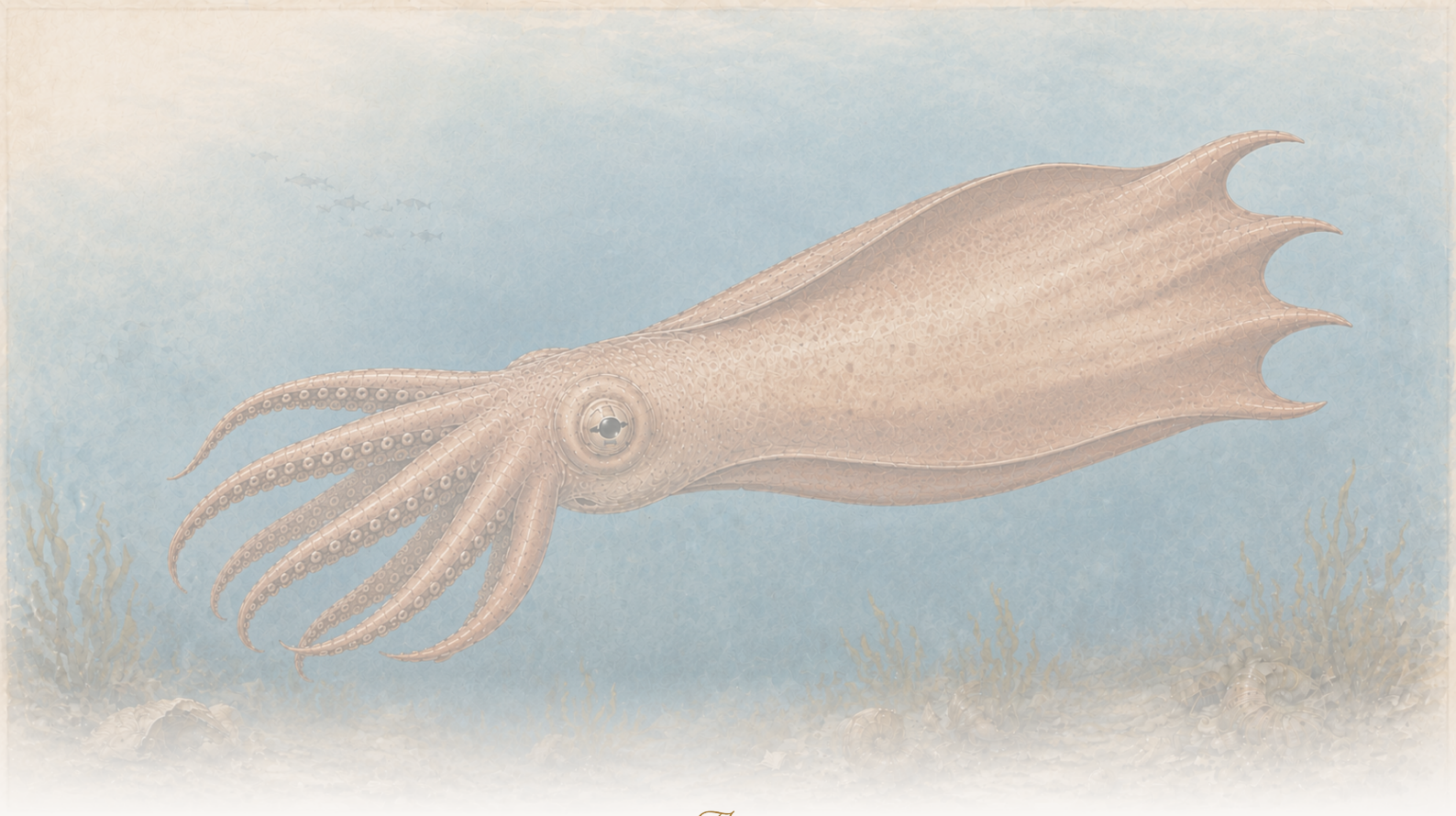




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Sotong kurita gergasi Zaman Kapur mungkin pemangsa puncak — tetapi buktinya bermula dengan rahang, bukan raksasa laut

