Скорость мутаций у человекообразных обезьян втрое выше, чем у человека

Генетики пересчитали скорость мутаций у человекообразных обезьян методом «троек», путем секвенирования геномов родителей и потомков, у человекообразных обезьян: шимпанзе, гориллы и орангутана. Она оказалась втрое выше (в среднем $1{,}48 \times 10^{-9}$ на пару нуклеотидов в год), чем у человека ($0{,}43 \times 10^{-9}$ на пару нуклеотидов в год). Авторы предполагают, что в эволюционной линии человека, относительно недавно, скорость мутаций замедлилась. С учетом этого были пересчитаны датировки разделения ветвей предков человека от предков шимпанзе, гориллы и орангутана. Эти датировки согласуются с датировками некоторых ископаемых останков.

Скорость мутаций – очень важная величина в эволюционной биологии, на основании этой цифры рассчитывают время расхождения видов и строят филогенетические деревья. У человека для ее оценки прямым способом используется метод «троек» — секвенируют геномы отца, матери и ребенка, вычисляют число мутаций «де ново» у ребенка и пересчитывают на число мутаций в год. Полученная таким способом скорость мутаций составляет $0{,}43 \times 10^{-9}$ на пару нуклеотидов в год. Если использовать эту величину для оценки расхождения эволюционной ветви человека с ветвями антропоидов — человекообразных обезьян, то получится, что от шимпанзе мы отделились более 15 млн лет назад, от гориллы – около 19 млн, от орангутана – около 35 млн лет назад. Но эти цифры не очень согласуются с датировками ископаемых останков.

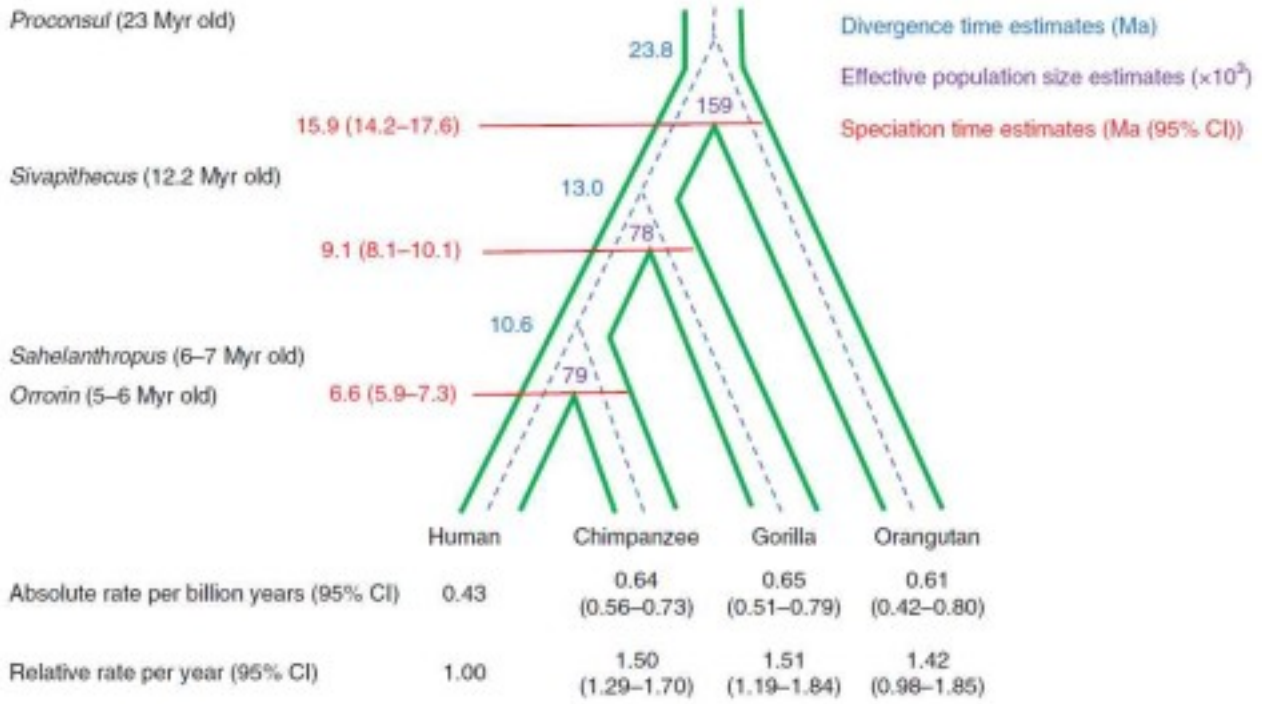
Чтобы разобраться в этом вопросе, генетики оценили скорость мутаций у антропоидов – шимпанзе, гориллы и орангутана — прямым способом, по методу «троек». Результаты этого исследования опубликованы в журнале Nature Ecology & Evolution. Авторы работы секвенировали геномы «тройки» (родителей и детеныша) шимпанзе, двух «троек» горилл, одной «тройки» орангутана, а также пересчитали данные, полученные ранее на шести «тройках» шимпанзе.

