado para cordados, donde tanto las transiciones durante la respiración (aspiración y expiración), como

las ejecutadas durante procesos de locomoción como el vuelo, responden a señales fásicas sensoriales.⁹

El GCP en los vertebrados

En vertebrados es controversial la existencia de un generador central de patrones (GCP) a nivel de la médula espinal, capaz de dirigir la oscilación de cada extremidad. De ser así, se desconoce cómo dicha coordinación controla los muy diversos tipos de marcha.

En los vertebrados, los sistemas de retroalimentación pueden poseer diferentes niveles de complejidad dependiendo de la especie. Mientras en cordados primitivos como las lampreas un daño motor es fácilmente superable, para los felinos puede ser sumamente variable, lo que implica diferencias en la expresión del daño entre animales de la misma especie, como para el mismo espécimen, pero bajo diferentes condiciones. Análoga a la señal sensitiva de la sensilla campaniforme⁸, el patrón motor en el gato podría ser modulado por un GCP, a través de receptores sensoriales en sus extremidades. Inclusive, la retroalimentación aferente podría ser responsable de la generación del patrón motor de la marcha, integrado por un circuito complejo, dirigido por señales fásicas de receptores sensitivos en las patas del animal.¹⁰

Elección de modelos experimentales

La elección del modelo experimental en mamíferos depende de la complejidad del proceso y del tipo de abordaje de la patología a analizar, sin dejar de considerar las limitaciones y ventajas para cada especie.¹¹

Existen modelos experimentales capaces de reproducir exitosamente las bases anatómicas, electrofisiológicas y cinemáticas de patologías motoras. Un ejemplo de ello son los modelos murinos de la enfermedad de Parkinson, empleados en diversos estudios preclínicos.¹²

El potencial de recuperación motora en dichos modelos es analizado por medio de sofisticados equipos, capaces de analizar parámetros cinemáticos como el ritmo, la alternancia entre flexión y extensión, así como la coordinación de las extremidades.⁶ Por estas razones, consideramos a los modelos experimentales en mamíferos e insectos como una herramienta fundamental para el estudio de las bases neurobiológicas de la locomoción.

Declaración de Intereses

Este artículo no tiene conflicto de intereses.

Referencias

1. Ortega V.M. La evolución de la locomoción animal. *Revista Ciencia*. 2011. AMC. 62 (2): 60-67.
2. Gasc JP. Comparative aspects of gait, scaling and mechanics in mammals. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 2001; 131(1):121-33. DOI:10.1016/s1095-6433(01)00457-3
3. Gasc JP. Asymmetrical gait of the Saharian rodent (*Meriones shawi shawi* (Duvernoy, 1842) (Rodentia, Mammalia: a high-speed cinematographic analysis. *Can. J. Zool.* 71: 790-798. DOI:10.1139/z93-104
4. Young JW, Russo GA, Fellmann CD, Thatikunta MA, Chadwell BA. Tail function during arboreal quadrupedalism in squirrel monkeys (*Saimiri boliviensis*) and tamarins (*Saguinus oedipus*). *J Exp Zool A Ecol Genet Physiol*. 2015; 323(8):556-566. DOI:10.1002/jez.1948
5. Tellería JLL, Padilla CM, Tena LE. Adaptaciones a la locomoción: modificaciones del quiridio. Museo de Anatomía comparada de vertebrados. Universidad Complutense de Madrid. <https://biologicas.ucm.es/data/cont/docs/2-2018-06-13-QR-2.pdf>
6. Kiehn O, Dougherty KJ, Hägglund M, Borgius L, Talpalar A, Restrepo CE. Probing spinal circuits controlling walking in mammals. *Biochem Biophys Res Commun*. 2010; 396: 11-18. DOI: 10.1016/j.bbrc.2010.02.107
7. Strang KT, Steudel K. Explaining the scaling of transport costs: the role of stride frequency and stride length. *J Zool Lond*. 1990; 221: 343-358. DOI:10.1111/J.1469-7998.1990.TB04006.X
8. Fernández-Villalobos, G. Neurobiología del control motor en Insectos. *Arch Neurocién (Mex)*. 2019; 24 (1):17-27. DOI: 10.31157/archneurosciencesmex.v26i2.277
9. Jahn K, Wühr M. The Senses: A Comprehensive Reference. Postural Control Mechanisms in Mammals, Including Humans. Elsevier Inc. 2nd edition. 2020; 6.2: 344-370. DOI: 10.1016/B978-0-12-809324-5.24132-1
10. Pearson KG. Generating the walking gait: role of sensory feedback. *Prog Brain Res*. 2004; 143: 123-129. DOI: 10.1016/S0079-6123(03)43012-4
11. Giuliano C., Cerri S., Blandini F. Potential therapeutic effects of polyphenols in Parkinson's disease: in vivo and in vitro pre-clinical studies. *Neural Regen Res*. 2021. 16(2): 234-241. DOI: 10.4103/1673-5374.290879
12. Wan T., Weir E.J., Johnson M., Korolchuk V.I., Saretzki G.C. Increased telomerase improves motor function and alpha-synuclein pathology in a transgenic mouse model of Parkinson's disease associated with enhanced autophagy. *Prog Neurobiol*. 2021; 199: 101953. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2020.101953

Artículo sin conflicto de interés

© Archivos de Neurociencias