Actividad bioeléctrica en las patas de *Blaptica dubia* Servillel, 1839 (Insecta, Blattaria)

Bioelectric activity in the legs of *Blaptica dubia* Servillel, 1839 (Insecta, Blattaria)

ANA CLARA GONZÁLEZ¹

¹Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE), Departamento de Biología del Neurodesarrollo, Montevideo, Uruguay.

anacgonzalez92@gmail.com ORCID: 0000-0002-4753-6502

CAROLINA ALEN²

²Dirección General de Educación Secundaria (DGES), Administración Nacional de Educación Pública (ANEP) Montevideo, Uruguay, caroalen@gmail.com ORCID: 0000-0002-3910-6932

MAGELA CASTRO³

³Dirección General de Educación Secundaria (DGES), Administración Nacional de Educación Pública (ANEP) Montevideo, Uruguay magecas22@gmail.com ORCID: 0000-0001-8139-6948

Resumen

SEste trabajo de investigación surge como resultado de un Curso -Taller de postgrado Virtual Latinoamericano IBRO-LARC/PEDECIBA que brindó el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE) en colaboración con el Consejo de Formación Docente (CFE), llamado "Neurociencias e Inteligencia Artificial para todos". Este curso tuvo como finalidad promover el estudio y enseñanza de las Neurociencias con instrumentos potentes, sencillos y de bajo costo, orientado en el concepto de "hazlo tú mismo". El Neuron SpikerBox PRO es un dispositivo electrónico, capaz de proporcionar acceso al registro de la actividad fisiológica del sistema nervioso, ya que permite registrar potenciales de acción y medir sus frecuencias, de una forma accesible y sencilla, ideal para mejorar las prácticas educativas de las Ciencias Biológicas. En nuestro proyecto, medimos la actividad bioeléctrica provocada por la estimulación mecánica de una única espina de la pata media y posterior de la cucaracha *Blaptica dubia*, buscando encontrar diferencias en las frecuencias de descarga entre ambas patas. Para poder realizar un estímulo mecánico reproducible, de forma repetida, desarrollamos un brazo

mecánico casero, fácil de replicar y asequible. Se demuestra que la pata posterior genera un tren de impulsos nerviosos de mayor frecuencia que la pata media, siendo esto constante ante estímulos repetitivos, iguales y en la misma zona de la pata. Este trabajo se orientó en la idea de crear una experiencia que otros docentes puedan replicar en sus aulas, y brindarles a los estudiantes la oportunidad de realizar trabajos de investigación.

Palabras clave: mecanorreceptor, potencial de acción, frecuencia de descarga, tecnologías hazlo tú mismo.

Abstract

This research project arises as a result of a course IBRO-LARC/PEDECIBA offered by Biological Research Institute Clemente Estable in collaboration with CFE, called "Neurosciences and Artificial Intelligence for all", whose purpose was promote the study and teaching of neuroscience with powerful, simple and cheap instruments, for the concept "Do it yourself". The Neuron SpikerBox PRO is an electronic instrument that allows the registration of the physiological activity of the nervous system, recording action potentials and measuring their

frequency in a simple way, perfect to use in classrooms of Biological Science. In this project, we measure the bioelectrical activity in only one mechanoreceptor of the middle and hind leg from the cockroach *Blaptica dubia*, looking for differences in the discharge frequencies between both legs. To make a repeatable and reproducible mechanical stimulus, we developed a homemade mechanical arm, easy to replicate and use. We show that the hind leg generates a train of nervous impulses of higher frequency than the middle leg, this being constant in the face of repetitive stimuli, in the same zone of the leg. This project was oriented in the idea of creating an experience that other teachers can replicate the concepts in their classrooms and give to the students the opportunity to carry out research work. Keywords: e-learning, academic results, upper secondary education, COVID-19.

Keywords: mechanoreceptor, action potential, discharge frequency, do-it-yourself technologies

Fundamentación

La idea central de nuestro proyecto es poder compartir y recrear esta experiencia de investigación con otros docentes, para que llegue a las aulas de los Centros Educativos de Enseñanza Media Básica y Superior de todo el país. Utilizar dispositivos electrónicos que permiten medir y registrar actividades fisiológicas en el aula, es una oportunidad para que los estudiantes aprendan cómo se trabaja en ciencias, los desafíos y métodos que implica la investigación, aprender sobre el uso combinado de herramientas para la obtención, registro y análisis de datos, uso de software y elaboración de informes, a profundizar en el estudio del sistema nervioso, trabajando conceptos claves como fisiología de neurona, sinapsis, impulso nervioso o potencial de acción.