Satu kertas Science meneliti semula rahang sefalopod Zaman Kapur yang sangat besar dan berhujah bahawa dua spesies Nanaimoteuthis ialah sotong kurita bersirip awal, dengan anggaran saiz badan beberapa meter dan mungkin sehingga 18.6 m. Kehausan rahang yang kuat mencadangkan penghancuran mangsa keras; kehausan tidak simetri mungkin memberi petunjuk tentang tingkah laku berlateralisasi. Ini cerita fosil yang hebat, tetapi versi bersihnya bukan 'kraken itu benar-benar wujud': ia ialah rekonstruksi daripada rahang, corak kehausan, taksonomi dan penskalaan saiz badan.

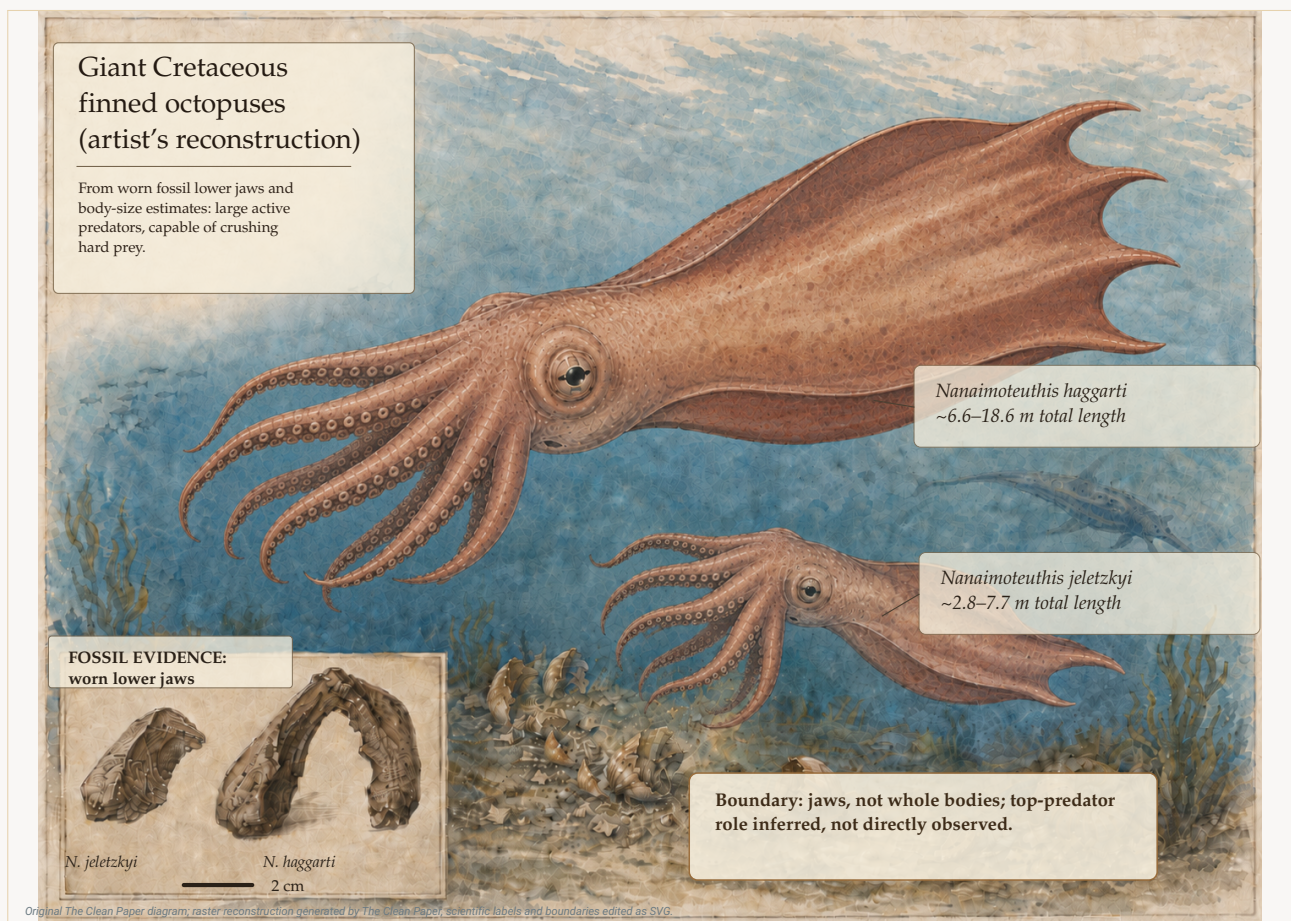
Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Earliest octopuses were giant top predators in Cretaceous oceans*, Shin Ikegami, Jörg Mutterlose, Kanta Sugiura, Yusuke Takeda, Mehmet Oguz Derin, Aya Kubota, Kazuki Tainaka, Takahiro Harada, Harufumi Nishida, and Yasuhiro Iba, Science 392, 406–410 (2026) · DOI: 10.1126/science.aea6285

