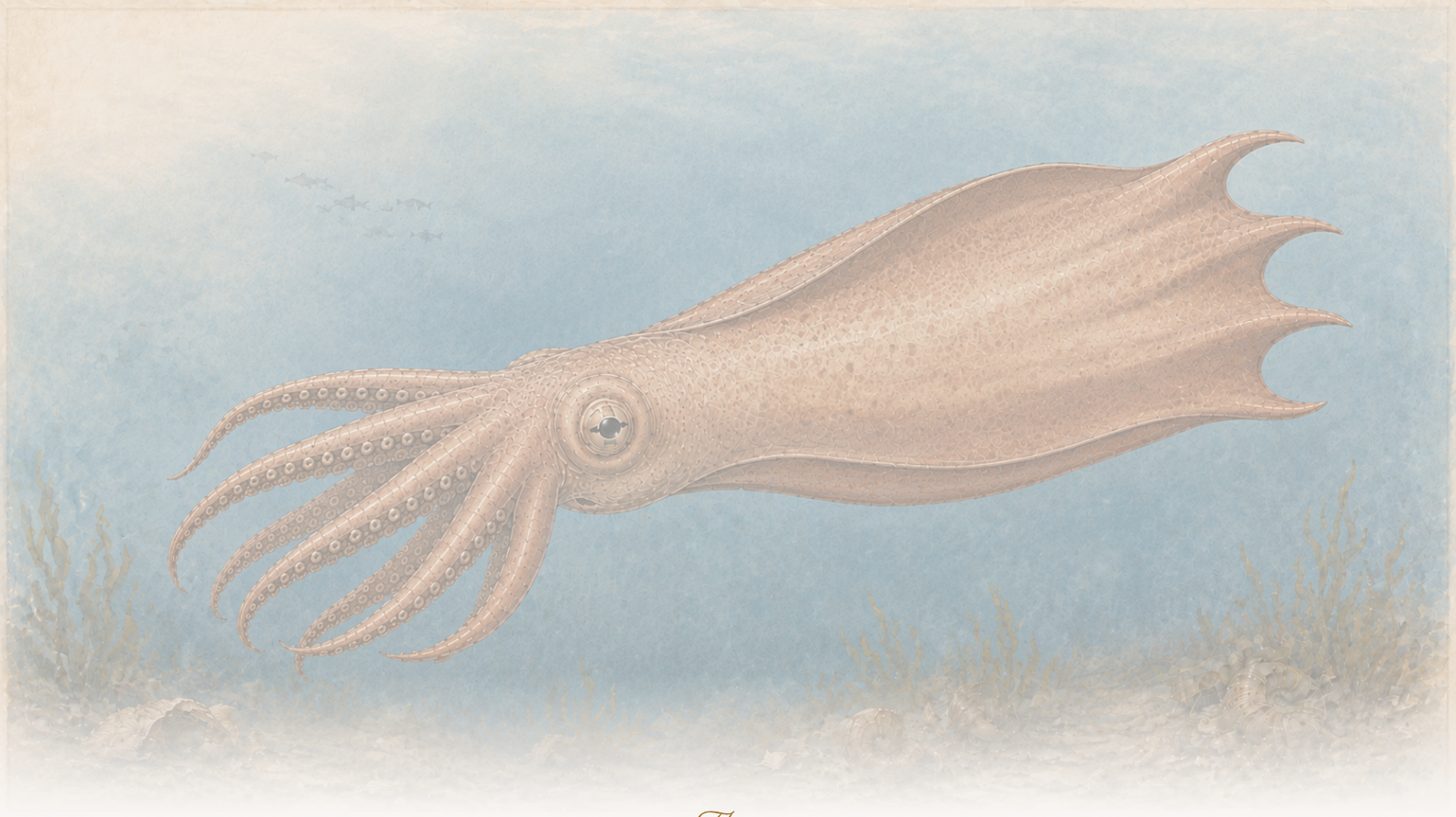


The Clean Paper

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

Cretaceous giant octopus-ները կարող էին top predator լինել, բայց evidence-ը սկսվում է jaw-երից, ոչ sea monster-ից