Trabajar con cucarachas facilita la tarea de poder desarrollar esta experiencia, pues permitiría contar con ejemplares vivos que los propios estudiantes pueden coleccionar, y que son de fácil mantenimiento en un Laboratorio de Educación Secundaria. Alternativamente, se puede acceder a la compra de especímenes de criadero, minimizando los riesgos en cuanto a bioseguridad. Aprendimos que trabajar con cucarachas, presenta dos ventajas desde un punto de vista ético. Es fácil anestesiarlas ya que como son insectos y no termorregulan, al colocarlas en un recipiente con agua helada baja su metabolismo y pierden la capacidad de propagar im-

pulsos nerviosos, dejando de responder a estímulos. En segundo lugar, las ninfas de *Blaptica dubia*, tienen la capacidad de regenerar las patas extraídas (Marzullo et al., 2016), lo que puede proporcionar otro tema de investigación, pero que claramente supone un insumo interesante para trabajar sobre bioética en clase.

Para desarrollar este proyecto, utilizamos como modelo experimental la cucaracha *Blaptica dubia* perteneciente a la Familia Blaberidae.

Las cucarachas silvestres contribuyen a la descomposición de la materia orgánica del suelo. Figuran entre los insectos más comunes en viviendas, restaurantes y almacenes. Algunas son cosmopolitas, dado que se han expandido junto con el ser humano por el mundo; este es el caso de nuestro modelo experimental (Imagen 1).

Imagen 1: Dibujo representativo de *Blaptica dubia* femenina (A) vista dorsal, (B) vista ventral. Insectos del Uruguay (2009). Bentancourt C.M., Scatoni I.B., Morelli E.

Estos insectos son fáciles de reconocer por su silueta oval, cuerpo deprimido, pronoto amplio que cubre total o parcialmente la cabeza y antenas largas y delgadas. Generalmente habitan en lugares húmedos y oscuros. Las patas son en general largas, y adaptadas para el escape. Las coxas son grandes, planas y se encuentran muy próximas. Las tibias generalmente llevan numerosas espinas, donde se localizan los mecanorreceptores. Los tarsos presentan cinco segmentos, los primeros cuatro llevan almohadillas y el quinto presenta uñas (Bentancourt et al., 2009).

El sistema nervioso se divide en central, periférico y visceral. El sistema nervioso central consiste en un cerebro o ganglio supraesofágico que se sitúa en la cabeza, un ganglio subesofágico ubicado en la cabeza por debajo del esófago, y una cuerda nerviosa ventral que se extiende a lo largo del cuerpo. La cuerda nerviosa ventral se forma por un par de ganglios por segmento, tres torácicos y ocho abdominales. Los ganglios participan en funciones nerviosas independientes del cerebro. Los torácicos, por ejemplo, controlan los movimientos de las patas y alas, mientras que los abdominales controlan las funciones respiratorias y reproductivas (Bentancourt et al., 2009).

Una de las razones del éxito evolutivo de los artrópodos, es el desarrollo de su sistema nervioso, asegurándose un acceso a la información proveniente del entorno a través de una rica variedad de órganos sensoriales (Bentancourt et al., 2009). Los órganos de los sentidos de los insectos son estructuras asociadas al tegumento que constan de una o varias células sensoriales primarias. La respuesta de las neuronas sensoriales, de un órgano en particular a un estímulo específico, consiste en potenciales generadores que dan lugar a potenciales de acción. Estos son conducidos por los axones aferentes que se dirigen desde el órgano sensorial a los ganglios donde establecen sinapsis con neuronas de asociación (Cirimello et al., 2007). La unidad básica de los órganos sensoriales se denomina sensilio. Este consiste de una estructura cuticular o epidérmica que detecta el estímulo, y una o más neuronas sensitivas en las que se traduce el estímulo en potenciales de membrana que cuando alcanzan un determinado valor desencadenan potenciales de acción (Bentancourt et al., 2009) (Imagen 2).