Cerita kraken, dikembalikan kepada fosil

Rahang fosil bukan seekor haiwan. Ia ialah sisa keras daripada tubuh lembut, cebisan yang perlu digunakan ahli paleontologi untuk membina semula anatomi, tingkah laku dan ekologi tanpa berpura-pura bahawa mereka pernah melihat makhluk itu hidup. Itulah sebab kertas ini begitu sukar ditolak tetapi juga sangat mudah dipermudahkan. Versi tajuk utama memang menggoda: sotong kurita gergasi seperti kraken menguasai lautan Zaman Kapur. Versi berhati-hati lebih baik: rahang fosil yang terawet luar biasa menunjukkan bahawa beberapa sotong kurita bersirip terawal yang diketahui ialah karnivor sangat besar yang berulang kali menghancurkan mangsa bercangkerang atau bertubuh keras, dan mungkin berada di tingkat teratas jaringan makanan marin Zaman Kapur Akhir.

Itu masih hebat. Ia patut dibaca bukan sebagai cerita raksasa laut, tetapi sebagai pembinaan semula daripada rahang, corak kehausan, taksonomi dan penskalaan saiz badan.



Pembinaan semula artis bagi dua spesies *Nanaimoteuthis* yang dibincangkan dalam kertas, dengan rahang bawah fosil ditunjukkan sebagai bukti langsung di sebalik pembinaan semula saiz badan. Imej ini ialah pembinaan semula, bukan foto fosil: bukti yang terawet ialah rahang, manakala panjang badan dan peranan pemangsa puncak disimpulkan daripada penskalaan, corak kehausan dan ekologi.

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Apa yang dilakukan oleh para penulis

Para penulis meneliti semula rahang fosil sefalopod oktoabrakia Zaman Kapur — kumpulan lebih luas yang merangkumi sotong kurita dan saudara-mara mereka. Lima belas rahang fosil besar telah dilaporkan sebelum ini dari Jepun dan Pulau Vancouver. Pasukan itu turut menemui dua belas rahang tambahan dalam lima konkresi karbonat dari Jepun menggunakan perlombongan fosil digital.

Kaedah itu menggabungkan tomografi pengisaran beresolusi tinggi dan berwarna penuh dengan model AI pembelajaran zero-shot, bermakna model itu tidak dilatih secara khusus pada fosil ini. Para penyelidik mengisar setiap konkresi pada **selang 50 mikrometer**, memotret setiap permukaan baharu yang terdedah untuk membina urutan besar imej berwarna. Model segmentasi bernama DEVA menghasilkan garis luar digital, atau topeng, bagi rahang dalam setiap imej. Para penyelidik memeriksa garis luar itu berbanding imej asal, kemudian menyusun dan menggabungkannya menjadi model 3D warna asal dengan pelicinan minimum. Ini membolehkan mereka mengesan rahang yang tersembunyi dalam batuan dan memeriksa serpihan kecil, calar serta ciri kehausan lain pada permukaan. Tomografi pengisaran memusnahkan lima sampel batuan itu, tetapi data imej, topeng dan model 3D yang terhasil diarkibkan.

Mereka kemudian melakukan empat perkara yang saling berkaitan.

