

Здоровий кишечник. Контроль ваги, настрою та здоров'я
Джастін Зонненбург

Еріка Зонненбург

Травна система людини містить щільне еднання бактерій та інших мікробів. Переважна більшість бактерій розташована всередині нашої товстої кишки. Від роботи кишкових мікроорганізмів залежить подальше здоров'я людини. Ви дізнаєтеся про зв'язок між мікробіотою, імунною системою, метаболізмом, настроєм і поведінкою; як правильно формувати мікрофлору від народження і як оптимізувати її в дорослому віці; коли проходити курс антибіотиків і як після цього відновити мікрофлору кишечника; як підтримувати мікробіоту з віком і як знайти правильну комбінацію мікробів для нашого кишечника. Практичні настанови, рецепти та плани харчування для збереження здорової мікрофлори допоможуть кожному нормалізувати стан кишечника та зберегти здоров'я на багато років.

У форматі PDF A4 збережений видавничий макет.

Джастін Зонненбург, Еріка Зонненбург

Здоровий кишечник. Контроль ваги, настрою та здоров'я

© Justin Sonnenburg and Erica Sonnenburg, 2015

© Depositphotos.com / lineartestpilot, обкладинка, 2020

© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», видання українською мовою, 2020

© Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля», переклад і художнє оформлення, 2020

* * *

Присвячується нашим донькам Клер та Камілі, які надихнули нас на написання цієї книжки, а також трильйонам наших мешканців-мікробів, - нехай ваші таємниці продовжують просвіщати нас і далі

Передмова. Ендрю Вейл, доктор медицини

Під час навчання в медичній школі в середині 1960-х років я дізнався, що товстий кишечник людини містить величезну кількість бактерій, необхідних для належного травлення та засвоєння поживних речовин, і що тривале використання антибіотиків може спричинити кишкові розлади через надмірне поширення небажаних мікробів. У ті часи на людей, які споживали йогурт для здорового травлення або вживали ацидофільні харчові добавки, навішували ярлик – «схиблені на здоров'я». Та й мало хто з медичних авторитетів вірив, що кишкова флора має хоч якийсь вплив за межами травного тракту. Ще невідоме було таке поняття, як «людський мікробіом», що містить усі мікроорганізми всередині та на поверхні тіла, загальний вміст ДНК якого перевищує ДНК людини.

Сьогодні дослідження людського мікробіому – один із найактуальніших напрямів медичної науки, що передвіщає справжню революцію в нашому розумінні фізіології та дарує великі сподівання на покращення охорони здоров'я та лікування хвороб новітніми методами. Види бактерій та грибків, які заселяють кишечник, можуть визначати нашу взаємодію з довкіллям: спричиняти розвиток алергій та автоімунних реакцій або, навпаки, захищати від них. Мікроорганізми кишечника можуть спровокувати ожиріння чи діабет або, навпаки, уберегти нас від цих хвороб. Вони вміють послаблювати або посилювати запалення в нашому організмі. Мешканці кишечника здатні взаємодіяти зі штучними підсолоджувачами й цим спричиняти нечутливість до інсуліну та набір зайвої ваги в деяких людей. Вони можуть навіть впливати на розумові здібності та емоційну рівновагу.

Уперше я почув про новий погляд на мікробіом від одного з авторів цієї книжки – Джастіна Зонненбурга. Він та його дружина Еріка – видатні науковці, які досліджують та розвивають цю царину у своїй лабораторії на кафедрі мікробіології та імунології Медичної школи Стенфордського університету. 2013 року я запросив Джастіна виступити з доповіддю про його дослідження на Десятій щорічній конференції з питань харчування та охорони здоров'я, організованій Центром інтегративної медицини Аризонського університету. Цей захід проходив у Сіетлі за участі сотень лікарів, сертифікованих дієтологів та інших медичних фахівців. Виступ Джастіна став для мене головною подією конференції. Його промова була сповнена захоплення від відкриттів щодо людського мікробіому. Науковець пропонував відповіді на питання про нові медичні проблеми, які я сам не міг розв'язати.

У Північній Америці та інших розвинених країнах світу стрімко поширюються астма, алергії та автоімунні реакції. Чому частота алергії на арахіс сьогодні набагато більша, ніж за часів мого дитинства, яке припало на 1950-ті? І як пояснити різке підвищення чутливості до глютену?

Останнє питання турбувало мене дуже сильно. За умови, що несприйнятливість до глютену – це діагноз, для якого бракує об'єктивних критеріїв, симптоми в більшості людей зникають, коли з їхнього раціону прибирають глютен, і виникають знову, якщо його повертають. Я відкидаю думку, що злаки загалом і пшениця зокрема – шкідливі продукти. Мене не переконує аргумент, що генетика пшениці змінилася в останні роки достатньо, щоб бути причиною проблем. Чутливість до глютену, схоже,

найпомітніша серед населення Північної Америки. У Китаї, де глютен подають у більшості ресторанів як окрему страву (наприклад, глютен під соусом з чорної квасолі та кисло-солодкий глютен), чутливість до цього білка не доведена, як і в Японії. Як це можна пояснити?

Джастін Зонненбург подав мені ідею, що винуватцями, імовірно, є зміни нашого мікробіому. За останні кілька десятиліть кишкову мікрофлору населення планети сильно змінили чотири чинники: 1) надмірне споживання готових, перероблених продуктів, 2) масове використання антибіотиків, 3) тривожне зростання кількості кесаревих розтинів, яка сьогодні сягає третини всіх пологів, та 4) відмова жінок годувати немовлят грудьми. У цій книжці ви прочитаєте, як кожен із цих чинників вплинув на різкі зміни людського мікробіому та як ці зміни спричиняють поширення різних хронічних проблем зі здоров'ям, зокрема аутизму, депресії та інших психічних/емоційних розладів.

Подружжя Зонненбургів також розглядають можливості застосування мікробіому як нового методу діагностики й вивчають надзвичайно важливу проблему: чи можна (і як саме) змінити наш мікробіом, щоб зменшити ризики хвороб та оптимізувати здоров'я. Як це зробити – дуже індивідуальне питання, і відповідь на нього змінюється з віком людини. Чи варто вживати пробіотичні дієтичні добавки? Чи працюють вони? Які з них найефективніші? А як щодо ферментованих продуктів, таких звичних у раціоні мешканців Східної Азії? (На мою думку, нам потрібно виробляти та споживати їх більше.) Ця книжка містить відповіді на перелічені запитання.

