

Розділ 1

РОЗПОВІДЬ ПРО ТРЬОХ ШИМПАНЗЕ

*На скільки відсотків ми генетично відрізняємося від
(двох інших видів) шимпанзе? І які наслідки це має?
Відповідь здивувала б навіть Дарвіна.*

*

НАСТУПНОГО РАЗУ, КОЛИ ви завітаєте до зоопарку, обов'язково пройдіть повз клітки з людиноподібними мавпами. Уявіть собі цих тварин без значної частини волосяного покриву, а також клітку неподалік, у якій перебувають кілька нещасних людей, роздягнених догола та нездатних розмовляти, але нормальних в усьому іншому. А тепер спробуйте вгадати, наскільки людиноподібні мавпи схожі на нас генетично. Може, вам спаде на думку, що шимпанзе поділяє з людиною певний відсоток генів — 10, 50 чи 99%?

Тоді запитайте себе, чому ці мавпи живуть у клітках зоопарку і чому інших мавп використовують для проведення медичних експериментів, тоді як такі дії неприпустимі щодо людей. Припустімо, що шимпанзе поділяє з нами 99,9% генів, і важливі відмінності між людьми та шимпанзе пов'язані лише з кількома генами. Ви все ще вважаєте, що шимпанзе можна тримати в неволі та проводити експерименти над цими тваринами? Поміркуйте про нещасних людей із психічними вадами, які мають набагато меншу здатність вирішувати проблеми, піклуватися про себе, спілкуватися, брати участь у соціальному житті й відчувати біль, ніж мавпи. Хіба логічно забороняти проводити медичні експерименти на цих людях, але дозволяти — на мавпах?

Купити книгу на сайті kniga.biz.ua >>>

Ви скажете, що людиноподібні мавпи — це «тварини», а люди — це люди, і цього достатньо. Етичний кодекс поводження з людьми не слід поширювати на «тварину» незалежно від того, який відсоток генів вона поділяє з нами і безвідносно до її здатності до соціальних стосунків або відчуття болю. Це довільна, але принаймні логічна відповідь, яку не можна з легкістю відкинути. В такому разі поглиблення знань про нашу еволюційну спорідненість не матиме жодних етичних наслідків, а просто задовольнятиме зрозумілу цікавість щодо історії походження людини. Кожне людське суспільство відчувало глибоку потребу зрозуміти своє походження і відповідало на неї власною історією про творіння. «Розповідь про трьох шимпанзе» — це сучасна історія творіння.

*

Уже кілька століть тому стало зрозуміло, в чому ми приблизно вписуємось у тваринний світ. Ми, безперечно, ссавці — група тварин, для яких характерна наявність волосся, вигодовування дитинчат молоком та інші особливості. Серед ссавців ми, безперечно, належимо до приматів — групи ссавців, яка включає мавп і людиноподібних мавп. Ми поділяємо з іншими приматами численні ознаки, відсутні у більшості інших груп ссавців: це, наприклад, плоскі нігті на руках і ногах, а не кігті; руки, створені для хапання; великий палець, який протистоїть іншим чотирьом пальцям; пеніс, який вільно звішується, а не прикріплений до живота. Уже в II столітті нашої ери грецький лікар Гален, препаруючи різних тварин, визначив наше приблизне місце в природі: за його висловом, мавпа «найбільш подібна до людини своїми внутрішніми органами, м'язами, артеріями, венами, нервами та формою кісток».

Нас також нескладно віднести до приматів, серед яких ми, очевидно, найбільше схожі на людиноподібних мавп. Одна з найпомітніших ознак: у мавп є хвости, на відміну від людиноподібних мавп та людини. Також очевидно, що гібони з їхніми невеликими

розмірами та дуже довгими руками відмінні від інших людиноподібних мавп, а орангутанги, шимпанзе, горили та люди мають вищу спорідненість один з одним, ніж будь-який із цих видів з гібонами. Але подальший аналіз нашої спорідненості виявився неочікувано складним і спровокував затяту наукову дискусію навколо трьох питань, включно з тим, яке я поставив у першому абзаці цього розділу:

Яким є детальне генеалогічне дерево взаємозв'язків між людиною, сучасними людиноподібними мавпами та вимерлими предковими людиноподібними мавпами? Наприклад, хто із сучасних людиноподібних мавп є нашим найближчим родичем?