Pertama, mereka menyemak semula taksonomi. Rahang fosil yang sebelum ini diberikan kepada lima spesies disusun semula menjadi dua spesies: **Nanaimoteuthis jeletzkyi** dan **Nanaimoteuthis haggarti**. Genus yang sebelum ini dianggap saudara sotong vampir ditempatkan di sini dalam **Cirrata**, iaitu sotong kurita bersirip.

Kedua, mereka memanjangkan garis masa. Bahan baharu menolak rekod **N. jeletzkyi** kembali ke Cenomanian paling awal, sekitar **100 juta tahun lalu**, memanjangkan rekod sotong kurita bersirip yang diketahui kira-kira 15 juta tahun dan rekod sotong kurita secara lebih luas kira-kira 5 juta tahun.

Ketiga, mereka menganggarkan saiz badan daripada saiz rahang. Menggunakan hubungan alometrik daripada sotong kurita bersirip moden bertubuh panjang, mereka menganggarkan panjang mantel dan kemudian panjang keseluruhan. Anggarannya luas: **N. jeletzkyi** mencapai kira-kira **2.8 hingga 7.7 meter** panjang keseluruhan, dan **N. haggarti** kira-kira **6.6 hingga 18.6 meter**. Julat atas itulah asal bahasa “kraken”.

Kaedah tambahan menerangkan rantai penskalaan itu secara jelas. Para penyelidik membina semula garis luar rahang yang haus atau terluluhawa apabila perlu, kemudian menggunakan **12 hubungan khusus spesies** antara panjang tudung rahang bawah dan panjang mantel. Mereka mengambil kira purata **39% pengecutan akibat fiksasi** dalam spesimen moden yang berkaitan, dan menukar panjang mantel kepada panjang keseluruhan menggunakan nisbah **4.2** yang diperoleh daripada sotong kurita bersirip hidup bertubuh panjang. Pilihan itu menghasilkan satu julat, bukan ukuran langsung tubuh fosil.

Keempat, mereka memeriksa kehausan. Rahang terbesar tumpul dan membulat pada bahagian yang pada individu muda sepatutnya lebih tajam. Terdapat serpihan, calar, permukaan terkilat, rekahan dan kehilangan tepi rahang yang tidak simetri. Para penulis mentafsirkannya sebagai bukti pengancuran mangsa keras secara berulang, dan mungkin tingkah laku berlateralisasi.

Apa yang mereka temui

Ini mungkin sotong kurita bersirip awal, bukan sotong vampir. Taksonomi tambahan memisahkan dua langkah berkaitan. Setiap “bridge” ialah jalur bahan rahang yang menghubungkan tudung dengan dinding lateral. Dalam *Nanaimoteuthis*, bridge ini tersembunyi sepenuhnya oleh plat rahang dalam dan luar, satu pola yang menyokong penempatan genus dalam Cirrata. Sayap rahangnya yang lebar kemudian menyokong pengelasan dalam kumpulan sotong kurita bersirip bertubuh panjang. Itu penting kerana kertas ini bukan sekadar berkata “sefalopod besar”; ia mengubah kedudukan fosil tersebut dalam sejarah sotong kurita.

Mereka tua. Spesimen baharu meletakkan sotong kurita bersirip sekitar **100 juta tahun lalu**, pada Zaman Kapur Akhir. Itu menjadikannya antara haiwan garis keturunan sotong kurita terawal yang diketahui.

Mereka mungkin sangat besar. Anggaran saiz badan bukan ukuran tunggal daripada tubuh yang terawet; ia ialah pengiraan daripada rahang. Tetapi nombornya tetap besar walaupun dinyatakan dengan berhati-hati. Spesies lebih kecil, *N. jeletzkyi*, dianggarkan panjang keseluruhan beberapa meter. Spesies lebih besar, *N. haggarti*, dianggarkan sehingga kira-kira **18.6 meter**, sebanding dari segi skala dengan pemangsa marin terbesar pada zamannya dan sefalopod hidup terbesar.

