



València, 16 febrer 2015

Investigadors de la Universitat caracteritzen per primera vegada l'estructura modular anatòmica del cap humà

Una nova eina d'anàlisi matemàtica desenvolupada per investigadors del Grup de Biologia Teòrica de l'Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva de la Universitat de València ha permès una compressió més profunda de l'anatomia del cap humà gràcies a la descripció d'una xarxa ampliada del crani estructurada en deu mòduls. Els resultats d'aquest estudi liderat per l'investigador Diego Rasskin Gutman es publiquen en l'últim número de la revista *Scientific Reports*, editada per *Nature*.

Els científics de la Universitat de València han desenvolupat un marc de recerca basat en eines d'anàlisi matemàtica de xarxes per a l'estudi de l'anatomia, denominada *Anatomical Network Analysis* (AnNA). En concret, aquest mètode s'ha elaborat durant els últims sis anys, fruit dels resultats de la tesi doctoral de Borja Esteve Altava, sota la direcció de Rasskin. Gràcies a l'alt poder d'abstracció d'AnNA, els investigadors han dut a terme nombrosos estudis sobre l'esquelet humà, però també de la resta dels vertebrats terrestres, en particular sobre el desenvolupament i l'evolució del crani.

INCORPORACIÓ DE MÚSCULS I CARTÍLAGS

En aquesta ocasió, el Grup de Biologia Teòrica va agregar a l'estudi del crani, per primera vegada, els músculs i els cartílags del cap als ossos (on s'inclouien els ossos de l'orella interna, de la mandíbula i aquells d'altres



que connecten els músculs del cap, com és ara els de les vèrtebres cervicals i les clavícules).

D'aquesta manera, "hem trobat que, en analitzar el cap com un sistema complex definit per 181 nodes -entre ossos, músculs i cartílags; se n'han exclòs els músculs superficials- i 412 contactes físics -sutures i unions musculars tendinoses-, el sistema se subdivideix en deu mòduls ben definits", afirma Diego Rasskin.

Fins a la publicació d'aquest article, en el qual col·laboren la Facultat de Medicina de la Universitat de Howard a Washington DC (EUA) i la Universitat de Saskatchewan (Canadà), que han aportat a l'estudi les dades musculars, les aplicacions d'AnNA s'havien centrat exclusivament en els ossos. Per a cada crani, explica Rasskin, "s'efectuava un model de xarxa en què cada os es representava com el node de la xarxa i cada articulació física (contacte) com una connexió. Així, cada crani quedava modelitzat com una matriu de 0s i 1s, on cada connexió és un 1. A partir d'aquesta matriu s'analitzaven els atributs de la xarxa, que podien comparar-se, al seu torn, amb altres propietats genèriques de les xarxes".

SEMIINDEPENDÈNCIA EVOLUTIVA

Un dels resultats rellevants d'aquesta recerca és, a més, que les dependències funcionals i de desenvolupament del cap en conjunt no es poden separar, estan acoblades en aquests deu mòduls descrits pels científics de la Universitat de València. "Aquesta estructura modular permet la semiindependència evolutiva, és a dir, que el canvi en un d'aquests mòduls afecta en poca mesura els altres", assevera Rasskin.

Gràcies a l'ús d'AnNA, que permet l'anàlisi d'ossos i músculs al mateix temps, s'han pogut dilucidar noves dependències cranials, en aquest cas funcionals, ja que els músculs -associats a moviments- posen en relació ossos separats. Per exemple, com apunta l'investigador, el mòdul



mandíbula inferior/orella interna captura dependències entre ossos associats per músculs que ajuden a la masticació i que d'una altra manera no s'associarien (mandíbula amb el parietal, temporal i occipital), a més d'ossos de l'orella interna.