Imagen 2: Diagrama de un arco reflejo en los insectos. La neurona sensitiva transmite la información a la neurona motora a través de una neurona de asociación. Estas dos últimas neuronas tienen el cuerpo celular dentro del ganglio, carecen de dendritas y presentan ramas colaterales. Insectos del Uruguay (2009). Bentancourt C.M., Scatoni I.B., Morelli E.

En los mecanorreceptores (Imagen 3) el estímulo específico es la deformación mecánica de la estructura receptora. Se incluyen en esta categoría los receptores táctiles, que responden al movimiento del sensilio, así como los receptores que responden a cambios en la tensión mecánica del exoesqueleto y los propioceptores internos del tegumento y los músculos.

Imagen 3: Mecanorreceptores. (A) Sensilio táctil; (B) Sensilio campaniforme (basado en diversos autores). Insectos del Uruguay (2009). Bentancourt C.M., Scatoni I.B., Morelli E.

Los sensilios táctiles más frecuentes son los pelos sensoriales (sensilios tricoideos) que se encuentran distribuidos por toda la superficie del cuerpo aunque pre-

dominan en antenas, tibias, tarsos y cercos. Los pelos sensoriales articulan al tegumento por una zona membranosa y a causa de sus movimientos estimulan a la neurona sensitiva que lo inerva. Por ejemplo, las cucarachas disponen de pelos táctiles en los cercos que son sensibles a los movimientos del aire y utilizan dicha información para desencadenar un mecanismo de huida ante un posible peligro (Bentancourt et al., 2009).

Hipótesis

“La actividad bioeléctrica generada en la pata media y posterior de la cucaracha *Blaptica dubia* es diferente, ante un mismo estímulo mecánico.”

Objetivo de investigación

- Detectar la existencia de diferencias en la actividad bioeléctrica (frecuencia de impulsos nerviosos) de las patas media y posterior de la cucaracha *Blaptica dubia*, al ejercer un estímulo mecánico en una sola espina de cada pata.

Objetivos educativos

- Utilizar el Neuron SpikerBox PRO como un instrumento potente y de bajo costo, en la investigación de las neurociencias.
- Proporcionar herramientas para la enseñanza de las Ciencias Biológicas, accesibles a cualquier centro educativo del país.
- Fomentar el estudio de las neurociencias en el aula, brindando estrategias para que los docentes puedan generar proyectos de investigación de forma sencilla.

Materiales y metodología

Se utilizaron seis ejemplares adultos de *Blaptica dubia* de ambos sexos indistintamente (Tabla 1). Para minimizar las diferencias entre individuos, se compraron en el mismo criadero, siendo todas de la misma generación. Los animales fueron anestesiados por inmersión en agua fría, durante 20 minutos comprobando que no respondieran a estímulos. Cada ejemplar fue medido y fotografiado a escala, previo a la recolección de datos.

Tabla 1: Imágenes de los seis individuos y sus extremidades. En las columnas se observan, de izquierda a derecha, las imágenes de la pata media, pata posterior y el individuo entero respectivamente. En orden, se muestran los individuos del 1 al 6.

Las patas se diseccionaron y fijaron con dos electrodos al tablero de corcho, presente en el Neuron SpikerBox PRO, teniendo en cuenta que el movimiento de las púas cerca de la articulación tibia-tarsal provoca una actividad bioeléctrica mucho más robusta, que la provocada por la manipulación de las espinas cerca de la articulación fémur -tibia (<https://backyardbrains.com/experiments/spikerbox>). Decidimos aplicar la estimulación mecánica en una sola espina de la tibia, a nivel de la zona medial en ambas patas, media y posterior.

Para la obtención de datos se utilizó el equipo “Neuron SpikerBox PRO” de Backyard Brains (Imagen 4) que registra por medio de su microchip las diferencias de voltajes y las envía al ordenador, donde mediante el software Spiker Recorder, se graban y procesan los datos. La estimulación de las espinas se realizó con un

dispositivo que llamamos “brazo mecánico” diseñado de forma casera y con materiales asequibles, pero considerando que la estimulación mecánica fuera automatizada, para garantizar un contacto físico igual para todas las espinas.