Science-ի հոդվածը նորից ուսումնասիրում է Cretaceous-ի հսկա cephalopod jaw-երը և պնդում, որ Nanaimoteuthis երկու species-ը early finned octopus-ներ էին, որոնց body-size estimate-ները մի քանի meter էին և հնարավոր է հասնում էին 18.6 m-ի: Heavy jaw wear-ը հուշում է hard-prey crushing, asymmetric wear-ը՝ հնարավոր lateralized behavior: Սա spectacular fossil story է, բայց մաքուր տարբերակը «kraken-ը իրական էր» չէ. դա jaw-երից, wear pattern-ներից, taxonomy-ից և scaling-ից reconstruction է:

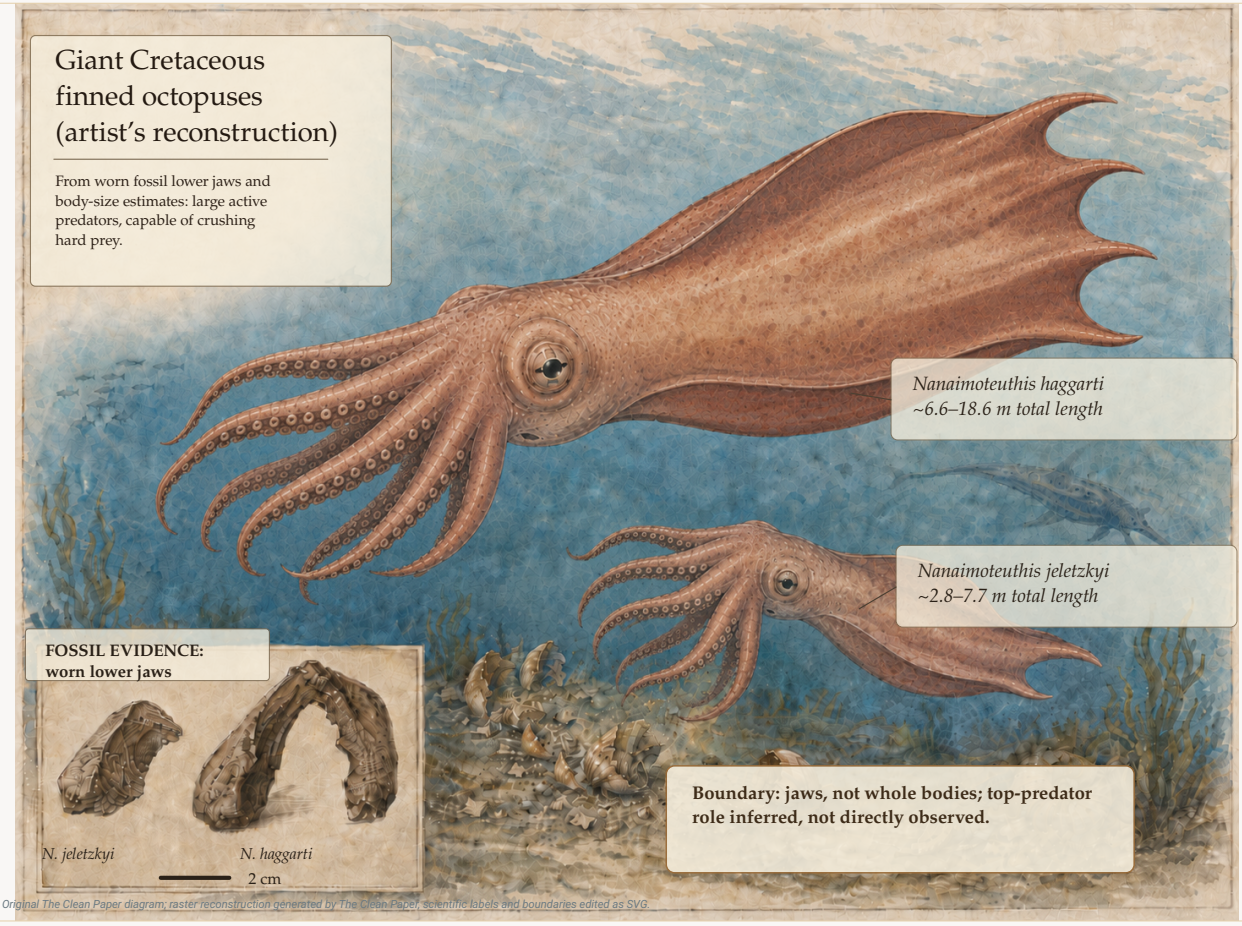
Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