В этой работе было очень важно учесть возрастной фактор. Число мутаций у ребенка, как было давно показано, зависит от возраста отца (в большей степени, чем о т возраста матери). Это объясняется тем, что сперматогенез происходит в течение всей жизни и при каждом делении клеток возникают мутации; поэтому с каждом годом жизни отца его сперматозоиды передают в зиготу больше мутаций. Яйцеклетки же закладываются уже при рождении девочки и при созревании не проходят через такое число делений, поэтому они передают в зиготу меньше мутаций. Поскольку мутации, передающиеся ребенку из половых клеток родителей, подсчитываются при секвенировании его генома, наряду с мутациями, которые происходят в клетках делящегося зародыша, возраст родителей (особенно отца) вносит свой вклад и в величину скорости мутаций. Для антропоидов действует такая же закономерность. Это стало причиной того, что авторы работы пересчитали скорость мутаций, полученную ранее на «тройках» шимпанзе, с учетом фактора возраста.

В итоге, вычисленные прямым методом скорости мутаций на пару нуклеотидов в год составили: $1{,}50 \times 10^{-9}$ для шимпанзе, $1{,}51 \times 10^{-9}$ для гориллы $1{,}42 \times 10^{-9}$ для орангутана, в среднем для антропоидов $1{,}48 \times 10^{-9.}$ Это примерно в три раза выше, чем у человека.

Это означает, что в эволюционной линии человека скорость мутаций значительно снизилась по сравнению с той, какой она была у общих предков человека и человекообразных обезьян. По оценкам авторов, это замедление мутаций произошло относительно недавно, порядка 400 тыс. лет назад. В очень небольшой степени, рассуждают авторы, это может быть объяснено более поздним половым созреванием и более длинным поколением у человека (29 лет), чем у шимпанзе (24 года), гориллы (19 лет) и орангутана (25 лет). Но это не может объяснить разницу скорости в три раза.

Новые данные вызывают необходимость пересчитать датировки разделения эволюционных ветвей человека и антропоидов. Так, датировка отделения наших предков от линии шимпанзе оценивается в 6,6 млн лет (это согласуется с временем жизни орорина (5-6 млн лет назад) одного из первых на нашей ветви, и сахелантропуса (6-7 млн лет назад), жившего как раз на «развилке». Разделение с ветвью гориллы датируется 9,1 млн лет назад. Разделение с ветвью орангутана датируется 15,9 млн лет назад, что находится между временем жизни сивапитекуса (12,2 млн лет назад) и проконсула (23 млн лет назад) – они обозначают верхнюю и нижнюю границу этой эволюционной развилки.



Разделение ветвей на эволюционном древе на основании пересчитанных скоростей мутаций. Красным цветом показаны датировки образования новых видов (млн лет назад); голубым – время расхождения линий (млн лет назад); фиолетовым – оценка эффективного размера популяции (х103). Внизу показаны число мутаций за миллиард лет и скорость мутаций в год (х10-3).

текст Надежды Маркиной

Источник:

Besenbacher S., Hvilsom C., Marques-Bonet T., Mailund T. and Heide Schierup M. **Direct estimation of mutations in great apes reconciles phylogenetic dating** // Nature Ecology & Evolutionб 2019

Direct estimation of mutations in great apes reconciles phylogenetic dating

Текст статьи можно скачать в библиотеке сайта http://генофонд.рф/?page_id=41