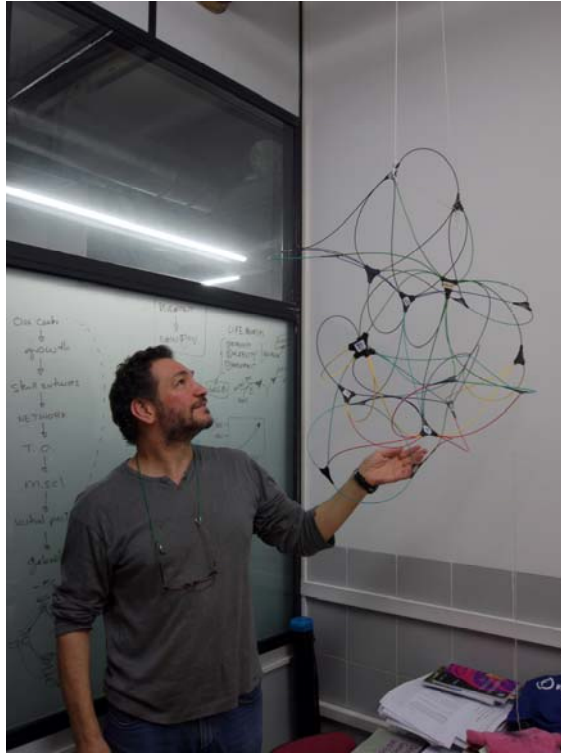
D'altra banda, els mòduls musculars “delaten la independència esquerra/dreta dels músculs orofacials (boca i rostre) enfront del bloc de músculs superiors. Això permet una major flexibilitat d'expressions facials en poder moure els músculs d'un costat i de l'altre per separat”, aclareix.

Diego Rasskin Gutman és investigador contractat de la Fundació General de la Universitat de València, on va arribar el 2006 per crear el Grup de Biologia Teòrica a l'Institut Cavanilles gràcies al programa Ramón i Cajal. És professor del màster en Biologia Integrativa i de Sistemes de la Universitat de València i editor de *Biological Theory*. Els seus temes de recerca tracten de la dinàmica evolutiva, els processos de desenvolupament embrionari i la relació entre tots dos a través de conceptes formals i matemàtics que deriven de la ciència de la complexitat. Rasskin és autor de *Chess Metaphors. Artificial intelligence and the human mind*, MIT Press (2009) i coeditor de *Modularity. Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems*, amb pròleg de Herbert Simon, MIT Press (2005) i *Pere Alberch. The creative trajectory of an evo-devo biologist*, Universitat de València (2009).

<http://www.uv.es/uvweb/institut-universitari-cavanilles-biodiversitat-biologia/ca/investigacio/grups-recerca/biologia-teorica/introduccio-1285894224902.html>

<http://www.nature.com/srep/2015/150206/srep08298/full/srep08298.html>

Borja Esteve-Altava, Rui Diogo, Christopher Smith, Julia C. Boughner & Diego Rasskin-Gutman (2015) *Anatomical networks reveal the musculoskeletal modularity of the human head*. Scientific Reports 5, Article number: 8298. doi:10.1038/srep08298



Investigadores de la Universitat caracterizan por primera vez la estructura modular anatómica de la cabeza humana

Una nueva herramienta de análisis matemático desarrollada por investigadores del Grupo de Biología Teórica del Institut Cavanilles de Biodiversitat i Biologia Evolutiva de la Universitat de València ha permitido una comprensión más profunda de la anatomía de la cabeza humana gracias a la descripción de una red ampliada del cráneo estructurada en diez módulos. Los resultados de este estudio liderado por el investigador Diego Rasskin Gutman se publican en el último número de la revista *Scientific Reports*, editada por *Nature*.



Los científicos de la Universitat de València han creado un marco de investigación basado en herramientas de análisis matemático de redes para el estudio de la anatomía, denominada *Anatomical Network Analysis* (AnNA). En concreto, este método se ha elaborado durante los últimos seis años, fruto de los resultados de la tesis doctoral de Borja Esteve Altava, bajo la dirección de Rasskin. Gracias al alto poder de abstracción de AnNA, los investigadores han llevado a cabo numerosos estudios tanto del esqueleto humano como del resto de los vertebrados terrestres, en particular del desarrollo y la evolución del cráneo.