Вважаю, що цю працю неодмінно мають прочитати всі фахівці галузі охорони здоров'я, а також ті, хто хоче ширше розуміти проблеми людського організму та довголіття. Переконалий, що ви будете від книжки в такому сильному захваті, який відчуваємо ми – її автори та я. Адже в ній представлені нові відкриття про мікроорганізми – таку важливу частину кожної людини.

Тусон, Аризона

жовтень 2014 р.

Вступ

Здоров'я здебільшого визначають гени. Ми визнаємо, що можемо поліпшити своє самопочуття, якщо будемо правильно харчуватися, займатися фізичними вправами та боротися зі стресом. А от як цього досягти – питання дуже суперечливе. Багато популярних оздоровчих програм зосереджені лише на схудненні або покращенні здоров'я серця. Але чи існує інший ключ до нашого загального здоров'я – другий, піддатливий геном, здатний впливати на нашу вагу, настрій та самопочуття? А чи можемо ми впливати на цей геном дуже конкретним (і часто дивовижним) способом життя? Так от, цей другий геном існує. Він належить бактеріям, що населяють наш кишечник і є життєво важливими для нашого загального самопочуття. Стає очевидним, що ця мікробна спільнота (відома як мікробіота, або мікрофлора) впливає

на здоров'я та хвороби, змінює наше уявлення про те, що означає бути людиною.

Науковці, намагаючись розкрити причини поширення таких недугів, як рак, діабет, алергія, астма, аутизм та запальне захворювання кишечника, переконуються, що мікробіота бере участь у розвитку кожного з цих розладів. Наші бактеріальні мешканці прямо чи опосередковано впливають на весь організм людини.

Бактерії нашого кишечника еволюціонували всередині нас тисячоліттями, але сьогодні вони стикаються з новими викликами. Сучасний світ змінив їжу (перероблені, висококалорійні продукти) та умови життя (оселі, що дезінфікують антибактеріальними мийними засобами, надмірне використання антибіотиків тощо). І ці зміни загрожують здоров'ю нашої кишкової мікрофлори.

Травна система людини – це набагато більше, ніж просто набір клітин, що оточують споживані страви. Вона також містить щільне еднання бактерій та інших мікробів. Хоча у всіх поверхнях, отворах і порожнинах тіла роєм рояться мікроби, переважна їхня більшість розташована всередині нашої товстої кишки. Ці бактерії хімічно розщеплюють та споживають неперетравлену клітковину з їжі, перетворюючи її на сполуки, які поглинає наша кишка. Деякі з цих сполук життєво необхідні для здоров'я. Робота бактерій є нашою останньою надією на вилучення поживних речовин із клітковини, що важко перетравлюється. Ось чому підживлення кишкових бактерій, щоб вони виробляли сполуки, корисні для нашого організму, – те найважливіше, що можемо робити для свого здоров'я.

Як не дивно, але кишкова мікробіота налаштовує імунну систему, що надзвичайно важлива для всього нашого здоров'я. Коли імунітет працює добре, ми ефективно боремося з інфекціями та позбуваємося новоутворень одразу після їхнього виникнення. Але якщо імунна система працює погано, це може спричинити численні недуги. Коли кишкові бактерії в нормі – імунна система працюватиме добре. Якщо робота кишкових мікроорганізмів порушується – виникає ризик автоімунних хвороб та раку. Хімічні речовини, які виробляє мікробіота, впливають на реакцію нашої імунної системи на пошкодження та загрози у вигляді здуття, почервоніння й подразнення в кишечнику та в усьому тілі. Запалення може погіршувати вже наявні проблеми зі здоров'ям.

Деякі хімічні речовини, які виробляє мікробіота, навіть напряду пов'язані з нашою центральною нервовою системою через вісь «кишечник – мозок». Ми й досі багато чого не знаємо про те, як мікробіота впливає на діяльність мозку. Але вже точно відомо, що вісь «кишечник – мозок» дуже сильно позначається на нашому самопочутті, а не тільки нагадує нам, коли час їсти. Кишкові бактерії можуть впливати на наш настрій та поведінку, а також на розвиток деяких нервових розладів.

Союз кожної людини з мікробами починається від народження. Хоча всередині утроби матері плід стерильний, але після появи на світ мікроорганізми швидко заселяють незаймане середовище існування організму. Ці бактерії ми отримуємо від довілля, наших матерів, друзів і членів родини. Видатний

біолог Стен Фальков якось сказав: «Світ вкритий патиною лайна». Або, якщо хочете, він вкритий патиною бактерій. У цьому немає нічого поганого. Тож коли ваша дитина суне до рота предмет, яким не можна вдавнитися, то замість того, щоб його забирати або поливати антисептиком, краще згадайте, що бактеріальна патина постачає цінні мікроби, допомагаючи дитині сформувати нову мікробіоту. Упродовж життя нашу мікрофлору формують чимало чинників: народжені ми природним шляхом чи за допомогою кесаревого розтину, вигодовані грудьми чи сумішшю, як часто ми вживаємо антибіотики, чи маємо собаку, що ми їмо та ін.

Існує значна кількість доказів важливої ролі бактерій для нашого здоров'я та самопочуття. Це переконує, що, обираючи той чи інший спосіб життя, лікування та харчування, ми маємо ретельно аналізувати їхній вплив на кишкові мікроорганізми. Сучасна технологія секвенування ДНК виявила більше ніж 2 мільйони мікробних генів нашої мікрофлори під назвою «мікробіом» і розкрила декілька дуже цікавих фактів. По-перше, унікальна, як відбитки пальців, мікробіота кожної людини позначається на нашій схильності до різних хвороб. По-друге, мікробіота може порушуватися та спричиняти виникнення різних хвороб і розладів, зокрема ожиріння, яке колись уважалося наслідком неправильного способу життя. По-третє, завдяки своїй здатності до змін мікрофлора дає нам змогу з віком керувати нашим здоров'ям.

Для доброго здоров'я важливо розуміти потреби мікробіоти та належно її доглядати. Можемо використати цю інформацію для відповіді на багато запитань. Як можна правильно формувати мікрофлору від самого народження, щоб діти росли здоровими? Як оптимізувати мікробіоту в дорослому віці, щоб зміцнити імунну систему та зменшити ризик автоімунних хвороб та алергій? Як харчування може підтримувати нашу мікробіоту? Коли потрібно проходити курс антибіотиків і як після цього можна відновити мікрофлору кишечника? Як підтримувати мікробіоту з віком? Як знайти правильну комбінацію мікробів для нашого кишечника?