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

«Կրակենի» պատմությունը՝ մինչև բրածո ապացույցները

Բրածո ծնոտը կենդանի չէ: Այն փափուկ մարմնից պահպանված կոշտ մասն է, որի հիման վրա հնէաբանները փորձում են վերակառուցել անատոմիան, վարքն ու էկոլոգիան՝ առանց ձևացնելու, թե կենդանուն տեսել են կենդանի վիճակում: Հենց դրա պատճառով այս հոդվածը միաժամանակ շատ գրավիչ է և շատ հեշտ է չափազանցնել: Վերնագրային տարբերակը պարզ է՝ Կավճային օվկիանոսները ղեկավարում էին հսկա «կրակենանման» ութոտնուկներ: Ավելի զգույշ տարբերակը ավելի հետաքրքիր է. բացառիկ պահպանված բրածո ծնոտները հուշում են, որ մեզ հայտնի ամենավաղ լողակավոր ութոտնուկներից մի քանիսը շատ խոշոր գիշատիչներ էին, որոնք բազմիցս կոշտ որս էին ջարդում և հնարավոր է զբաղեցնում էին ուշ Կավճային ծովային սննդային ցանցերի վերին մակարդակները:

Սա ինքնին տպավորիչ է: Բայց պատմությունը պետք է կարդալ ոչ որպես ծովային հրեշի մասին լեգենդ, այլ որպես ծնոտների ձևից, մաշվածության հետքերից, դասակարգումից և մարմնի չափի մասշտաբավորումից կառուցված վերակազմություն:



Հոդվածում քննարկված **Nanaimoteuthis** երկու տեսակների գեղարվեստական վերակազմությունը՝ բրածո ստորին ծնոտները որպես մարմնի չափի գնահատման ուղղակի հիմք: Սա վերակազմություն է, ոչ բրածոյի լուսանկար. պահպանված են ծնոտները, իսկ

մարմնի երկարությունն ու սննդային ցանցում հնարավոր վերին դիրքը եզրակացվում են մասշտաբավորումից, մաշվածության օրինաչափություններից և էկոլոգիական համատեքստից։

Original hybrid diagram — The Clean Paper CC BY 4.0

Ի՞նչ արեցին հեղինակները

Հեղինակները նորից ուսումնասիրել են Կավճային ութթևավոր գլխոտանիների բրածո ծնոտները՝ լայն խումբ, որի մեջ մտնում են ութոտնուկներն ու հարակից ձևերը։ Ճապոնիայից և Վանկուվեր կղզուց նախկինում հայտնի էր 15 խոշոր բրածո ծնոտ։ Թիմը Ճապոնիայի հինգ կարբոնատային կոնկրետներում թվային «բրածո որոնմամբ» հայտնաբերել է ևս 12 ծնոտ։

Մեթոդը համադրել է բարձր լուծաչափով գունավոր շերտային հղկման տոմոգրաֆիան և առանց հատուկ ուսուցման կիրառված ԱԲ բաժանման մոդելը։ Յուրաքանչյուր կոնկրետը հղկվել է **50 միկրոմետր** քայլերով, և յուրաքանչյուր նոր բացված մակերես լուսանկարվել է՝ ստանալով գունավոր պատկերների երկար հաջորդականություն։ DEVA բաժանման մոդելը յուրաքանչյուր պատկերում առանձնացրել է ծնոտի թվային ուրվագիծը։ Հետազոտողները դրանք ստուգել են սկզբնական պատկերների հետ և հետո միավորել գրեթե չհարթեցված, բնական գույնը պահպանող եռաչափ մոդելների մեջ։ Այդ եղանակը թույլ է տվել ոչ միայն ապարի ներսում թաքնված ծնոտներ գտնել, այլ նաև ուսումնասիրել դրանց մակերեսի մանր կոտրվածքները, քերծվածքները և մաշվածության այլ հետքերը։ Հղկման տոմոգրաֆիան ոչնչացրել է հինգ ապարային նմուշները, բայց պատկերները, բաժանման դիմակներն ու 3D մոդելները արխիվացվել են։