Rahang sangat haus. Dalam spesimen terbesar, bahan rahang yang hilang mencapai kira-kira **10% daripada panjang keseluruhan rahang**. Kertas itu berhujah bahawa kehausan ini bukan kerosakan penyediaan atau lelasan ketika pengangkutan: spesimen datang daripada mendapan pelantar luar bertenaga rendah, serpihan dan calar terawet dengan cara yang konsisten dengan penggunaan, dan rahang sotong fosil lain yang ditemui bersama tidak menunjukkan pola sama. Para penulis membandingkan kehausan itu dengan sefalopod durofagus moden — haiwan yang memakan mangsa keras.

Kehausannya tidak simetri. Tepi rahang kanan lebih haus daripada kiri dalam kedua-dua spesies. Para penulis mentafsirkannya sebagai kemungkinan lateralisasi tingkah laku: kecenderungan menggunakan satu sisi lebih banyak daripada sisi lain. Oleh sebab tingkah laku berlateralisasi dikaitkan dengan sistem saraf kompleks dalam haiwan moden, mereka mencadangkan sotong kurita awal ini mungkin sudah mempunyai kecerdasan maju.

Apa yang mungkin dimaksudkan oleh hasil ini

Tafsiran ekologi paling kuat ialah bahawa sotong kurita bersirip Zaman Kapur Akhir bukan semuanya haiwan kecil latar belakang dalam ekosistem yang didominasi vertebrata besar. Hujah pemangsa puncak para penulis menggabungkan dua penemuan: saiz badan anggaran yang gergasi dan karnivori durofagus — pemprosesan berulang terhadap mangsa haiwan yang keras — yang disimpulkan daripada kehausan rahang. Bersama-sama, penemuan itu menyokong kemungkinan bahawa satu garis keturunan invertebrata turut berada di tingkat teratas jaringan makanan yang biasanya dikaitkan dengan mosasaur, plesiosaur, ikan besar dan jerung.

Cerita evolusinya juga menarik. Pemangsa marin vertebrata dan sefalopod garis keturunan sotong kurita mengambil laluan sangat berbeza menuju pemangsaan. Vertebrata memperoleh rahang, tubuh hidrodinamik, dan sering mengurangkan perisai luar. Saudara sotong kurita pula mengecilkan atau memasukkan cangkera ke dalam tubuh, menjadi bertubuh lembut dan mudah bergerak, sambil mengekalkan rahang berkuasa dan lengan fleksibel. Kertas itu membingkainya sebagai laluan konvergen menuju pemangsa marin yang besar dan cerdas.

Bahagian yang lebih spekulatif ialah tingkah laku. Kehausan meluas menyokong pemakanan mangsa keras. Saiz besar menyokong kepentingan ekologi. Kehausan tidak simetri menyokong kemungkinan tingkah laku berlateralisasi. Tetapi “kecerdasan maju” ialah inferens, bukan ukuran fosil langsung. Ia munasabah dalam konteks biologi sotong kurita, tetapi tidak patut dinyatakan lebih kuat daripada bukti.

Apa yang *tidak* dibuktikan oleh kajian ini

- Ia **tidak** mengawet seluruh tubuh sotong kurita gergasi. Pembinaan semula terutama berasaskan rahang, dengan saiz badan disimpulkan daripada penskalaan sotong kurita bersirip moden.
- Ia **tidak** menunjukkan kandungan perut atau sisa mangsa langsung. Pemakanan mangsa keras disimpulkan daripada kehausan rahang, bukan daripada makanan yang terfosil.
- **Artikel penyelidikan yang ditulis oleh para penulis tidak** mencadangkan bahawa haiwan ini memakan mosasaur, plesiosaur atau reptilia marin besar lain. Teks penyelidikannya menyebut haiwan itu hanya sebagai perbandingan saiz badan dan kedudukan ekologi.
- Ia **tidak** memberikan panjang badan yang tepat. Anggaran ialah julat, dan dakwaan terbesar ialah anggaran hujung atas.
- Ia **tidak** mengukur kecerdasan secara langsung. Kehausan rahang berlateralisasi ditafsir sebagai kemungkinan lateralisasi tingkah laku, yang mungkin mencadangkan tingkah laku kompleks; itu beberapa langkah inferens jauhnya daripada mengetahui apa yang mampu dilakukan haiwan tersebut.
- Ia **tidak** bermakna semua sotong kurita awal ialah gergasi. Dakwaan itu berkaitan dengan spesies *Nanaimoteuthis* ini, khususnya *N. haggarti*, bukan setiap garis keturunan sotong kurita awal.