INCORPORACIÓN DE MÚSCULOS Y CARTÍLAGOS

En esta ocasión, el Grupo de Biología Teórica agregó al estudio del cráneo, por primera vez, los músculos y los cartílagos de la cabeza junto a los huesos (donde se incluían los huesos del oído interno, la mandíbula y aquellos que conectan a los músculos de la cabeza, como son los de las vértebras cervicales y las clavículas).

De esta manera, “hemos hallado que al analizar la cabeza como un sistema complejo definido por 181 nodos -entre huesos, músculos y cartílagos, en donde se han excluido los músculos superficiales- y 412 contactos físicos -suturas y uniones musculares tendinosas-, el sistema se subdivide en diez módulos bien definidos”, afirma Diego Rasskin.

Hasta la publicación de este artículo, en el que colaboran la Facultad de Medicina de Howard University en Washington DC (EEUU) y la University of Saskatchewan (Canadá), aportando al estudio los datos musculares, las aplicaciones de AnNA se habían centrado exclusivamente en los huesos. Para cada cráneo, explica Rasskin, “se efectuaba un modelo de red en donde cada hueso se representaba como el nodo de la red y cada articulación física (contacto) como una conexión. Así, cada cráneo quedaba modelizado como una matriz de 0s y 1s, en donde cada conexión es un 1.



A partir de esta matriz se analizaban los atributos de la red que podían compararse, a su vez, con otras propiedades genéricas de las redes”.

SEMI-INDEPENDENCIA EVOLUTIVA

Uno de los resultados relevantes de esta investigación es, además, que las dependencias funcionales y del desarrollo de la cabeza en su conjunto no pueden separarse, están acopladas en estos diez módulos descritos por los científicos de la Universitat de València. “Esta estructura modular permite la semi-independencia evolutiva, es decir, el cambio en uno de ellos afecta en poca medida a los demás”, asevera Rasskin.

Gracias al uso de AnNA, que permite el análisis de huesos y músculos al mismo tiempo, se han podido dilucidar nuevas dependencias craneales, en este caso funcionales, ya que los músculos –asociados a movimientos– ponen en relación huesos separados. Por ejemplo, como apunta el investigador, el módulo mandíbula inferior/oído interno captura dependencias entre huesos asociados por músculos que ayudan a la masticación y que de otro modo no se asociarían (mandíbula con el parietal, temporal y occipital) además de huesos del oído interno.

Por otro lado, los módulos musculares “delatan la independencia izquierda/derecha de los músculos oro-faciales (boca y rostro) frente al bloque de músculos superiores. Esto permite una mayor flexibilidad de expresiones faciales al poder mover los músculos de un lado y del otro por separado”, clarifica.

Diego Rasskin Gutman es investigador contratado de la Fundación General de la Universitat de València, donde llegó en 2006 para crear el Grupo de Biología Teórica en el Institut Cavanilles gracias al programa Ramón y Cajal. Es profesor del máster de Biología Integrativa y de Sistemas de la Universitat de València y editor de *Biological Theory*. Sus temas de investigación tratan de la dinámica evolutiva, los procesos de



desarrollo embrionario y la relación entre ambos a través de conceptos formales y matemáticos que derivan de la ciencia de la complejidad. Rasskin es autor de *Chess Metaphors. Artificial intelligence and the human mind*, MIT Press (2009) y co-editor de *Modularity. Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems*, con prólogo de Herbert Simon, MIT Press (2005) y *Pere Alberch. The creative trajectory of an evo-devo biologist*, Universitat de València (2009).

<http://www.uv.es/uvweb/institut-universitari-cavanilles-biodiversitat-biologia/ca/investigacio/grups-recerca/biologia-teorica/introduccio-1285894224902.html>

<http://www.nature.com/srep/2015/150206/srep08298/full/srep08298.html>

Borja Esteve-Altava, Rui Diogo, Christopher Smith, Julia C. Boughner & Diego Rasskin-Gutman (2015) *Anatomical networks reveal the musculoskeletal modularity of the human head*. *Scientific Reports* 5, Article number: 8298. doi:10.1038/srep08298

UV researchers first to describe the modular anatomical structure of the human head

A new mathematical analysis tool developed by researchers from the Theoretical Biology Group at the Cavanilles Institute of Biodiversity and Evolutionary Biology of the University of Valencia has allowed a deeper understanding of the anatomy of the human head thanks to describing the skull as an extended network structured in ten modules. The results of this study led by researcher Diego Rasskin Gutman have been published in the latest issue of the *Scientific Reports* journal, published by *Nature*.