Այնուհետև հեղինակները կատարել են իրար կապված չորս քայլ։

Առաջինը՝ վերանայել են դասակարգումը։ Նախկինում հինգ տեսակների բաժանված ծնոտները վերակարգավորվել են երկու տեսակի՝ **Nanaimoteuthis jeletzkyi** և **Nanaimoteuthis haggarti**։ Սեռը, որն ավելի վաղ համարվել էր վամպիրային կաղամարի հարազատ, այստեղ տեղադրվում է **Cirrata**-ի՝ լողակավոր ութոտնուկների խմբում։

Երկրորդը՝ նրանք երկարացրել են ժամանակային գրանցումը։ Նոր նյութը **N. jeletzkyi**-ին տանում է մինչև ամենավաղ Սենոմանյան՝ մոտ **100 միլիոն տարի առաջ**։ Սա լողակավոր ութոտնուկների հայտնի պատմությունը երկարացնում է մոտ 15 միլիոն տարով, իսկ ութոտնուկների ընդհանուր գրանցումը՝ մոտ 5 միլիոն տարով։

Երրորդը՝ ծնոտի չափից գնահատել են ամբողջ մարմնի չափը։ Ժամանակակից երկարամարմին լողակավոր ութոտնուկների ալոմետրիկ կապերով նախ հաշվարկել են մանտիայի երկարությունը, ապա՝ ընդհանուր երկարությունը։ Միջակայքները լայն են. **N. jeletzkyi**-ի համար մոտ **2,8–7,7 մետր**, իսկ **N. haggarti**-ի համար՝ մոտ **6,6–18,6 մետր**։ Հենց վերջին միջակայքի վերին ծայրն է դարձել «կրակենի»

վերնագրերի աղբյուրը։

Լրացուցիչ մեթոդները բացահայտ ներկայացնում են հաշվարկի շղթան։ Անհրաժեշտության դեպքում վերականգնվել են մաշված կամ եղանակային վնասված ծնոտների ուրվագծերը, ապա կիրառվել է ստորին ծնոտի գլխիկի երկարության և մանտիայի երկարության միջև **12 տեսակի վրա հիմնված կապ**։ Ժամանակակից համապատասխան նմուշների համար հաշվի է առնվել ֆիքսացիայից առաջացող միջին **39% կծկումը**, իսկ մանտիայի երկարությունից ընդհանուր երկարություն անցնելու համար օգտագործվել է երկարամարմին ժամանակակից լողակավոր ութոտնուկներից ստացված **4,2** հարաբերակցությունը։ Այս քայլերը տալիս են միջակայք, ոչ պահպանված մարմնի ուղղակի չափում։

Չորրորդը՝ ուսումնասիրել են մաշվածությունը։ Ամենախոշոր ծնոտների այն հատվածները, որոնք երիտասարդ նմուշներում սուր են, դարձել էին կոտրված և կլորացած։ Տեսանելի էին մանր կտրվածքներ, քերծվածքներ, փայլեցված մակերեսներ, ճաքեր և ծնոտի եզրի անհամաչափ կորուստ։ Հեղինակները սա մեկնաբանում են որպես կոշտ որսը բազմիցս ջարդելու հետքեր և հնարավոր կողմնայնացված վարք։

Ի՞նչ գտան

Սրանք հավանաբար վաղ լողակավոր ութոտնուկներ էին, ոչ վամպիրային կաղամարներ։ Լրացուցիչ դասակարգման վերլուծությունը հիմնվում է ծնոտի կառուցվածքի մի քանի հատկանիշների վրա։ **Nanaimoteuthis**-ում որոշ կապող հատվածներ ամբողջությամբ ծածկված են ծնոտի ներքին ու արտաքին սալերով, ինչը աջակցում է սեռը Cirrata-ում տեղադրելուն։ Լայն ծնոտային «թևերն» էլ համահունչ են երկարամարմին լողակավոր ութոտնուկների խմբին։ Այսինքն՝ հոդվածը պարզապես «մեծ գլխոտանի» չի նկարագրում, այլ փոխում է այն, թե այս բրածոները որտեղ են տեղավորվում ութոտնուկների էվոյյուցիոն պատմության մեջ։

Նրանք շատ հին էին։ Նոր նմուշները լողակավոր ութոտնուկներին տանում են մոտ **100 միլիոն տարի առաջ**՝ ուշ Կավճայինի վաղ հատված։ Դրանք դառնում են մեզ հայտնի ամենավաղ ութոտնուկային գծի կենդանիներից մի քանիսը։

Նրանք կարող էին հսկայական լինել։ Մարմնի չափերը պահպանված մարմինների ուղղակի չափումներ չեն, այլ ծնոտներից ստացված գնահատականներ։ Բայց նույնիսկ զգուշավոր ձևակերպմամբ թվերը մեծ են։ **N. jeletzkyi**-ի համար գնահատվում է մի քանի մետր ընդհանուր երկարություն, իսկ **N. haggarti**-ի վերին գնահատականը մոտենում է **18,6 մետրի**՝ ուշ Կավճայինի ամենախոշոր ծովային գիշատիչների և ամենամեծ ժամանակակից գլխոտանիների չափային կարգին։

Ծնոտները ուժեղ մաշված էին։ Ամենախոշոր նմուշներում կորած նյութը հասնում էր ծնոտի ընդհանուր երկարության մոտ **10%-ին**։ Հեղինակները փորձում են ցույց տալ, որ այս մաշվածությունը ոչ պատրաստման ընթացքում վնասում է, ոչ տեղափոխման հետևանք. նմուշները գալիս են ցածր էներգիայի արտաքին

շելֆային նստվածքներից, իսկ կտրվածքներն ու քերծվածքները պահպանված են օգտագործման հետ համահունչ ձևով: Նույն շերտերում հանդիպող այլ բրածո կաղամարների ծնոտները նույն օրինաչափությունը չունեն: Մաշվածությունը համեմատվում է ժամանակակից կոշտ որս ուտող գլխոտանիների հետ:

Մաշվածությունն անհամաչափ էր: Երկու տեսակներում էլ աջ ծնոտի եզրը ավելի մաշված էր, քան ձախը: Հեղինակները դա մեկնաբանում են որպես հնարավոր վարքային կողմնայնացում՝ մեկ կողմն ավելի հաճախ օգտագործելու միտում: Քանի որ ժամանակակից կենդանիների մոտ կողմնայնացված վարքը երբեմն կապվում է բարդ նյարդային համակարգի հետ, նրանք ենթադրում են, որ այս վաղ ութոտնուկները կարող էին ունենալ զարգացած ճանաչողական վարք: Սա, սակայն, արդեն ավելի հեռու եզրակացություն է:

Ի՞նչ է սա հավանաբար նշանակում

Ամենաուժեղ էկոլոգիական մեկնաբանությունն այն է, որ ուշ Կավճայինի լողակավոր ութոտնուկները բոլորը չէին փոքր, երկրորդական կենդանիներ՝ ողնաշարավոր գիշատիչներով գերիշխող էկոհամակարգերում: Հեղինակների՝ սննդային ցանցի վերին մակարդակի մասին փաստարկը միավորում է երկու դիտարկում՝ շատ մեծ գնահատված մարմնի չափ և կոշտ որսի նկատմամբ հարմարված մսակերություն, որի մասին հուշում է ծնոտների մաշվածությունը: Միասին դրանք հնարավորություն են տալիս ենթադրել, որ անողնաշարավոր այս գիծը հասել էր սննդային ցանցի այն մակարդակներին, որոնք սովորաբար կապում ենք մոզազավրերի, պլեզիոզավրերի, խոշոր ձկների և շնաձկների հետ:

Էվոյյուցիոն պատմությունն էլ հետաքրքիր է: Ծովային ողնաշարավոր գիշատիչներն ու ութոտնուկների գիծը գիշատիչ կյանքի են հասել շատ տարբեր ուղիներով: Ողնաշարավորները զարգացրել են ծնոտներ ու հոսքագծային մարմիններ և հաճախ նվազեցրել արտաքին զրահը: Ութոտնուկների հարազատները կորցրել կամ ներքինացրել են խեցին՝ դառնալով փափուկ ու շարժուն, բայց պահպանել են հզոր ծնոտներն ու ճկուն թևերը: Հեղինակները սա ներկայացնում են որպես խոշոր և բարդ վարք ունեցող ծովային գիշատիչների ուղղությամբ կոնվերգենտ էվոյյուցիայի օրինակ:

Ավելի ենթադրական մասը վարքն է: Լայնածավալ մաշվածությունը բավական լավ աջակցում է կոշտ որսի օգտագործմանը, մեծ չափը՝ էկոլոգիական կարևորությանը, իսկ անհամաչափ մաշվածությունը՝ հնարավոր կողմնայնացված վարքին: Բայց «զարգացած բանականությունը» բրածոյից ուղղակի չափված արդյունք չէ: Ութոտնուկների կենսաբանության համատեքստում այն հնարավոր է, բայց ապացույցներից ավելի ուժեղ չպետք է ներկայացվի:

Ի՞նչ սա *չի* ապացուցում

- Սա **չի պահպանում ամբողջական հսկա ութոտնուկի մարմին**: Վերակազմությունը հիմնված է հիմնականում ծնոտների վրա, իսկ մարմնի չափը գնահատվում է ժամանակակից լողակավոր ութոտնուկների մասշտաբային կապերից:
- Սա **չի ցույց տալիս ստամոքսի պարունակություն կամ ուղղակիորեն նույնականացված որս**: Կոշտ որս ուտելու մասին եզրակացությունը ծնոտների մաշվածությունից է, ոչ պահպանված կերակրից:
- **Հոդվածը չի պնդում**, որ այս կենդանիները որսացել են մոզազավրեր, պլեզիոզավրեր կամ այլ խոշոր ծովային սողուններ: Դրանք օգտագործվում են միայն չափի և էկոլոգիական դիրքի համեմատության համար:
- Սա **չի տալիս մարմնի ճշգրիտ երկարություն**: Թվերը գնահատման միջակայքներ են, իսկ ամենամեծ թիվը՝ վերին գնահատական:
- Սա **ուղղակիորեն չի չափում բանականությունը**: Ծնոտի անհամաչափ մաշվածությունը մեկնաբանվում է որպես հնարավոր վարքային կողմնայնացում, որը կարող է հուշել բարդ վարք, բայց դա մի քանի եզրակացական քայլ հեռու է իրական ճանաչողական կարողություններից:
- Սա **չի նշանակում, որ բոլոր վաղ ութոտնուկները հսկա էին**: Պնդումը վերաբերում է **Nanaimoteuthis** տեսակներին, հատկապես **N. haggarti**-ին:

Որքա՞ն ուժեղ է ապացույցը

Շատ խոշոր Կավճային ութոտնուկային ծնոտների գոյության ապացույցները ուժեղ են. հոդվածը ներկայացնում է նկարագրված նմուշներ, թվային մոդելներ, շերտագրական համատեքստ և ժամանակակից ու բրածո գլխոտանիների ծնոտների համեմատություններ:

Կոշտ որս ուտելու ապացույցներն էլ բավական ուժեղ են: Մաշվածության օրինաչափություններ մանրամասն նկարագրված են՝ կտրվածքներ, քերծվածքներ, փայլեցում, ճաքեր և անհամաչափ նյութի կորուստ: Հեղինակները նաև հատուկ փորձում են բացառել նմուշի պատրաստման և տեղափոխման ընթացքում առաջացած վնասը: Ժամանակակից կոշտ որս օգտագործող գլխոտանիների հետ համեմատությունը տրամաբանական կամուրջ է:

Մարմնի ճշգրիտ չափի և սննդային ցանցի վերին մակարդակի կարգավիճակի նկատմամբ վստահությունը պետք է ավելի չափավոր լինի: Չափի գնահատականները կախված են ժամանակակից երկարամարմին լողակավոր ութոտնուկների ալոմետրիկ մասշտաբավորումից: Էկոլոգիական դերը եզրակացվում է գնահատված չափի և կոշտ որս ուտելու համադրությունից, ոչ ուղղակի դիտարկումից: Փաստարկը հետևողական է, բայց սա էկոլոգիական վերակազմություն է, ոչ սննդային ցանցի ուղղակի հաշվառում:

Ինչո՞ւ է սա կարևոր

Այս հոդվածը լավ օրինակ է, թե հնէաբանությունը ինչպես կարող է մասնակի ապացույցներից ուժեղ, բայց սահմանափակ պնդումներ կառուցել՝ առանց «կախարդանքի»։ Ծնոտը դիտարկվող օբյեկտն է։ Մաշվածությունը վարքի հետքն է։ Մասշտաբային կորն է այն կամուրջը, որը կոշտ բրածոյից տանում է դեպի փափուկ մարմնի չափը։ Յուրաքանչյուր քայլ տեղեկություն է ավելացնում, բայց նաև անորոշություն։ Սա հենց այն դասը է, որը պետք է պահպանել։

Այն նաև ուղղում է Կավճային օվկիանոսների ծանոթ պատկերը։ Սովորաբար դրանք պատկերացնում ենք որպես խոշոր ողնաշարավոր գիշատիչների և փոքր խեցավոր որսի աշխարհ։ Այս բրածոները հուշում են, որ որոշ փափկամարմին անողնաշարավորներ պարզապես սննդային ցանցի ներքևում չէին։ Նրանք կարող էին մրցակցել վերին մակարդակներում։

Արդյունքը շատ տեսողական է, բայց ճիշտ պատմությունը «կրակենն իրական էր» չէ։ Ավելի ճիշտ է՝ վաղ լողակավոր ութոտնուկների խոշոր ծնոտներից հետազոտողները վերակառուցել են շատ մեծ մարմնի չափ և կոշտ որսի կրկնվող օգտագործում։ Այդ համադրությունը լուրջ, բայց դեռ եզրակացական հիմք է տալիս այն մտքին, որ ծովային սողունների դարաշրջանում որոշ անողնաշարավորներ նույնպես կարող էին լինել սննդային ցանցի վերին գիշատիչներ։

Կարճ ամփոփում

Հետազոտողները նորից ուսումնասիրել են Ճապոնիայի և Վանկուվեր կղզու Կավճային գլխոտանիների բրածո ծնոտները և գունավոր շերտային հոկման տոմոգրաֆիայի ու ԱԲ բաժանման օգնությամբ Ճապոնական ապարների ներսում թաքնված նոր ծնոտներ վերակառուցել եռաչափ տեսքով։ Նրանք նախկին մի քանի տաքսոններ վերակարգավորել են **Nanaimoteuthis** երկու տեսակների մեջ, որոնք այս աշխատանքում մեկնաբանվում են որպես վաղ լողակավոր ութոտնուկներ։ Նոր բրածոները այդ խմբի գրանցումը տանում են մինչև մոտ **100 միլիոն տարի առաջ**։ Ծնոտների չափից հեղինակները գնահատում են **N. jeletzkyi**-ի ընդհանուր երկարությունը մոտ **2,8–7,7 մետր**, իսկ **N. haggarti**-ինը՝ մոտ **6,6–18,6 մետր**։ Ուժեղ մաշվածությունը՝ կտրվածքներ, քերծվածքներ, փայլեցում, ճաքեր և եզրի անհամաչափ կորուստ, հուշում է կոշտ որսի կրկնվող օգտագործում և հնարավոր կողմնայնացված վարք։ Մեծ գնահատված չափն ու այդ սննդային վարքը միասին աջակցում են այն մեկնաբանությանը, որ որոշ տեսակներ կարող էին սննդային ցանցի վերին մակարդակում լինել։ Բայց ապացույցներում չկան ամբողջական մարմիններ, ճշգրիտ երկարություն, նույնականացված որս կամ բանականության ուղղակի չափում։

Առանց չափազանցության

Ի՞նչ է ցույց տալիս հոդվածը։ Խոշոր Կավճային ութոտնուկային ծնոտներ, որոնք վերակարգավորվում են **Nanaimoteuthis** երկու տեսակների և տեղադրվում լողակավոր ութոտնուկների խմբում, խմբի ավելի հին գրանցում, մի քանի մետրից մինչև հնարավոր մոտ 18,6 մետր մարմնի չափի գնահատականներ, մեծահասակների ծնոտների ուժեղ մաշվածություն՝ կոշտ որսի օգտագործման հետ համահունչ, և անհամաչափ մաշվածություն, որը կարող է մատնանշել վարքային կողմնայնացում։

Ի՞նչն է հավանական, բայց ապացուցված չէ։ Որ **N. haggarti**-ն մեզ հայտնի ամենախոշոր անողնաշարավորներից էր, որ այս կենդանիները իրականում սննդային ցանցի վերին գիշատիչներ էին, և որ անհամաչափ մաշվածությունը արտացոլում է կողմնայնացված վարք ու զարգացած ճանաչողական կարողություններ։

Ի՞նչ չի ցույց տալիս։ Ամբողջական մարմնի բրածո, ուղղակի որս կամ ստամոքսի պարունակություն, մարմնի ճշգրիտ երկարություն, խոշոր ծովային սողունների որս, բանականության ուղղակի ապացույց կամ այն, որ բոլոր վաղ ութոտնուկները հսկա էին։

Հիմնական սահմանափակումները։ Մարմնի չափը ստացվում է բազմաքայլ ծնոտ → մանտիա → ընդհանուր երկարություն մասշտաբավորումից, սննդային ցանցի վերին կարգավիճակը՝ գնահատված չափի և կոշտ որս ուտելու համադրությունից, վարքը՝ անհամաչափ մաշվածությունից, իսկ բրածոների գրանցումը պահպանում է ծնոտներ, ոչ ամբողջ կենդանիներ կամ ուղղակի որս։

Որքա՞ն վստահություն պետք է ունենա ընդհանուր ընթերցողը։ Բարձր՝ որ բրածոները ներառում են շատ խոշոր վաղ լողակավոր ութոտնուկների ծնոտներ՝ ուժեղ մաշվածության ապացույցներով։ Միջին՝ որ ամենախոշոր կենդանիները հասել են **6,6–18,6 մետր** միջակայքի վերին մասին։ Միջին՝ որ դրանք իրականում վերին մակարդակի գիշատիչներ էին, ոչ պարզապես շատ խոշոր կոշտ որս օգտագործող մսակերներ։ Ցածր՝ նրանց ճանաչողական կարողությունների կոնկրետ բնույթի մասին։ Ճիշտ վերաբերմունքը՝ տպավորիչ բրածո պատմություն, կառուցված ծնոտներից ու զգույշ եզրակացություններից, ոչ ամբողջական «ծովային հրեշից»։

Հրապարակումից հետո կատարված թարմացումներ

- **Ուղղում · 2026-07-26**

  Corresponding author Yasuhiro Iba-ի feedback-ից հետո մենք բացահայտ նշել ենք, որ հեղինակների research article-ը large marine reptile-ներին դիտարկում է որպես body-size և ecological comparison, ոչ prey, և հստակեցրել ենք տարբերությունը հեղինակների research article-ի և Science-ի առանձին Editor’s Summary-ի միջև prey attribution-ի հարցում։ Մենք նաև ընդլայնել ենք digital fossil-mining մեթոդի և top-predator evidence-ի բացատրությունը և ստուգել ամբողջ supplementary package-ը։

Աղբյուրներ

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