Хоча мікробіоту ще потрібно досліджувати, але в останнє десятиліття відбулося стрімке просування в розумінні того, як мікроорганізми впливають на здоров'я та хвороби людей. Десять років тому стало зрозуміло, що мікрофлора є важливою, хоча й маловивченою цариною сучасної мікробіології. Безліч запитань відкрили широкі можливості для кар'єри біомедика. Стало зрозуміло, що ця тема є центральною для здоров'я людини.

Наш кишечник заселяють більше ніж 100 трильйонів бактерій. Якщо їх розмістити в один ряд, вони дістануть до Місяця. Залежно від типу деякі з них живуть у шлунку (хоча багатьох бактерій його суворий кислотний клімат не влаштовує) або тонкому кишечнику, але більшість оселяється в товстому кишечнику. Там живуть сотні видів мікроорганізмів із щільністю 500 мільярдів клітин на чайну ложку кишкового вмісту.

На перший погляд, нестачі бактерій у кишечнику немає. Складно повірити, але кишкові мікроорганізми належать до видів, яким загрожує вимирання. У кишечнику пересічного дорослого американця мешкають приблизно 1200 різних видів бактерій. Це може здаватися багато, доки не врахувати, що звичайний американський індіанець з амазонських районів Венесуели має близько 1600 видів. На цілу третину більше! Аналогічно інші групи людей, спосіб життя та харчування яких наближений до наших пращурів, мають

у своїх кишечниках більше різних бактерій, ніж мешканці Сполучених Штатів. Чому так? Відповідь приховується в продуктах харчування (вони зазнають значного технологічного оброблення), у способі життя (ми надмірно використовуємо антибіотики та мешкаємо в стерильних домішках). Це загрожує здоров'ю та нормальному існуванню мікробіоти.

Якби наші кишкові бактерії були здатні прогулятися звичайним супермаркетом із завданням знайти щось поїсти, то це нагадувало б спробу людей знайти їжу в будівельному гіпермаркеті. Стійки з цукерками біля каси не беремо до уваги, бо вони, як дуже влучно зазначив письменник Майкл Поллан, наповнені не їжею, а «їжеподібними субстанціями». Через типове харчування кишкові бактерії пересічного американця помирають з голоду. Ба більше! Кілька разів на рік нам пропонують отруту для кишкових бактерій – антибіотики. А на додачу ми витрачаємо в середньому майже 700 доларів щороку на побутові мийні засоби, щоб зробити наші домішки такими ж стерильними, як операційні. І не забудьте про пляшечки антисептиків для рук, які є всюди: біля кас супермаркетів, на стійках бібліотек і навіть у наплічниках школярів.

Важко сказати, куди веде цей шлях. Можливо, у недалекому майбутньому матимемо лише половину видів бактерій, а то й менше. Якщо так, тоді як це позначиться на нас? Уже бачимо вплив цивілізованого способу життя на наше здоров'я: ожиріння, діабет та автоімунні хвороби, нетипові для суспільств із більш різноманітною мікробіотою. Чи стануть ці хвороби ще більш панівними, поширюючись усією землею кулею та виникаючи на ранніх етапах життя? Це залежить від того, чи перейматимуть люди ворожий до мікрофлори спосіб існування. Можливо, що кишкові бактерії, які мають важливе значення для нашого здоров'я, вимруть або стануть такими рідкісними, що наша мікробіота навіть не нагадуватиме мікрофлору перших людей, а може, певною мірою це вже сталося. Ми вже перетворилися на суспільство, залежне від фастфуду, і нав'язуємо надзвичайно шкідливий спосіб життя нашим дітям.

Ми, науковці, пишемо чимало статей про мікробіоту, але ця інформація не доступна для загалу. Іншими словами, вивчення мікрофлори є специфічними. Науковці дуже скептичні, тому нам не властиво давати рекомендації, якщо тільки вони не пройшли подвійне сліпе плацебо-контрольоване дослідження. Але у власних родин ми вже змінили свій раціон та спосіб життя на підставі відкриттів нашої лабораторії та лабораторій інших дослідників мікробіоти. Поки наші доньки зростали, ми спілкувалися з іншими родинами, які також виховували дітей. Ми спостерігали, як батьки намагалися ухвалювати зважені рішення щодо харчування. Однак вони не враховували важливий чинник здоров'я – розвиток мікробіоти дитини. Як вони це могли робити, якщо їм не доступна потрібна інформація?

Отже, ми взялися за написання цієї книжки з надією зібрати в ній важливу інформацію, потрібну звичайним людям. Розібравшись у вирі сучасних наукових досліджень щодо мікрофлори, ми використали актуальні наукові факти й дали практичні поради щодо вибору харчування, способу життя, оптимізації здоров'я.

Ми організували цю книжку так, щоб ознайомити вас із найцікавішими та найактуальнішими відкриттями в галузі мікробіоти та показати, як сучасні

дослідження впливають на життя людини. Разом з вами розглянемо такі питання: що таке мікробіота і як вона нас заселяє, у який спосіб ми можемо її підживлювати, які дивовижні властивості вона має, які горизонти відкриває ця нова галузь, як мікрофлора старіє та як піклуватися про неї все життя.

Після ознайомлення з мікробіотою пояснимо вам, як розвиваються кишкові бактерії, починаючи зі стерильного травного тракту перед народженням, а потім у дитинстві. Цей розділ містить поради, як під час переходу на тверду їжу забезпечити засвоєння дітьми харчових звичок, що підтримують мікрофлору. Він обов'язковий для прочитання новоявленим або майбутнім батькам, які прагнуть виховати свою дитину здоровою. Наступні розділи присвячені зв'язкам між мікробіотою, імунною системою та метаболізмом. Розглянемо, яких помилок припускаються сучасні люди в піклуванні про кишкову мікрофлору, та запропонуємо зміни в харчуванні та способі життя, щоб допомогти мікробіоті, а отже, посприяти нашому здоров'ю та запобігти розвитку хронічних хвороб. Торкнемося цікавого зв'язку між кишковою мікробіотою та мозком, зокрема ознайомимося з останніми дослідженнями, що пов'язують мікрофлору з настроєм та поведінкою. У сьомому розділі наведемо останні досягнення в лікуванні проблемних мікробіот (зокрема, їхнє перепрограмування за допомогою фекальних трансплантацій) та розглянемо блискучі перспективи нової терапевтичної царини. Восьмий розділ містить нещодавно доведений факт про вікове зменшення мікрофлори, а також поради, як покращити здоров'я травної системи та загальне самопочуття літніх людей. Нарешті, у цій книжці ми зібрали всі практичні настанови в один чіткий план, який допоможе кожному нормалізувати мікробіоту та зберегти здоров'я на багато років. В останньому розділі є чудові рецепти та плани харчування для найбільш зайнятих людей, щоб вони та їхні родини зберегли здорову мікрофлору ефективно та смачно.

Змушені наголосити, що галузь дослідження мікробіому наразі переживає період становлення, але ми, безумовно, можемо використовувати сучасне розуміння мікроорганізмів кишечника, щоб ухвалювати правильні рішення в різних життєвих ситуаціях. Адже для загальних рекомендацій науково доведених фактів цілком достатньо. Звісно, перед застосуванням цих порад людина має проконсультуватися зі своїм лікарем, особливо якщо вона має проблеми зі здоров'ям.

Наша мета – розповісти, яке надважливе значення мають мікроби для вашого здоров'я. Сподіваємося, що ця книжка дасть читачам підґрунтя для розуміння нових відкриттів і допоможе їм застосувати ці знання у виборі дієти та способу життя. На відміну від людського геному, який здебільшого формується до народження, мікробіом можна змінювати впродовж усього життя шляхом ухвалення цілком контрольованих стратегічних рішень. Пластичність мікробіому дає нам чудову змогу сформувати його так, щоб оптимізувати наше здоров'я.

Маємо усвідомлювати, що ми – складні організми, які містять людську та мікробну частини, біологія яких тісно пов'язана. Мікроби – наші партнери на все життя, ми стали для них домівкою. І якщо ми будемо піклуватися про них, вони захищатимуть нас.

Розділ 1. Що таке мікробіота й чому це має нас цікавити?

Світ мікробів

Ми звикли вважати, що у світі панують люди. Наш вид організував соціум, побудував детально продумані міста, створив дивовижні твори мистецтва, музики та літератури. Свідчення людської діяльності на цій планеті, зокрема автотраси, мости та яскраво підсвічені будівлі, видно навіть із космосу! Хоча ми, безумовно, дуже впливаємо на Землю, варто визнати, що люди – відносно нові та нечисленні мешканці нашої планети. Ми живемо у світі бактерій, які заселяють Землю вже мільярди років. Мікроорганізми – це мікроскопічні форми життя, як, наприклад, бактерії та археї. На одній вашій руці мікробів живе більше, ніж людей у світі. Якщо зібрати всі бактерії на Землі разом, вони сформують більшу біомасу, ніж усі рослини та тварини разом узяті. (Пам'ятайте про це, коли будете читати про описану далі війну антибіотиків з мікробами.) За деякими джерелами, кількість бактерій на Землі сягає 5 мільйонів трильйонів трильйонів, або, якщо говорити по-науковому, 5 нонільйонів. Написати цю цифру можна як 5 з 30 нулями!

Бактерії мешкають скрізь: у холодних, темних озерах на глибині 800 метрів під антарктичною кригою, у глибоководних гідротермальних джерелах, що сягають температур вищих ніж 90 °C, і навіть у клубку, що утворився у вашому горлі, коли ви вперше почули про це. Якщо ми колись знайдемо позаземне життя, дуже ймовірно, що це будуть мікроби. (Саме тому одне із завдань марсоходів – шукати ознаки середовища, здатного підтримувати мікробне існування.) Одноклітинним мікробам уже понад три з половиною мільярди років, і вони є найдавнішою формою життя на Землі. Для порівняння: люди виникли лише 200 тисяч років тому. Якщо уявити собі історію Землі як одну добу, де планета була утворена опівночі, то мікроби виникли невдовзі після четвертої ранку, тоді як люди – лише за кілька секунд до кінця доби. Без мікробів ми б не існували, а от якщо людство зникне, мало хто з бактерій це взагалі помітить.

Попри їхні начебто примітивні форми, сучасні мікроби – продукт мільярдів років еволюції. Тому вони розвинені не менше за нас – насправді, ураховуючи набагато більшу кількість їхніх поколінь (вони розмножуються зі швидкістю від кількох хвилин до годин), можна стверджувати, що вони краще пристосовані до нинішніх умов середовища, ніж люди. Наприклад, уже через кілька десятиліть біля місця Чорнобильської катастрофи запанували мікроскопічні грибки, здатні використовувати енергію радіації. Якщо раптом планету спіткають великомасштабні руйнування, деякі мікроби, імовірно, зможуть швидко пристосуватися до нових умов та розмножуватися. Натомість організм людини не спроможний змінюватися так легко.

Кожна новонароджена дитина є новою територією для поширення мікробів. Оскільки бактерії такі численні та мають дивовижну здатність швидко пристосовуватися до нових умов середовища, вони негайно колонізують усі організми на планеті, і не лише людські. Мікроорганізми оселяються на шкірі, у вухах, роті та всіх інших порожнинах нашого тіла, зокрема у травній системі, де живе більшість із них. Хоча мікроби, які нас

заселяють, спочатку шукали лише їжу та притулок, за час спільної еволюції вони стали невід'ємною частиною нашого організму.

Трубка, наповнена бактеріями (також відома як людина)

Людський організм нагадує детально розроблену трубку, що починається з рота й закінчується анусом. Травний тракт, або кишечник, розташований усередині цієї трубки. Як зазначила письменниця Мері Роуч у своїй розважальній книжці «Подорож їжі: пригоди в травному тракті», у цьому плані ми не надто відрізняємося від хробака. Їжа потрапляє в один кінець трубки, перетравлюється, проходячи крізь неї, а потім виводиться у вигляді відходів з іншого кінця. Якщо вас засмучує думка про те, наскільки наша травна система «нехитра», згадайте, що трубка з двома отворами стала великим досягненням порівняно з більш ранніми трубками з одним кінцем. Гідра, мікроскопічна тваринка, що живе у ставках, має лише рот. Це означає, що перетравлення їжі та виведення відходів відбувається крізь той самий отвір. Тепер наша «трубка» вже не здається такою примітивною, чи не так?

На відміну від хробака, наша трубка має цілу низку пристосувань, що еволюціонували для її підживлення та захисту. Щоб прогодувати трубку, ми маємо руки, які дістають та піднімають їжу. Ми відростили ноги, які допомагають нам рухатися та знаходити більше продуктів харчування. Усі наші органи чуття та дуже складний мозок можна вважати «додатковими пристосуваннями», щоб отримувати більше харчів для нашої трубки, захищати її від пошкоджень та розмножуватися, створюючи інші трубки. А додаткові трубки забезпечують нові місця існування для ще більшої кількості бактерій.

Попри величезний вплив наших кишкових мешканців на травлення, перш ніж зустрітися з ними, їжа проходить більшу частину травного тракту. Продукти харчування, які ми перетравлюємо, рухаються стравоходом до шлунка, де занурюються у ванну з кислоти та ферментів, завданням яких є початок травлення та видобування поживних речовин. Приблизно через 3 години механічного перемішування в цих суворих кислотних умовах, де мікробів майже немає, частково перетравлена їжа повільно потрапляє до тонкого кишечника. Саме там травна система по-справжньому починає нагадувати гнучку трубку завдовжки приблизно 7 метрів і діаметром 2,5 сантиметра, що лежить посередині нашого тіла, неначе купа спагеті. Внутрішня поверхня тонкого кишечника вкрита пальчастими виростами під назвою «війки», які всмоктують поживні речовини в нашу кров.

У тонкому кишечнику їжа насичується ферментами, які виділяють підшлункова залоза та печінка, щоб допомогти перетравити спожиті нами білки, жири та вуглеводи. Тут, у тонкому кишечнику, кількість мікробів відносно невелика – лише приблизно 50 мільйонів бактерій на чайну ложку вмісту.

Остання зупинка в цій майже 50-годинній подорожі – товстий кишечник, або товста кишка, де їжа просувається зі швидкістю равлика. Довжина товстого кишечника менша, ніж тонкого (у середньому до 1,5 метра), але його назва походить від ширини, що має приблизно 10 сантиметрів у діаметрі. Внутрішню поверхню товстого кишечника вкриває шар в'язкого слизу. Саме тут залишки спожитої нами їжі вперше зустрічаються із численною та

ненаситною спільнотою мікробів, відомою як мікробіота. (Товстий кишечник містить приблизно в 10 тисяч разів більше бактерій на чайну ложку вмісту, ніж тонкий.) Кишкові бактерії живуть та розмножуються на залишках їжі, найчастіше складних рослинних полісахаридах, відомих як клітковина. Усе, що бактерії не поглинають (або не можуть), наприклад насіння або зовнішня шкірка зернят кукурудзи, виводиться приблизно через 24–72 години після першого контакту зі стравоходом. Разом із відходами залишають організм і чимало бактерій, серед яких є мертві та живі. Останні просто підхоплює потоком. Бактерії становлять близько половини калових мас, але в кишечнику залишається цілком достатньо їхніх родичів, щоб він і далі був щільно заселений. За певних санітарно-гігієнічних умов деякі мікроби, які вижили, можуть переселитися до найближчого джерела води, що дасть їм змогу знайти нову домівку в іншій трубці.

Але як усі ці бактерії потрапляють до нашої травної системи? Ми часто вважаємо, що наші нутрощі не пов'язані із зовнішнім світом. Насправді ж, уміст нашої трубки зазнає не менше іззовнішнього впливу, ніж шкіра, яка вкриває нас іззовні. Така вже природа організму. Наша трубка постійно контактує з мікробами, що нас оточують (на руках, у їжі й на домашніх улюбленцях). Деякі бактерії проходять крізь нас, а деякі залишаються з нами на багато років або на все життя.

Попри поширення мікробів у товстому кишечнику, їхнє життя нелегке. Спочатку їм потрібно витримати кислотну ванну в нашому шлунку, а потім якось знайти прихисток у темній, сирій порожнині товстої кишки, яку населяють більше ніж тисяча різних видів. Хоча в цю печеру періодично потрапляє їжа, конкуренція за ресурси всередині кишечника безжальна та виживання залежить від здатності схопити свій шматок, поки інші не прибрали його до своїх мікробних лапок. Між прийомами їжі деякі мікроби виживають, харчуючись шаром слизу, що вкриває кишечник.

Хоча життя кишкових бактерій завжди було боротьбою, вона ще ніколи не була такою напруженою, ураховуючи те, із чим мікроорганізми стикаються в цивілізованому світі.

Катастрофа цивілізованої мікробіоти

Уявіть, що ви побачили картину із зображенням поля, усіяного уламками літака після авіатрощі. Без достатніх знань з авіації вам було б складно зрозуміти, який вигляд мав літак до катастрофи. З аналогічними проблемами стикаються дослідники, коли намагаються зрозуміти, як працює людська мікробіота. Переважну більшість досліджень мікрофлори проводили над жителями Сполучених Штатів та Європи – людьми, схильними до хвороб «західного», або цивілізованого, світу. Науковці, порівнюючи мікробіоту пацієнтів із запальним захворюванням кишечника (ЗЗК) та здорових людей, зрозуміли, що «здорова» група, яка веде «західний» спосіб життя, не може бути прикладом гарної мікрофлори. Одна з небезпек сучасного суспільства – це дедалі більший ризик розвитку ЗЗК. Хоча людина може поки не мати цього відхилення, її мікробіота, імовірно, уже нездорова або буде хворою в недалекому майбутньому. Так, людину із застудою, лихоманкою та кашлем можна порівняти з іншим хворим, який має лихоманку, але поки не кашляє. Здається, що мати лихоманку – нормально (її має навіть «здорова» людина), а от кашель – уже проблема. Оскільки мікробіоту досліджували в здорових

американців та європейців, наше уявлення про «норму», мабуть, дуже викривлене.

З часу появи людства та впродовж близько 200 тисяч років наші пращури отримували їжу лише від мисливства та збирання. Харчування давніх людей складалося з кислих, волокнистих рослин та пісної, часто несвіжої дичини чи риби. Усе змінилося приблизно 12 тисяч років тому. Поява сільського господарства різко вплинула на раціон людей. Головними в нашому харчуванні стали фрукти та овочі (спеціально виведені для збільшення солодкості, м'якості та зменшення волокнистості), вигодовані зерном тварини та тваринні продукти (наприклад, молоко) та окультурені злаки (на кшталт рису та пшениці). За останні 400 років промислова революція спричинила безпрецедентну та швидку зміну нашого раціону, який дедалі більше залежить від масового виробництва. За останні 50 років сучасні технології призвели до того, що сьогодні продуктові крамниці заповнює майже незліченна кількість перероблених, надто підсолоджених, висококалорійних продуктів, позбавлених клітковини та санітарно оброблених для продовження їхнього зберігання. Раціон, заповнений цими новими продуктами, зовсім не схожий на те, що люди їли протягом нашої еволюційної історії. Кишкова мікробіота балансувала на цих «американських гірках» упродовж усієї історії людства, постійно пристосовуючись до кожної зміни харчових технологій. Але сьогодні, на жаль, вона вийшла на потенційно катастрофічний шлях.

Одна з дивовижних властивостей кишкової мікробіоти – це швидкість, з якою вона пристосовується до змін раціону. Бактерії в кишечнику розмножуються дуже стрімко та здатні подвоювати свою кількість кожні 30–40 хвилин. Види, що процвітають на продуктах, які регулярно споживає людина, можуть швидко ставати надто численними. Однак деякі бактерії потребують їжі, яка не входить до звичайного раціону людини. Вони або змушені покладатися на кишковий слиз, або, у найекстремальніших випадках, вимирають. У біології здатність до змін відома як пластичність, і це властиво для мікробіоти. Так, коли харчування наших пращурів (мисливців-збирачів) змінювалося з порами року, їхня мікрофлора легко пристосовувалася, щоб отримати максимальну поживну користь. Однак ця пластичність також означає, що численні колись види, які добре призвичаїлися до рослинної дієти, нині зникли, стикнувшись із сучасним раціоном. І навпаки, мікроби, що процвітають у нинішніх умовах споживання бургерів, картоплі фрі, становлять дедалі більшу частку мікрофлори. Саме така «цивілізована» мікробіота мешкає в кишечниках навіть тих людей, які вважають себе здоровими. На жаль, це більше нагадує картину, на якій зображений розбитий літак.

Щоб зрозуміти, який вигляд має повноцінно функціональна мікрофлора, можемо подивитися на останніх уцілілих мисливців-збирачів племені гадза в Африці. Вони живуть у колисці еволюції людства – Великій рифтовій долині Танзанії. Там були знайдені залишки наших найдавніших пращурів, що існували мільйони років тому. Харчування та мікробіота племені гадза найбільш наближені до людей, які жили ще до появи сільського господарства.

Гадза споживають дичину, ягоди, фрукти та насіння баобаба, мед та коренеплоди – підземні частини рослин. Коренеплоди настільки волокнисті,

що після тривалого переживання гадза доводиться випльовувати жуйку з найтугіших волокон.

За оцінками науковців, які досліджували плем'я гадза, його члени споживають від 100 до 150 грамів клітковини на день. Для порівняння: американці зазвичай з'їдають лише 10–15 грамів. Мікрофлора гадза містить набагато більшу різноманітність бактерій, ніж мешканці Заходу. Мікробіоту можна уявити у вигляді банки з цукерками, де різні смаки – це різноманіття бактерій. Мікрофлора мисливця-збирача нагадує слоїк, наповнений складним набором різних кольорів та смаків, і деякі з них дуже незвичайні. Слоїк із західною мікрофлорою матиме більш однорідний та простий склад.

Мікробіота аграріїв, що ведуть такий спосіб життя, як люди 10 тисяч років тому, також містить різноманітнішу колекцію мікробів. Це стосується не лише дорослих. Діти із сільських районів Буркіна-Фасо та нетрів Бангладеш також мають іншу мікрофлору, ніж їхні європейські та американські однолітки. У кишечнику західних хлопчиків і дівчаток не такий різноманітний набір мікробів, на відміну від їхніх ровесників, які ведуть менш сучасний спосіб життя. Отже, мікрофлора людей, які споживають мало перероблених продуктів (якщо взагалі споживають), не вживають кілька курсів антибіотиків щороку і не носять антисептик для рук у своїх сумках, є більш різноманітною.

В екосистемі на кшталт кишечника різноманітність може бути захистом від краху системи. Уявіть собі екосистему, що містить багато видів комах та птахів. Якщо зникне якийсь один вид комах, птахи все одно матимуть вибір їжі, хоча й менший. Однак якщо зникатиме дедалі більше видів комах, рано чи пізно птахи почнуть помирати з голоду, що призведе до вичерпання видів усередині екосистеми. Зі зменшенням різноманітності західної мікробіоти ця екосистема зазнає більшого краху, що може вплинути на здоров'я людей.

Вимушене партнерство

Люди – це продукт еволюції низки організмів, що постійно вчилися добре співіснувати зі своїми кишковими мікробами. Оскільки заселення нашого кишечника мікроорганізмами було неминучим, наш організм мусив навчитися дружньо взаємодіяти з ними. Суворая реальність природи така, що люди та бактерії пов'язані взаємовідносинами проти своєї волі. Ми не маємо іншого вибору, окрім як співіснувати з ними, а тому, роблячи це партнерство позитивним, можуть виграти як люди, так і бактерії.

Хоча деякі види (як-от *Salmonella*, *Vibrio cholera* та *Clostridium difficile*, відомі як патогени) обрали шлях антагоністичної взаємодії. Але це винятки з безлічі дружніх мікробів, які в нас живуть. На жаль, патогени спровокували зловживання антибіотиками, і це зашкодило іншим добропорядним представникам мікрофлори. Якщо розцінювати всі бактерії, що мешкають у нашому кишечнику, як ворожі або непотрібні (цим можна пояснити наш необачний підхід до вживання антибіотиків) – ми ризикуємо зашкодити цій спільноті, а зрештою й собі.

Кожен вид бактерій вашої мікробіоти має власний генетичний код, або геном. Набір генів, закодованих усередині всіх мікробів, має назву

«мікробіом», і це ваш другий геном. Так само як ваш людський геном – унікально ваш (за винятком однайцевих близнюків), двох ідентичних кишкових мікробіомів немає. Тому мікробіом робить дуже значний внесок для вашої індивідуальності (особливо якщо ви маєте однайцевого близнюка). Ваш мікробіом можна уявити як такий собі внутрішній відбиток пальця. Він може кодувати здатність розщеплювати певний тип вуглеводів, чого не може мікробіом когось іншого. Наприклад, деякі японці мають кишкову бактерію, що поглинає морські водорості, яка зазвичай відсутня у мікробіоті мешканців Заходу. Оскільки водорості – значна частина східного раціону, мікробіота японців пристосувалася до використання цього поширеного джерела їжі. Сподіваємося, що особливість західної мікрофлори – це не здатність споживати хот-доги!

Нам потрібна кишкова мікробіота. Люди не мають іншого вибору, окрім як змиритися зі скупченням бактерій у своєму організмі. Ми зробили так, як усі еволюційно успішні організми: вступили у взаємовигідний симбіотичний союз. Інакше кажучи, ми змусили їх відпрацьовувати за своє житло. Симбіоз – це тісна та тривала кооперація між двома чи більше організмами. Деякі симбіотичні відносини – паразитичні, адже один організм отримує користь за рахунок іншого, немов небажаний гість, який поїдає всю вашу їжу, залишає скрізь безлад і не розуміє прозорих натяків, що вже час іти. На мікроскопічному рівні чудовий приклад небажаного гостя – це глисти. Другий тип симбіозу – це коменсалізм, тобто співіснування, від якого один учасник має вигоду майже або зовсім без впливу на іншого (уявіть собі бродячого собаку, що харчується об'ідками на смітнику). У третьому типі симбіозу, мутуалізмі, користь отримують обидві сторони. Тепер уявіть собі, що собака, який харчується об'ідками на смітнику, також відлякує щурів, що розносять хвороби. Така домовленість аналогічна нашим відносинам із кишковою мікробіотою.

Найочевидніша вигода для нас від союзу з мікрофлорою – це хімічні речовини, які вона виділяє (а ми засвоюємо) під час ферментації в кишечнику. Такі процеси дають нам змогу не втрачати з їжі додаткові калорії. Це було вкрай важливо для наших давніх пращурів, яким не вистачало калорій. Хоча видобування зайвих калорій у сучасному світі менш важливе, продукти ферментації все ще виконують корисні біологічні завдання: налаштовують нашу імунну систему, допомагають рішуче протидіяти шкідливим бактеріям і регулюють наш метаболізм.

Ми стабільно забезпечуємо кишкові мікроби їжею. Їм не потрібно докладати для цього додаткових зусиль – достатньо лише чекати на її появу. Тому замість «почухай спину мені, а я почухаю тобі» це більше схоже на «з'їж щось для мене, а я допоможу тобі перетравити це на потрібні молекули». Але чому б людському геному не закодувати просто здатність повністю перетравлювати нашу їжу так, щоб ми не мали справи з цими мікробами-нахлібниками? Одна з причин, чому травний тракт людини не вільний від мікробів, полягає в тому, що їх майже неможливо знищити. Намагання підтримувати вільне від бактерій існування в нашому мікробному світі потребувало б титанічних зусиль. Для цього наша імунна система мала б цілодобово працювати над виселенням безлічі мікробів.

Існує інша причина, чому ми не позбавляємося від усіх мікроорганізмів: їхні гени функціонують як продовження нашого власного геному. Кожен ген у середині людського геному має користь, але водночас споживає

енергоресурси. Щоразу, як наша клітина ділиться, відтворення потребує генетичний матеріал усього геному, що міститься всередині цієї клітини (приблизно 25 тисяч генів). Мікробні гени виконують чимало функцій, на які не спроможний наш геном. Наприклад, мікробні геноми забезпечують перетворення їжі (яка не може перетравлюватися іншим способом) на молекули, що регулюють багато процесів нашого організму – від рівня запалення в кишечнику до ефективності збереження додаткових калорій. Цей розподіл праці, що виник унаслідок спільної еволюції, такий успішний, що організми використовують його цілу вічність.

Tremblaya princeps – це бактерія, що живе всередині садового шкідника. Цей мікроб особливий, бо має один з найменших геномів з мінімальною кількістю генів, потрібних для життя. Науковців цікавлять малі геноми, які є хорошою відправною точкою для створення з нуля мікробів, що виконують корисні завдання, зокрема очищення нафтових плям в океані або перетворення кукурудзяного бадилля на пальне. Після того як геном *Tremblaya princeps* секвенували, стало очевидно, що цій бактерії бракує головних генів, потрібних навіть для найосновніших клітинних функцій. Річ у тому, що всередині *Tremblaya princeps* живе інша бактерія під назвою *Moranella endobia*, яка й містить відсутні гени. *Tremblaya princeps* виробила надзвичайно розумну стратегію: замість підтримки всіх генів, потрібних їй для життя, вона асимілює гени іншої бактерії – *Moranella endobia*, що дає змогу обом взаємовигідно існувати.

Природа давно виявила те, що багато хто з нас не розуміє й досі: ключ до успіху в конкурентному середовищі – це делегування та співпраця!

Відносини між *Tremblaya princeps* та *Moranella endobia* дуже подібні до нашого союзу з кишковою мікробіотою: ми даємо бактеріям дім, доручаємо їм необхідні функції та підтримуємо більш раціональний геном. Проблема в тому, що ми змушені піклуватися про головні бактерії, які виконують життєво важливі завдання.

Ми сподіваємося, що гени мікробіому заповнять прогалини нашого геному. Розщеплення широкого різноманіття клітковини з рослинного матеріалу, який ми споживаємо, потребує величезного набору генів, що забезпечують наші кишкові мікроби. Симбіотичні відносини з цими бактеріями впродовж усієї історії людства зробили нас залежними від хімічних сигналів, які вони посилають до різних систем усередині організму протягом нашого життя. Ці сигнали свідчать, що наш кишковий тракт правильно функціонує, наша імунна система активно (але не надмірно) бореться з хворобами і що наш метаболізм підтримує гомеостаз. Людський геном отримує користь від 3–5 мільйонів генів мікробіоти без витрат на їхнє підтримання.

Погана репутація бактерій

Якщо мікробіота така важлива для людського здоров'я, чому ми дізналися про неї лише щойно? Ще донедавна галузь медичної мікробіології була зосереджена тільки на «поганих» бактеріях, також відомих як патогени. Патогенні мікроби спричиняють такі хвороби, як холера, туберкульоз та бактеріальний менінгіт, і відповідають за страждання та смерть безлічі людей упродовж усієї історії. Нескладно зрозуміти, чому медичні дослідження були так зосереджені на розумінні цих бактерій та боротьбі

з ними. У середині XIX століття відомий мікробіолог Луї Пастер почав експериментально вивчати ідею, що мікроорганізми спричиняють псування та ферментацію їжі – процес, який перетворює молоко на йогурт або виноградний сік на вино. До Пастера наукова думка стверджувала, що псування молока спричиняє якась сутність, що спонтанно виникає в ньому. Завдяки своїм експериментам Пастер довів, що псування та ферментація виникають унаслідок дії не якоїсь примари, а чогось конкретного в навколишньому середовищі. І це були мікроби.

Його робота допомогла підтвердити теорію мікробного походження хвороб. Пастер вважав, що бактерії можуть не тільки псувати молоко, а й спричиняти в людей захворювання. Ця теорія була на той час новим явищем, оскільки в науці панувала думка, що хвороби спричиняють міазми – смердючі отруйні випари від гниття органічних речовин. Ця віра у шкідливі міазми стала поштовхом до покращення санітарно-гігієнічних умов.

Середина XIX століття в Лондоні – час нових правил особистої гігієни. Родини, які прагнули позбутися негігієнічних нічних горщиків, радо вітали революційний винахід змивного туалету. Але зі змиванням відходів постали нові проблеми. Лондон тоді ще не мав достатньо розвинутої каналізаційної системи, а тому нічні горщики спорожняли у вигрібні ями по всьому місту. Туди також зливалася вода з туалетів, яка швидко почала перетікати в Темзу – джерело питної води для багатьох мешканців Лондона. До середини XIX століття паралельно зростав рівень каналізаційних відходів у Темзу і смертності людей від холери.

Криза досягла свого апогею надзвичайно спекотного літа 1858 року. Через високі температури та бродіння стоків у Темзі Лондон зіткнувся з величезною проблемою міазмів, відомою як Великий сморід. Запах був такий нестерпний, що багато людей намагалися не виходити з домівок, ніби перебуваючи під домашнім арештом бактерій. Оскільки через сморід збільшилися випадки холери, було легко припустити, що цей смертельний недуг спричинили саме «міазми» з Темзи. Холера – це хвороба, яку спричиняє бактерія *Vibrio cholerae*, хоча на той час це було поки невідомо. *Vibrio cholerae* поширюється дуже стрімко. Головний симптом – діарея – розносить мікроб, особливо там, де стоки змішуються з питною водою. У Лондоні середини XIX століття люди, які брали воду нижче за течією від Темзи, хворіли на холеру майже вчетверо більше, ніж ті, хто брав воду вище. Сморід був лише ознакою поганої гігієни, а не причиною поширення холери, як вважали місцеві мешканці. Але запах нечистот та легкість зараження були так тісно пов'язані, що здавалося, ніби хворобу спричиняє саме гидотний запах.

Зрештою Великий сморід став такий нестерпний, що люди були змушені покращити санітарно-гігієнічні умови навколо Темзи. Очищення системи водопостачання зменшило кількість *Vibrio cholerae*, а отже, і поширення холери.

Цей випадок у Лондоні відтворює боротьбу з невидимими ворогами – бактеріальними патогенами, які спричиняли біль, страждання та смерть. Але лише впродовж 1880-х років німецький науковець Роберт Кох продемонстрував, що саме бактерії є збудниками сибірської виразки, холери та туберкульозу. Його новаторський метод, відомий як постулати Коха, і досі вважають стандартом установлення, який саме патоген є збудником

хвороби. За своє відкриття Кох отримав Нобелівську премію, а також посаду директора Інституту гігієни в Берлінському університеті. Його наукові дослідження нарешті поклали край теорії міазмів та започаткували медичну мікробіологію. У наступні 150 років учені-мікробіологи вивчали бактерії, що спричиняють недуги. Інфекційні хвороби – найбільші вбивці людей у світовій історії. Антибіотики були розроблені як безпосередній результат нашого розуміння, що, знищуючи бактерії, можна зупинити багато інфекційних захворювань та рятувати життя. Нескладно зрозуміти, чому бактерії здобули таку погану репутацію і чому людство перейшло до покращення санітарно-гігієнічних умов.

Лише на початку XX століття науковці почали усвідомлювати розміри колонії бактерій, що живуть у нашому кишечнику. В одному з найбільш недооцінених відкриттів XX століття Артур Кендалл зазначив: «Ці експерименти вказують на те, що людина містить у своєму кишковому тракті цілу популяцію бактерій».

Попри розуміння, що всередині нас живуть бактерії, ніхто до кінця не усвідомлював, що саме вони роблять чи впливають на наше здоров'я і яким чином. Патогенні бактерії спричиняють чимало гострих захворювань, тоді як кишкові бактерії мають порівняно незначний, тривалий вплив на здоров'я людини. Тому гроші зазвичай витрачалися на дослідження відомих «поганих» бактерій. Лише нещодавно науковці почали усвідомлювати величезне значення кишкових мікробів для всього нашого організму.

ПЕРЕФРАЗОВУЮЧИ спостереження Артура Кендалла, можна сказати, що людина не просто має в кишковому тракті популяцію бактерій – людина сама є продуктом цієї популяції.

Початок епохи мікробіоти

Упродовж 1960–1970-х років група мікробіологів за участю Ебігейл Сельєрс вивчала бактерії людського кишечника. Можна лише здогадуватися, чому ці науковці вирішили зосередитися на цих начебто нешкідливих кишкових мешканцях, а не більш помітних хвороботворних бактеріях. Але, на щастя, їх зацікавили саме звичайні кишкові мікроорганізми. Ще задовго до того, як виявили, що ці бактерії пов'язані з людським здоров'ям, Сельєрс зосередилася на вивченні конкретного виду під назвою *Bacteroides*. 2005 року ми відвідали її лабораторію в Іллінойському університеті.

Ебігейл Сельєр – це одночасно безстрашна першовідкривачка мікробіоти та прагматична експериментаторка. Коли ми до неї завітали, вона провела нас лабораторією та прилеглими коридорами, загромадженими матеріалами її ранніх експериментів. Нарешті ми зупинилися в кімнаті для перемовин. Сидячи за столом, ми запитали Ебігейл, чому вона обрала для вивчення саме *Bacteroides*, сподіваючись, що дослідниця поділиться з нами якимись особливими ідеями щодо свого вибору. Ебігейл відповіла, що з ними просто було працювати найлегше, бо вони переносять вплив кисню. (Багато інших відомих кишкових мікробів чахнуть за межами безкисневого середовища нашого кишечника.) Одне з її головних відкриттів показало, що ця велика група бактерій добре споживає клітковину. Сельєрс та її колеги зрозуміли, що чимало видів бактерій харчується в кишках, поїдаючи частини рослин, які люди не здатні перетравлювати самі. Але тогочасні дослідження

мікробіоти були обмежені через недоступність інструментів та складність роботи з цими бактеріями в лабораторії. Ця галузь очікувала на нові технології, здатні просунути її вперед.

Трамплін для такого стрибка виник наприкінці 1980-х років з початком проекту «Геном людини». Це була міжнародна програма, спрямована на секвенування всіх генів людського геному. Щоб завершити цей процес, знадобилося приблизно 13 років, а загальні витрати становили один мільярд доларів. Зрештою ми отримали майже терабайт даних секвенування, над розшифруванням яких науковці працюють і досі. Важливість цього геномного прориву для прискорення наукових відкриттів незаперечна. Проте багато хто вважає, що секвенування людського геному не принесе відчутної користі так швидко, як дехто сподівався, особливо враховуючи витрати. Геном людини важливий для появи нових методів лікування та розуміння причини людських хвороб, але велика обіцянка «персоналізованої медицини» (лікування, прив'язаного до конкретного геному) утілюється повільніше, ніж запевняв нас догеномний галас.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию (<https://www.litres.ru/dzhastin-sonnenburg/zdoroviy-kishechnik-kontrol-vagi-nastrou-ta-zdorov-ya/?lfrom=362673004>) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.