Коли ми і наш найближчий сучасний родич серед людиноподібних мавп відокремились від спільного предка?

Яку частку генів ми поділяємо із цим найближчим сучасним родичем?

На перший погляд, було б природним припустити, що порівняльна анатомія вже дала відповідь на перше із цих трьох питань. Ми особливо подібні до шимпанзе та горили, але відрізняємося від них такими очевидними особливостями, як мозок більшого розміру, вертикальна постава та набагато менший волосяний покрив тіла, а також за низкою більш тонких аспектів. Але при детальнішому розгляді ці анатомічні факти не є вирішальними. Залежно від того, які анатомічні ознаки вважати найважливішими та як їх інтерпретувати, біологи розходяться в думці щодо найближчих родичів людини. Одні вважають, що це орангутанг (погляд меншості), а шимпанзе та горила відгалузились від нашого генеалогічного дерева ще до того, як ми відокремились від орангутангів. Натомість інші вважають, що ми найближчі до шимпанзе та горил (погляд більшості), а предки орангутангів пішли своїм окремим шляхом раніше, ніж людина відокремилась від шимпанзе і горили.

Серед цієї більшості переважна частина біологів вважає, що горили та шимпанзе більше схожі між собою, ніж якась із цих мавп з людиною, маючи на увазі, що ми відокремились від них

ще до того, як горили та шимпанзе зазнали дивергенції одне від одного. Цей висновок відображає розсудливе уявлення про те, що шимпанзе і горили належать до категорії «мавп», тоді як людина — щось зовсім інше. Проте візуальні відмінності можуть визначатись лише тим, що шимпанзе та горили суттєво не змінювались відтоді, коли у нас були спільні предки, тоді як люди значно змінилися за кількома важливими і помітними ознаками, такими як вертикальна постава та розмір мозку. В цьому разі люди можуть бути найбільш схожі на горил чи шимпанзе, або люди, горили та шимпанзе можуть перебувати на приблизно однаковій генетичній відстані одні від одних.

Тому анатоми й надалі сперечалися щодо першого питання — подробиць побудови нашого генеалогічного дерева. Але попри переваги щодо того чи іншого родоводу анатомічні дослідження самі по собі не дають відповідей на друге і третє питання про час нашої дивергенції та генетичну відстань від людиноподібних мавп. Можливо, аналіз викопних решток міг би принципово вирішити питання побудови коректного генеалогічного дерева та датування, хоча не відповів би на питання щодо генетичної відстані. Якби знаходили велику кількість скам'янілих решток, можна було б сподіватися проаналізувати серію датованих скам'янілостей протолюдини та серію датованих скам'янілостей протошимпанзе з їхньою конвергенцією в спільному предку близько 10 мільйонів років тому, який, своєю чергою, продемонстрував би конвергенцію із серією скам'янілостей протогорили 12 мільйонів років тому. На жаль, надія на результати дослідження скам'янілостей не справдилась, оскільки в Африці майже не було знайдено скам'янілостей людиноподібних мавп будь-якого виду, датованих критично важливим періодом між п'ятьма і 14 мільйонами років тому.

*

Питання про наше походження вдалося вирішити несподівано завдяки методам молекулярної біології, застосованим до

Купити книгу на сайті kniga.biz.ua >>>

систематики птахів. Приблизно 30 років тому молекулярні біологи зрозуміли, що хімічні речовини в складі рослин та тварин можуть служити «годинниками», за допомогою яких можна вимірювати генетичні відстані та датувати час еволюційної дивергенції. Ідея така: припустімо, що є молекули певного типу, які трапляються в усіх видів і чия конкретна структура в кожному виді генетично детермінована. Далі припустімо, що ця структура повільно змінюється протягом мільйонів років через генетичні мутації, і що швидкість змін є однаковою для всіх видів. Два види, що походять від спільного предка, спочатку матимуть ідентичні форми цієї молекули, успадкованої від нього, але поступово в молекулах двох видів відбуватимуться незалежні мутації, які спричинять різні структурні зміни. Зрештою, версії цієї молекули у двох видів відрізнятимуться за структурою. Знаючи середню кількість структурних змін, що відбуваються за мільйон років, можна було б використати сучасну відмінність у структурі молекул будь-яких двох споріднених видів тварин як «годинник» і обчислити, скільки часу минуло відтоді, як у цих видів був спільний предок.

Нехай, наприклад, аналіз скам'янілостей показав, що дивергенція левів й тигрів відбулась 5 мільйонів років тому. Припустімо, що певна молекула левів на 99% ідентична за структурою відповідній молекулі тигрів і відрізняється від неї лише на 1%. Якщо аналіз цих молекул у пари видів, які не досліджували палеонтологи через відсутність знахідок скам'янілих решток, виявить їх 3-відсоткову відмінність, молекулярний годинник свідчатиме про те, що ці два види зазнали дивергенції втричі давніше, тобто 15 мільйонів років тому.

Хай який гарний вигляд ця методика мала на папері, перевірка її успішності на практиці потребувала б від біологів чималих зусиль. Для застосування молекулярних годинників необхідно попередньо зробити чотири речі: 1) виявити оптимальну молекулу; 2) знайти швидкий спосіб вимірювання змін в її структурі;

3) довести, що годинник працює стабільно (тобто що зміни структури молекули відбуваються з однаковою швидкістю серед усіх видів, які вивчаються); і 4) виміряти цю швидкість.

Молекулярні біологи вирішили перші два із цих завдань приблизно до 1970 р. Найкращою для досліджень молекулою виявилася дезоксирибонуклеїнова кислота (ДНК), розпізнання структури якої Джеймсом Вотсоном (*James Watson*) і Френсісом Кріком (*Francis Crick*) спричинило революцію в генетичних дослідженнях. Молекула ДНК утворюється з двох комплементарних надзвичайно довгих ланцюгів, кожен з яких складається з малих молекул чотирьох типів, послідовність яких у ланцюзі несе всю генетичну інформацію, що передається від батьків до нащадків. Швидкий спосіб вимірювання змін у структурі ДНК полягає в змішуванні ДНК двох видів з подальшим аналізом того, на скільки градусів температура плавлення змішаної (гібридної) ДНК знижується порівняно з температурою плавлення чистої ДНК одного виду. Тому цей метод зазвичай називають гібридизацією ДНК. Як виявилось, температура плавлення, знижена на один градус Цельсія (скорочено: $\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), означає, що ДНК двох видів відрізняються приблизно на 1%.

*

У 1970-х рр. більшість молекулярних біологів і систематиків не надто цікавилася роботами один одного. Серед небагатьох систематиків, які оцінили перспективність нової методики гібридизації ДНК, був Чарльз Сіблі (*Charles Sibley*) — орнітолог, який тоді обіймав посаду професора орнітології та директора Єльського музею природничої історії Пібоді. Систематика птахів є складною через суворі анатомічні обмеження, які накладає політ. Є дуже багато варіантів побудови тіла птахів, здатних, скажімо, ловити комах у повітрі, в результаті чого птахи зі схожими звичками переважно мають вельми схожу анатомію попри різне еволюційне походження. Наприклад, американські грифи на вигляд і за поведінкою

подібні до грифів Старого Світу, але біологи дійшли висновку, що перші споріднені з лелеками, а другі — з родиною яструбових, і їхня схожість є результатом подібного способу життя. Розчарувавшись у традиційних методах розшифровування спорідненості між птахами, у 1973 р. Сіблі та Джон Алквіст (*Jon Ahlquist*) використали методику молекулярного годинника в широкомасштабному застосуванні методів молекулярної біології в систематиці. В 1980 р. вони розпочали публікацію результатів цих досліджень щодо таксономії 1700 видів птахів — майже п'ятої частини всіх сучасних птахів.

Грандіозні досягнення Сіблі та Алквіста спочатку викликали багато суперечок, оскільки небагато вчених володіли комбінацією знань, необхідних для їх розуміння. Ось типові реакції, які я почув від своїх друзів-науковців:

«Мені набридло про це слухати. Я більше не звертаю уваги на те, що пишуть ці хлопці» (анатом).

«Їхні методи добрі, але навіщо виконувати таку нудну роботу, як систематика птахів?» (молекулярний біолог).

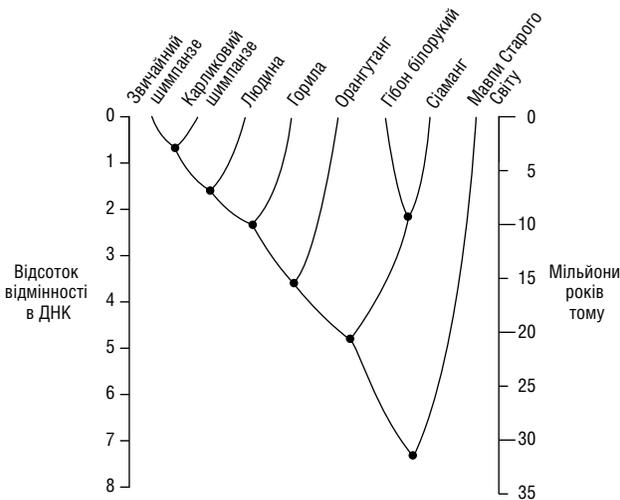
«Цікаво, але перш ніж довіряти їхнім висновкам, їх треба ретельно перевірити іншими методами» (еволюційний біолог).

«Їхні результати — це Божоявлене одкровення, тож вам краще просто повірити» (генетик).

На мій погляд, остання точка зору найбільш правильна. Принципи, на яких тримається годинник ДНК, є незаперечними; методи, використані Сіблі та Алквістом, є найсучаснішими, і внутрішня узгодженість вимірювань генетичної відстані у понад 18 000 гібридних пар ДНК птахів свідчить про достовірність їхніх результатів.

Подібно до того, як Дарвін розсудливо накопичував дані щодо мінливості вусоногих раків, перш ніж винести на обговорення вибухонебезпечну тему мінливості людини, Сіблі та Алквіст спочатку обмежувались дослідженням птахів протягом майже десятилітньої роботи з молекулярним годинником. Лише в 1984 р. вони

опублікували перші результати щодо походження людини на основі застосування тих самих методів вивчення ДНК і уточнили свої висновки в наступних статтях. Їхнє дослідження ґрунтувалося на аналізі ДНК людей і всіх наших найближчих родичів: звичайного шимпанзе, карликового шимпанзе, горили, орангутанга, двох видів гібонів і семи видів мавп Старого Світу. Ці результати підсумовані на рисунку нижче.



Простежте лінії кожної з пар сучасних вищих приматів до чорної точки, що їх з'єднує. Цифри ліворуч показують відсоткову відмінність між ДНК сучасних приматів, тоді як цифри праворуч — приблизну кількість мільйонів років відтоді, як вони востаннє мали спільного предка. Наприклад, звичайні та карликові шимпанзе відрізняються приблизно на 0,7% ДНК і зазнали дивергенції близько 3 мільйонів років тому; ми відрізняємося на 1,6% ДНК від обох видів шимпанзе і відокремилися від спільного предка приблизно 7 мільйонів років тому; горили відрізняються від людини чи шимпанзе приблизно на 2,3% ДНК і відокремилися від спільного предка людини і двох видів шимпанзе приблизно 10 мільйонів років тому

Як і передбачали анатоми, найбільша генетична відмінність (яка проявляється у значному зниженні температури плавлення ДНК) спостерігається між ДНК мавп та ДНК людини чи будь-якої людиноподібної мавпи. Це підтверджує факт, з яким усі погоджуються відтоді, як людиноподібні мавпи вперше стали відомі науці: люди та людиноподібні мавпи мають вищу спорідненість між собою, ніж з іншими мавпами. Фактично мавпи поділяють з людиною та людиноподібними мавпами 93% структури ДНК та відрізняються від них на 7%.

Як і варто було очікувати, наступна найбільша відмінність, яка становить 5%, була виявлена між ДНК гібона та ДНК інших людиноподібних мавп або людини. Цей результат підтверджує ще одну загальноприйнятую точку зору, згідно з якою гібони — це найбільш відмінні людиноподібні мавпи, а людина споріднена з горилами, шимпанзе й орангутангами. Серед останніх трьох груп людиноподібних мавп сучасні анатоми вважали орангутангів дещо окремою групою, і цей висновок також узгоджується з даними ДНК-аналізу: відмінність між ДНК орангутангів і ДНК людей, горил або шимпанзе становить 3,6%. Географія підтверджує, що останні три види відокремилися від гібонів і орангутангів вельми давно: ареал сучасних та викопних гібонів й орангутангів обмежений Південно-Східною Азією, тоді як сучасних горил та шимпанзе, а також ранніх людей, відомих за скам'янілостями, — Африкою.

На протилежному полюсі перебувають, що теж не дивно, найбільш схожі ДНК звичайного та карликового шимпанзе, які на 99,3% ідентичні та відрізняються лише на 0,7%. Ці два види шимпанзе настільки схожі зовні, що анатоми спромоглися дати їм окремі назви лише в 1929 р. Шимпанзе, які живуть на екваторі в Центральному Заїрі, називають «карликовими шимпанзе», бо вони в середньому трохи менші (і мають більш струнку статуру та довші ноги), ніж дуже поширені «звичайні шимпанзе», що мешкають в Африці на північ від екватора. Проте завдяки нещодавньому розширенню знань про поведінку шимпанзе стало зрозуміло,

що скромні анатомічні відмінності між карликовими та звичайними шимпанзе маскують значні відмінності в репродуктивній біології. На відміну від звичайних шимпанзе, але подібно до людини, карликові шимпанзе прибирають найрізноманітніші пози для копуляції, зокрема обличчям до обличчя; копуляцію може ініціювати не тільки самець, а й самка; самки сексуально сприйнятливі протягом більшої частини місяця, а не лише в короткий період овуляції; спостерігаються міцні зв'язки між самками або між самцями та самками, а не лише між самцями. Очевидно, ті кілька генів (0,7%), які відрізняють карликових шимпанзе від звичайних, справляють великий вплив на статеву фізіологію та статеві ролі. Ця сама тема (суттєві наслідки малого відсотка генних відмінностей) повторюватиметься пізніше в цьому та наступному розділах в контексті генних відмінностей між людиною та шимпанзе.

У всіх випадках, які я досі обговорював, анатомічні докази спорідненості були переконливими самі по собі, а дані аналізу ДНК лише підтверджували висновки анатомів. Але ДНК змогла вирішити проблему, з якою зазнала невдачі анатомія, і встановила спорідненість між людьми, горилами та шимпанзе. Як показано на рисунку (див. с. 30), люди відрізняються як від звичайних, так і від карликових шимпанзе приблизно на 1,6% ДНК, поділяючи із цими видами 98,4%. Горили відрізняються від нас і від обох видів шимпанзе трохи більше, приблизно на 2,3%.

Зробімо паузу, щоб зрозуміти деякі наслідки цих важливих цифр.

*

Горила мала дивергувати від нашого генеалогічного дерева трохи раніше, ніж ми відділилися від звичайних і карликових шимпанзе. Нашими найближчими родичами є саме шимпанзе, а не горила. Інакше кажучи, найближчим родичем шимпанзе є не горила, а людина. Традиційна таксономія посилила антропоцентричні тенденції, стверджуючи, що вбачає фундаментальну

дихотомію між могутньою людиною, що самотньо стоїть на висоті, та людиноподібними мавпами, які разом перебувають десь внизу у безодні звірства. Відтепер майбутні систематики можуть побачити речі очима шимпанзе — слабку дихотомію між трохи вищими людиноподібними мавпами (*трьома* шимпанзе, включно з «шимпанзе-людиною») і трохи нижчими мавпами (горила, орангутанг, гібони). Традиційне розрізнення між «людиноподібними мавпами» (яких визначають як шимпанзе, горилу та ін.) і людиною суперечить фактам.

Генетична відстань (1,6%), що відокремлює нас від карликових та звичайних шимпанзе, приблизно вдвічі перевищує відстань між цими видами (0,7%). Вона менша, ніж між двома видами гібонів (2,2%) або парою близькоспоріднених північноамериканських видів птахів — червонооким і білооким віреоном (2,9%), або між такими близькоспорідненими європейськими видами птахів, як вівчарик весняний та вівчарик-ковалик (2,6%). Решта 98,4% наших генів — це звичайні гени шимпанзе. Наприклад, основна форма людського ча — білка, що переносить кисень і надає крові червоного кольору — повністю ідентична гемоглобіну шимпанзе за всіма 287 амінокислотами. З цього погляду, як і в більшості інших, людина — лише третій вид шимпанзе, і те, що є добрим для звичайних і карликових шимпанзе, добре для нас. Наші важливі візуальні відмінності від інших шимпанзе — вертикальна постава, великий мозок, здатність говорити, рідкий волосяний покрив тіла та своєрідне статеве життя (на якому я детальніше спинюсь у розділі 3) — мають визначатись лише 1,6% наших генів.

Якби накопичення генетичних відстаней між видами відбувалось рівномірно залежно від часу, вони функціонували б, як годинник, що монотонно цокає. Для перетворення генетичної відстані в абсолютний час з моменту дивергенції від останнього спільного предка потрібне лише калібрування, забезпечене парою видів, для яких відомі як генетична відстань, так і час дивергенції, незалежно датовані шляхом аналізу скам'янілостей.

Фактично для вищих приматів вже є два незалежних калібрування. З одного боку, згідно з даними аналізу викопних решток мавпи відокремилися від людиноподібних мавп від 25 до 30 мільйонів років тому і нині відрізняються від них приблизно на 7,3% ДНК. З другого боку, орангутанги відокремилися від шимпанзе і горил 12–16 мільйонів років тому і нині відрізняються приблизно на 3,6% ДНК. Якщо порівняти ці два приклади, стає очевидним, що подвоєння еволюційного часу (перехід від 12–16 до 25–30 мільйонів років) приводить до подвоєння генетичної відстані (від 3,6 до 7,3% ДНК). Таким чином, у вищих приматів годинник ДНК цокає відносно стало.

За допомогою такого калібрування Сіблі та Алквіст оцінили наступний часовий період еволюції людини. Оскільки наша генетична відстань від шимпанзе (1,6%) приблизно вдвічі менша за відстань між орангутангами та шимпанзе (3,6%), еволюція людини мала відбуватися окремим шляхом близько половини з тих 12–16 мільйонів років, які орангутанги накопичували свою генетичну відмінність від шимпанзе. Інакше кажучи, еволюційні лінії людини та «інших шимпанзе» розійшлися приблизно 6–8 мільйонів років тому. Згідно з тими ж розрахунками, горили відокремилися від загального предка трьох шимпанзе близько 9 мільйонів років тому, а карликовий і звичайний шимпанзе зазнали дивергенції приблизно 3 мільйони років тому. Проте в ті часи, коли я вивчав фізичну антропологію як першокурсник коледжу в 1954 р., підручники стверджували, що люди відокремилися від мавп 15–30 мільйонів років тому. Але молекулярний годинник на основі ДНК переконливо свідчить на користь іншого висновку, підтвердженого даними молекулярних годинників, що базуються на амінокислотних послідовностях білків, послідовностях мітохондріальної ДНК і псевдогена глобіна. Кожен із цих годинників свідчить про те, що людина мала коротку історію еволюції як вид, відмінний від інших людиноподібних мавп, набагато коротшу, ніж припускали палеонтологи.