Imagen 4: (a) Representación del SpikerBox. (b) iPhone con software iOS de código abierto personalizado utilizado para experimentos de electrofisiología en el aula. Marzullo, T. Gage, G. (2012)

En el armado del brazo mecánico se utilizó un palo de brochetas para ejercer el estímulo. El mismo, debía realizar un movimiento fijo y continuo de 4 grados de recorrido radial, mediante ciclos de 1 segundo de estimulación y 2 segundos de reposo, repetidos 10 veces.

Para fijar el palo de brochetas se utilizó una caja plástica de electricidad de registro estanco de 10 x 10 centímetros que ofició de contenedor y soporte. Dentro se colocó un motor micro servo 9g Tower Pro, conectado a una placa microcontroladora Arduino UNO SMD, la cual se programó, mediante el software de ARDUINO versión 1.8.13 para la ejecución de dicho movimiento (Imagen 5 (a) y (b)).

Imagen 5 (a): Imagen del dispositivo casero brazo mecánico. Se observa la caja de registro estanco, sosteniendo el palo de brochetas.

Imagen 5 (b): Imagen del interior del brazo mecánico. Se observa abierta la caja de registro estanco, dentro el motor servo, conectado a una placa controladora Arduino.

Para asegurarnos de que la punta del brazo mecánico coincidiera con una única espina de la tibia en cada pata, utilizamos, durante el proceso de estimulación, el microscopio digital USB, modelo 2.0 MP VIDEO, conectado a una computadora que nos permitió visualizar y ajustar con precisión cada contacto de estimulación.

Utilizando el microscopio digital se registró con imágenes para evidenciar que se estaba estimulando una única espina (Imagen 6). También se grabó en video el procedimiento (resultados no mostrados).

Imagen 6: Imagen tomada utilizando el microscopio digital, se observa el momento en el que se estimula una de las espinas de la tibia de la pata posterior del individuo 1.

Obtención de datos

Utilizando el software Spike Recorder de Backyard Brains, se registraron los potenciales de acción y se obtuvo la frecuencia de los potenciales de acción generados como respuesta a cada uno de los estímulos realizados con el brazo mecánico, en cada una de las espinas. Cuando se realizan registros de actividad bioeléctrica, es necesario considerar la actividad fisiológica basal, y el ruido eléctrico, que se mantendrá constante en presencia o ausencia de estímulos. Eso se conoce con el nombre de ruido basal, y es necesario quitarlo del registro para obtener sólo la actividad bioeléctrica generada por el estímulo mecánico, para este caso (Imagen 7 (a) y (b)).

Imagen 7 (a): Imagen del registro del primer tren de impulsos nerviosos de la pata media del individuo 1, obtenido con el software Spike Recorder.

Arriba a la izquierda se observa el registro de las frecuencias de los potenciales de acción generados durante un estímulo de 1 segundo.

Para sortear este ruido el software prevé que se pueda establecer parámetros de máximos y mínimos en los que se logra aislar los picos de voltajes que corresponden directamente a los potenciales de acción, producto de la estimulación controlada que se está ejerciendo. De esta manera, luego de ser filtrados en una banda mínima, que deja fuera el ruido eléctrico, el software logra contar de manera eficiente los picos de

potencial de acción utilizando una frecuencia de muestreo lo suficientemente rápida como para captarlos a todos, esta fue seteada a 500 Hz.

Se generó una planilla Excel donde se ingresaron todos los datos de las frecuencias, medidas en Hz, de los potenciales de acción generados con cada estimulación. Es decir, las frecuencias de descarga obtenidas en diez estimulaciones de una misma espina, para la pata media y posterior (Tabla 2).

Individuo	PATA	Toque 1,0 s	Frecuencia Hz	Individuo	PATA	Toque 1,0 s	Frecuencia Hz
1	Posterior	1	211	1	Media	1	203
1	Posterior	2	192	1	Media	2	194
1	Posterior	3	211	1	Media	3	175
1	Posterior	4	233	1	Media	4	157
1	Posterior	5	194	1	Media	5	175
1	Posterior	6	210	1	Media	6	171
1	Posterior	7	216	1	Media	7	176
1	Posterior	8	180	1	Media	8	172
1	Posterior	9	157	1	Media	9	169
1	Posterior	10	198	1	Media	10	157

Utilizando este procedimiento se calculó el promedio de los diez trenes de impulsos nerviosos para cada pata, en cada individuo, para comparar los registros de frecuencias entre ambas patas (Tabla 3).

