

Суставы — подвижные сочленения костей, покрытые суставной сумкой, синовиальной оболочкой и жидкостью — позволили животным плавно передвигаться и сохранять стабильность при перемещении. Раньше считалось, что это изобретение наземных позвоночных, поскольку при выходе на сушу изменился тип передвижения. Однако впоследствии белки, которые смазывают суставы, обнаруживали в челюстях костных рыб данио-рерио (*Danio rerio*), трехглой колюшки (*Gasterosteus aculeatus*) и у пятнистой панцирной щуки (*Lepisosteus oculatus*).

Эти находки отодвинули эволюционное происхождение смазанных суставов как минимум на 410 миллионов лет назад к общему предку позвоночных животных. Но точнее определить дату возникновения такого механизма сложно, поскольку суставная ткань не сохраняется в ископаемых скелетах.

Скольжение костей в суставе обеспечивают несколько вещей. Во-первых, место соединения на костях покрыто упругим гиалиновым хрящом. Во-вторых, сустав смазывают белки хондроитинсульфаты (аггрекан, лубрицин), коллагены двух типов, гликозаминогликаны (гиалуроновая кислота) и гликопротеин CD44. Все они предотвращают трение костей при движении. По этим признакам американские биологи решили узнать, есть ли синовиальные суставы у хрящевых рыб, считающихся предками позвоночных. Для этого ученые изучили устройство скелета акул, скатов и бесчелюстных миног. Препринт исследования опубликован на сайте bioRxiv.

Авторы работы исследовали скелетную морфологию эмбрионов белопятнистой кошачьей акулы (*Chiloscyllium plagiosum*), ежового ската (*Leucoraja erinacea*) и молодой особи морской миноги (*Petromyzon marinus*). Микротомография и гистологический анализ показали, что у хрящевых рыб есть сочленения с полостями наподобие суставов в челюстях и тазовой области, но у миног отдельных хрящевых элементов не было. Выстилка суставной полости ската и акулы напомнила ученым мембрану из хондроцитов тетраподов, а морфология походила на суставы куриного эмбриона.

Метод окрашивания выявил в составе суставной поверхности скатов коллаген второго типа и гликозаминогликаны. С помощью геномного анализа биологи обнаружили, что у скатов смазывающие белки (аггреканы, CD44 и другие) выделяются только в области сустава, тогда как у миног — по всему хрящевому скелету. Также выяснилось, что разделение хрящей на два и формирование посередине суставной полости происходит у скатов между 32-й и 33-й стадией развития.

Чтобы узнать, какой процесс стоит за созданием сустава, авторы работы вызвали у некоторых эмбрионов паралич мышц. В результате у парализованных особей суставных

У хрящевых рыб нашли суставы как у наземных животных

полостей в тазовой и челюстной областях не возникло, тогда как у нетронутых взрослых рыб все было в порядке. Биологи сделали вывод, что сустав между хрящами формируется мышечными сокращениями.

Результаты работы показали, что синовиальные суставы возникли еще до эволюции костей, а генами, которые продуцируют смазывающие белки, обладали уже бесчелюстные морские миноги — поэтому их тело такое гибкое. Это позволяет предположить, что хрящевые рыбы использовали уже существующие инструменты, но специализировали их для движений челюсти и плавников в более жестком и длинном скелете.