Sejauh mana kukuh buktinya?

Bagi kewujudan rahang garis keturunan sotong kurita Zaman Kapur yang sangat besar, buktinya kuat: kertas membentangkan spesimen yang diterangkan, model digital, konteks stratigrafi, dan perbandingan dengan rahang sefalopod moden dan fosil.

Bagi pemakanan mangsa keras, buktinya juga cukup kuat. Corak kehausan diperincikan — serpihan, calar, kilapan, rekahan, kehilangan tidak simetri — dan para penulis berusaha menolak kerosakan penyediaan serta lelasan pengangkutan. Perbandingan dengan sefalopod durofagus moden ialah jambatan yang munasabah.

Bagi saiz badan tepat dan status pemangsa puncak, keyakinan patut lebih sederhana. Anggaran saiz bergantung pada penskalaan alometrik daripada sotong kurita bersirip hidup bertubuh panjang. Peranan ekologi disimpulkan daripada gabungan saiz anggaran dan karnivori durofagus, bukan diperhatikan secara langsung. Hujahnya koheren, tetapi ia pembinaan semula ekologi, bukan bancian langsung jaringan makanan.

Mengapa ia penting

Kertas ini contoh baik bagaimana paleontologi membuat dakwaan kuat daripada bukti separa tanpa sihir. Rahang ialah objeknya. Kehausan ialah jejak tingkah lakunya. Lengkung penskalaan ialah jambatan daripada fosil keras kepada tubuh lembut. Setiap langkah menambah kuasa, dan setiap langkah juga menambah ketidakpastian. Itulah pelajaran yang patut dikekalkan.

Ia juga membetulkan gambaran yang biasa. Lautan Zaman Kapur sering dibayangkan sebagai dunia pemangsa vertebrata besar dan mangsa bercangkerang yang lebih kecil. Fosil ini mencadangkan bahawa sebahagian invertebrata bertubuh lembut bukan sekadar bersembunyi di bawah jaringan makanan tersebut. Mereka mungkin bersaing di tingkat atasnya.

Hasil ini sangat visual, tetapi cerita bersihnya bukan “kraken itu benar-benar wujud.” Ceritanya ialah sotong kurita bersirip awal yang besar meninggalkan rahang yang membolehkan penyelidik membina semula tubuh gergasi dan pemakanan mangsa keras berulang — gabungan yang menghasilkan hujah serius, tetapi masih inferens, bahawa terdapat pemangsa puncak invertebrata pada zaman reptilia marin.

Ringkasan utama

Penyelidik meneliti semula rahang sefalopod fosil Zaman Kapur dari Jepun dan Pulau Vancouver, dan menggunakan tomografi pengisaran warna penuh serta segmentasi AI zero-shot untuk membina semula secara digital rahang tersembunyi sebagai spesimen 3D terperinci daripada batuan Jepun. Mereka menyusun semula beberapa takson fosil menjadi dua spesies **Nanaimoteuthis**, yang ditafsir di sini sebagai sotong kurita bersirip awal. Fosil itu memanjangkan rekod sotong kurita bersirip hingga kira-kira **100 juta tahun lalu**. Daripada penskalaan saiz rahang, para penulis menganggarkan panjang keseluruhan sekitar **2.8–7.7 m** bagi **N. jeletzkyi** dan **6.6–18.6 m** bagi **N. haggarti**. Kehausan rahang yang berat — serpihan, calar, kilapan, rekahan dan kehilangan tepi yang tidak simetri — mencadangkan penghancuran mangsa keras secara berulang dan mungkin tingkah laku berlateralisasi. Saiz anggaran yang gergasi ditambah karnivori durofagus menyokong tafsiran bahawa sotong kurita ini mungkin berada di tingkat teratas jaringan makanan marin. Bukti tidak merangkumi tubuh lengkap, panjang tepat, mangsa yang dikenal pasti atau ukuran langsung kecerdasan. Artikel penyelidikan yang ditulis oleh para penulis tidak mencadangkan pemangsaan reptilia marin besar.