Scientists at the University of Valencia have developed a research methodology called Anatomical Network Analysis (AnNA), based on network analysis mathematical tools for studying anatomy. More precisely, this method has been developed over the last six years, as a result of the findings of the doctoral thesis by Borja Altava Esteve, under the supervision of Rasskin. Thanks to the high degree of abstraction of AnNa, researchers have been able to conduct several studies of both the human skeleton and of the rest of terrestrial vertebrates, especially as regards the development and evolution of the skull.

INTEGRATION OF MUSCLES AND CARTILAGES

On this occasion, for the first time ever, the Theoretical Biology Group added the head muscles and cartilages to the study of the skull bones (including the inner ear bones, the jaw and the bones that connect with head muscles, such as cervical vertebrae and clavicles).

This way, "we found that when analysing the head as a complex system defined by 181 nodes —including bones, muscles and cartilage, and excluding superficial muscles— and 412 physical contacts —sutures and cartilaginous joints—, the system can be subdivided into ten well-defined modules", says Diego Rasskin.

The Faculty of Medicine at Howard University in Washington D.C. (USA) and the University of Saskatchewan (Canada) have also collaborated in the study by contributing muscular data. Until the publication of this article, the applications of AnNa focused exclusively on bones. As Rasskin explains, each skull "generated a network model in which each bone was represented as the network node and each physical articulation (contact), as a connection. Thus, each skull was modelled as a 0-1 matrix with each connection being a 1. This matrix served to analyse the network attributes, which could in turn be compared to other generic network properties".



DEVELOPMENTAL SEMI-INDEPENDENCE

One of the important findings of this research is also that the functional and developmental dependences of the head as a whole cannot be separated, but are coupled in these ten modules described by scientists at the University of Valencia. "This modular structure allows each module to evolve semi-independently, i.e., changes in one of them has a minimal effect on others", says Rasskin.

By using AnNa, which enables the analysis of bones and muscles at the same time, new cranial functional dependences have been uncovered, because muscles —associated to movements— link separate bones. For example, as the researcher points out, the lower jaw / inner ear module shows dependences between bones associated with masticatory muscles and which would not associate otherwise (jaw to parietal, temporal and occipital) as well as inner ear bones.

Moreover, muscle modules "show left/right independence of orofacial muscles (mouth and face) from the upper face muscles. This allows greater flexibility in facial expression for we are able to move facial muscles on either side separately", he explains.

Diego Rasskin Gutman is a contracted researcher at the General Foundation of the University of Valencia, where he arrived in 2006 to create the Theoretical Biology Group at the Institut Cavanilles thanks to the Ramon y Cajal programme. He teaches the Master's Degree of Integrative Evolutionary Biology at the University of Valencia and is the editor of *Biological Theory*. His research interests revolve around evolutionary dynamics, the processes of embryonic development and the relationship between both through formal and mathematical concepts derived from the science of complexity. Rasskin is the author of *Chess Metaphors. Artificial intelligence and the human mind*, MIT Press (2009) and co-editor of



Modularity. Understanding the Development and Evolution of Natural Complex Systems, with a foreword by Herbert Simon, MIT Press (2005) and *Pere Alberch. The creative trajectory of an evo-devo biologist*, University of Valencia (2009).

<http://www.uv.es/uvweb/institut-universitari-cavanilles-biodiversitat-biologia/ca/investigacio/grups-recerca/biologia-teorica/introduccio-1285894224902.html>

<http://www.nature.com/srep/2015/150206/srep08298/full/srep08298.html>

Borja Esteve-Altava, Rui Diogo, Christopher Smith, Julia C. Boughner & Diego Rasskin-Gutman (2015) *Anatomical networks reveal the musculoskeletal modularity of the human head*. Scientific Reports 5, Article number: 8298. doi:10.1038/srep08298