Individuo	Pata	Frecuencias promedio	Diferencia (P-M)
1	M	174,9	
1	P	200,2	25,3
2	M	195,4	
2	P	216,8	21,4
3	M	221,8	
3	P	242,4	20,6
4	M	235,3	
4	P	247,2	11,9
5	M	191,7	
5	P	213,1	21,4
6	M	158,8	
6	P	184,1	25,3

Tabla 3: Tabla de datos promediados de las frecuencias obtenidas a partir de los registros de los 6 individuos.

Para el análisis de datos se usó la versión libre del software estadístico InfoStat, versión 2020 de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina y el software libre Past 4.0.

Resultados

Para realizar el análisis estadístico se colocaron los datos obtenidos en una tabla de tres variables, agrupando los datos por "Individuo", "Pata" y "Frecuencia" (Imagen 8) y se analizaron usando InfoStat.

Imagen 8: Imagen representativa del agrupamiento de datos utilizados para iniciar el análisis estadístico con el software estadístico InfoStat.

Se inició el análisis estadístico analizando las medidas de las variables (medias, medianas, extremos) (Tabla 4 (a)), a partir de los cuales se observó que en todas las muestras el coeficiente de variación fue menor a 30, lo que indica que los datos son poco variables. En cuanto a las varianzas, hay datos de individuos que tienen mayor dispersión que otros. A continuación, se realizó la prueba de normalidad, mediante el método estadístico Shapiro-Wilks, en el cual se plantea como hipótesis nula (H_0) la normalidad de los datos y se fija el intervalo de confianza en 95%. Si bien en el grupo de datos de la pata posterior se obtuvo un p-valor > 0.05 , en el grupo de la pata media se obtuvo un p-valor < 0.05 , por lo que no obtuvimos evidencia suficiente para indicar la normalidad de los datos (Tabla 4 (b)).

Debido a la falta de normalidad en los datos y dado que son pocos, se realizó

el análisis estadístico no paramétrico, para más de dos muestras y variables cuantitativas; utilizando la prueba de Kruskal Wallis, cuya hipótesis nula (H_0) es que las medianas de los datos son iguales y utilizando como regla de decisión que si $p \leq 0.05$ se rechaza H_0 .

Se obtuvo un p-valor < 0.05 (Tabla 4 (c)) con el cual, obtuvimos evidencia suficiente para avalar nuestra hipótesis inicial.

Pata	Individuo	Variable	n	Media	D.E.	Min	Máx	Mediana
M	1	Frecuencia	10	174,90	14,36	157,00	203,00	173,50
M	2	Frecuencia	10	195,40	13,75	177,00	225,00	196,50
M	3	Frecuencia	10	221,80	8,85	210,00	236,00	223,00
M	4	Frecuencia	9	236,00	43,41	195,00	310,00	235,00
M	5	Frecuencia	10	191,70	10,56	171,00	205,00	194,00
M	6	Frecuencia	10	158,80	19,87	112,00	184,00	160,50
P	1	Frecuencia	10	200,20	21,19	157,00	233,00	204,00
P	2	Frecuencia	10	216,80	22,87	189,00	240,00	209,00
P	3	Frecuencia	10	242,40	29,33	201,00	295,00	235,00
P	4	Frecuencia	11	245,55	20,55	204,00	274,00	248,00
P	5	Frecuencia	10	213,10	19,79	174,00	234,00	218,00
P	6	Frecuencia	10	184,10	8,03	175,00	196,00	183,50

Tabla 4 (a): Medidas resumen de las variables.

	All		All
N	60	N	60
Shapiro-Wilk W	0,9547	Shapiro-Wilk W	0,9803
p(normal)	0,026	p(normal)	0,4402

Tabla 4 (b): Análisis de normalidad utilizando la prueba Shapiro-Wilks. Se representan: arriba pata media, debajo pata posterior.