Semakan tanpa gambar-gembur

Apa yang ditunjukkan oleh kertas ini: Rahang besar garis keturunan sotong kurita Zaman Kapur, disemak sebagai dua spesies *Nanaimoteuthis* dan ditempatkan dalam sotong kurita bersirip; rekod *Cirrata* yang lebih tua; anggaran saiz badan beberapa meter dan mungkin sehingga 18.6 m; kehausan rahang dewasa yang meluas dan konsisten dengan pemakanan mangsa keras; kehausan tidak simetri yang konsisten dengan kemungkinan tingkah laku berlateralisasi.

Apa yang munasabah tetapi belum terbukti: Bahawa *N. haggarti* ialah antara invertebrata terbesar yang pernah diketahui; bahawa haiwan ini benar-benar memegang peranan pemangsa puncak; bahawa kehausan tidak simetri mencerminkan lateralisasi tingkah laku dan kognisi maju.

Apa yang tidak ditunjukkannya: Fosil tubuh lengkap; mangsa langsung atau kandungan perut; panjang badan tepat; pemangsaan reptilia marin besar; bukti langsung kecerdasan; bahawa semua sotong kurita awal ialah gergasi.

Had utama: Saiz badan disimpulkan melalui model penskalaan berbilang langkah daripada rahang ke mantel ke panjang keseluruhan; status pemangsa puncak disimpulkan daripada saiz anggaran ditambah karnivori durofagus; tingkah laku disimpulkan daripada kehausan tidak simetri; fosil mengawet rahang, bukan tubuh lengkap atau mangsa langsung.

Berapa besar keyakinan yang patut ada pada pembaca umum? Tinggi bahawa fosil ini merangkumi rahang sotong kurita bersirip awal yang sangat besar dengan bukti kehausan yang kuat. Sederhana bahawa haiwan terbesar mencapai hujung atas anggaran 6.6–18.6 m. Sederhana bahawa mereka benar-benar pemangsa puncak dan bukan sekadar karnivor mangsa keras yang sangat besar. Rendah bahawa kita boleh mengatakan banyak perkara khusus tentang kecerdasan mereka. Sikap yang wajar: cerita fosil yang hebat, tetapi dibina daripada rahang dan inferens, bukan daripada raksasa laut lengkap.

Kemas kini selepas penerbitan

• Pembetulan • 2026-07-26

Selepas maklum balas daripada penulis koresponden Yasuhiro Iba, kami menyatakan dengan jelas bahawa artikel penyelidikan yang ditulis oleh para penulis menggunakan reptilia marin besar sebagai perbandingan dan bukannya mangsa, serta menjelaskan perbezaan antara artikel penyelidikan tersebut dengan Editor's Summary berasingan daripada Science mengenai atribusi mangsa. Kami juga memperluas penerangan tentang kaedah perlombongan fosil digital dan bukti pemangsa puncak, serta memeriksa pakej tambahan lengkap.

Sumber

Science 392, 406–410 (2026)

<https://doi.org/10.1126/science.aea6285>

Supplementary methods, text, figures S1–S6, and references

https://www.science.org/doi/suppl/10.1126/science.aea6285/suppl_file/science.aea6285_sm.pdf

Supplementary tables S1–S6

https://www.science.org/doi/suppl/10.1126/science.aea6285/suppl_file/science.aea6285_tables_s1_to_s6.zip

MDAR reproducibility checklist

https://www.science.org/doi/suppl/10.1126/science.aea6285/suppl_file/science.aea6285_mdar_reproducibility_checklist.pdf

Fossil lower jaws dataset — Figshare

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.27933759>

Tomographic animations — Figshare

<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.27935904>

CPU-enabled AI segmentation code — Zenodo

<https://doi.org/10.5281/zenodo.15176344>