Pata	Variable	Individuo	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
M	Frecuencia 1	10	174,90	14,36	173,50	41,70	<0,0001	
M	Frecuencia 2	10	195,40	13,75	196,50			
M	Frecuencia 3	10	221,80	8,85	223,00			
M	Frecuencia 4	9	236,00	43,41	235,00			
M	Frecuencia 5	10	191,70	10,56	194,00			
M	Frecuencia 6	10	158,80	19,87	160,50			

Pata	Variable	Individuo	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
P	Frecuencia 1	10	200,20	21,19	204,00	34,01	<0,0001	
P	Frecuencia 2	10	216,80	22,87	209,00			
P	Frecuencia 3	10	242,40	28,33	235,00			
P	Frecuencia 4	11	245,55	20,55	248,00			
P	Frecuencia 5	10	213,10	19,79	218,00			
P	Frecuencia 6	10	184,10	8,03	183,50			

En base a los resultados obtenidos, se generaron gráficos en las cuales se observa claramente una diferencia en el registro de las frecuencias generadas en las patas medias y posteriores, ante un mismo estímulo mecánico (Imagen 9 (a) y (b)).

Imagen 9 (a): Gráfico de Box-Plot: se representa la diferencia en las frecuencias, en color rosa la pata media y en color azul la pata posterior; se visualiza la media, mediana, outliers y los valores límites que toman los datos.

Imagen 9 (b): Gráfico de barras de individuos vs frecuencia (Hz) (Rosa pata media; azul pata posterior). El análisis de los resultados permitió evidenciar una diferencia significativa entre las frecuencias de los potenciales de acción generados en cada pata, ante un mismo estímulo mecánico táctil.

Conclusiones

Se demuestra que la pata posterior genera un tren de impulsos nerviosos de mayor frecuencia que la pata media, siendo esto constante ante estímulos repetitivos, iguales y en la misma zona de la pata.

Las patas media y posterior reciben la mayor parte de la carga en cucarachas caminando. Por lo tanto, las patas medias sostienen la mayor parte del cuerpo del insecto y son consideradas importantes no sólo en el cuerpo en movimiento, sino también en el control de la pendiente corporal. Las patas posteriores en extensión en la articulación femur-tibial empuja al cuerpo de la cucaracha hacia adelante y por lo tanto proporciona la principal fuerza impulsora para caminar y correr (Gorelkin et al., 2013).

En base a la información citada anteriormente y los datos obtenidos mediante esta investigación, podemos concluir que la pata posterior registra una mayor actividad bioeléctrica en comparación a la pata media, debido a que desempeña una función fundamentalmente impulsora, que le brindaría al animal una ventaja en el momento de la huida. También debemos considerar que el Sistema Nervioso de los insectos está constituido por una cadena de ganglios que brindan autonomía a cada segmento del cuerpo, lo cual podría suponer que cada par de patas puede reaccionar de manera diferente ante un mismo estímulo, pero a la vez se coordinen de forma eficiente para cumplir con la función de la locomoción.

Consideraciones finales

Es importante aclarar que, si bien el tiempo de estimulación contó con un alto grado de exactitud al ser controlado por un microchip, la estimulación mecánica, en cada una de las espinas, puede que conlleve un leve error ligado a la baja precisión que proporcionan los dispositivos utilizados.

Agradecimientos

Queremos agradecer a María E. Castelló y Carolina Pereira por su apoyo y dedicación en la orientación de nuestro trabajo. Queremos agradecer a Freddie Kucze-
ra por su trabajo ayudando a desarrollar y programar el dispositivo de estimulación, y también agradecer a Gabriel Cussac por su asistencia técnica.

Referencias

- Bentancourt C.M., Scatoni I.B. & Morelli E. (2009). Insectos del Uruguay. Montevideo, Universidad de la República, Facultad de ciencias; Facultad de agronomía.
- Crimello, M., Rossi, A. & Pereira C., 2007, Los insectos: un modelo exitoso, pp.82-108. En: Alvaro M. & Beatriz G.(ed.) Docentes aprendiendo en red, Montevideo.
- Marzullo, T. Gage, G. (2012). The SpikerBox: un bioamplificador de código abierto y de bajo costo para aumentar la participación pública en la investigación en neurociencia. PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0030837>
- Marzullo, T. (2016). Nuevo crecimiento de las piernas en *Blaberus discoidalis* (cucaracha discoide) después de la autotomía de la extremidad versus la ruptura de la extremidad y la relevancia para los experimentos de neurofisiología. PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0146778>
- V.S.Gorelkin, I.Yu. Severina & I.L. Isavnina. (2013). Functional Role of Leg Receptors of the Cockroach *Periplaneta americana* in the System of Walking Control pp.348-352. Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia.