

Зміст

Передмова.....	7
Частина I. Знайомство з імунною системою	13
1. Що таке імунна система?	15
2. Що захищає імунна система?	22
3. Що таке клітини?	29
4. Імперії та королівства імунної системи.....	40
Частина II. Катастрофічні ураження.....	45
5. Познайомимося з нашими ворогами	47
6. Шкіра, Королівство-пустеля	53
7. Поранення.....	59
8. Солдати вродженої імунної системи — макрофаги й нейтрофіли	66
9. Запалення — гра з вогнем.....	73
10. Голі, сліпі й налякані. Як клітини дізнаються, куди треба рухатися?.....	78
11. Запах будівельних блоків життя	85
12. Військо невидимих убивць — система комплементу.....	90
13. Клітини-розвідники.....	100
14. Магістралі й мегаполіси.....	105
15. Прибуває суперзброя	112
16. Найбільша бібліотека на світі	117
17. Рецепти приготування рецепторів.....	120
18. Тимус — університет, де навчають убивць.....	125
19. Подача на блюдечку. Презентація антигена.....	131
20. Пробудження адаптивної імунної системи. Т-клітини.....	139

21. Фабрики зброї та снайперські гвинтівки. В-клітини й антитіла....	146
22. Танець Т й В	158
23. Антитіла	162
Частина III. Загарбання території ворогами.....	171
24. Королівство боліт — слизова оболонка.....	173
25. Дивовижна імунна система нашого кишківника.....	180
26. Що таке вірус?.....	186
27. Імунна система легень	193
28. Грип — «нешкідливий» вірус, якого ми недостатньо поважаємо	197
29. Хімічна зброя. Втручаються інтерферони!.....	205
30. Вікно у внутрішній світ клітини.....	217
31. Фахівці з убивств — Т-кілери.....	223
32. Природні кілери.....	230
33. Як долається вірусна інфекція?.....	235
34. Згортання активності імунної системи	241
35. Імунітет. Як ваша імунна система назавжди запам'ятовує ворога?.....	245
36. Вакцини та штучна імунізація.....	253
Частина IV. Заколоти й міжусобні війни.....	263
37. Коли імунна система заслабка. ВІЛ і СНІД.....	265
38. Коли імунна система занадто агресивна. Алергія.....	272
39. Паразити. Чому імунній системі може їх бракувати?	279
40. Аутоімунні захворювання.....	284
41. Гігієнічна гіпотеза та старі друзі	293
42. Як зміцнити свою імунну систему?.....	303
43. Стрес та імунна система.....	311
44. Рак та імунна система	315
45. Пандемія коронавірусу	329
Післямова.....	337
Про автора	340
Примітки	341

Передмова

Уявіть, що, прокинувшись уранці, ви відчули нездужання. Надокучливий біль у горлі, нежить, легкий кашель. «Загалом мені не настільки зле, щоб не йти на роботу», — міркуєте ви, стаючи під душ, трохи роздратовані тим, що життя таке нелегке. Узагалі-то, ви не плаксива дитинка й на імунну систему не скаржитесь. Вона оберігає життя, щоб ви змогли, бідкаючись, прожити черговий день. Поки непрохані зловмисники блукають вашим організмом, убиваючи сотні тисяч клітин, імунна система організовує комплексний захист. Вона долає величезні відстані, активізує складні захисні мережі й несе швидку смерть мільйонам, якщо не мільярдам ваших ворогів. І все це відбувається тоді, коли ви, роздратовані, стоїте під душем.

Однак цей складний процес здебільшого відбувається потай від вас.

Це дуже прикро, бо небагато речей мають такий вирішальний вплив на якість життя, як імунна система. Вона всеохопна й усюдищу, захищає від безлічі неприємностей, від набридливих дрібниць, як-от застуди, подряпини й порізи, до небезпечних раку, пневмонії та загрозливих інфекцій, наприклад *COVID-19*. Імунна система настільки ж потрібна вам, як серце або легені. Насправді це одна з найбільших і всепроникних систем в організмі, хоча ми здебільшого про це не замислюємося.

Для більшості з нас імунна система — прихована за густим туманом невизначена сутність, яка дотримується дивних і непрозорих правил і, здається, часом працює, а часом ні. Вона дещо нагадує погоду, яку надзвичайно складно передбачити і яка є предметом нескінченних спекуляцій і здогадів. Результати роботи цієї системи здаються випадковими. На жаль, багато хто впевнено говорить про імунну систему, насправді не розуміючи її.

Часом буває непросто визначити, якій інформації довіряти й чому. То що ж таке імунна система та як вона насправді працює?

Ознайомлення з книжкою про механізм роботи системи, яка дає вам змогу жити, — це не просто приємна й цікава інтелектуальна вправа. Таке читання дасть вам украй потрібні знання. Дізнавшись, як працює імунна система, ви зрозумієте, як вакцини рятують вас і ваших дітей, та оціните їх корисність. Почнете ставитися до різних захворювань із більшим розумінням і набагато меншим страхом. Станете менш сприйнятливими до пропозицій продавців сумнівних «чудодійних» ліків від усіх хвороб. Знатимете більше про ліки, які насправді допоможуть під час хвороби. Розумітимете, як можна зміцнити імунну систему. Зможете захистити своїх дітей від небезпечних мікробів, не надто переймаючись тим, що вони брудняться, граючись на вулиці. У дуже серйозному випадку, скажімо в разі пандемії, знання про те, як саме вірус діє на вас і як ваш організм бореться з ним, допоможе краще зрозуміти поради експертів з охорони здоров'я.

Окрім усіх цих практичних речей, приваблює й те, що імунна система — прекрасне диво природи, не схоже на жодне інше. Вона не просто проганяє наш кашель. Вона нерозривно пов'язана майже з усіма процесами в організмі. І хоча імунна система вкрай важлива для збереження життя, існує певна ймовірність, що саме вона може призвести до передчасної смерті через свою недостатню або ж надмірну активність.

Уже майже десять років я із захопленням вивчаю неймовірно складну імунну систему людини. Це почалося ще в університеті, коли я вивчав інформаційний дизайн і шукав тему для свого семестрового проєкту. Вибрати імунну систему здавалося гарною ідеєю. Тож я зібрав величезну купу книжок з імунології та почав у них копірситися. Та хай скільки я читав, тема не ставала простішою. Що більше я дізнавався, то більш неможливим було спростити проєкт. Кожен новий аспект розкривав дедалі більше механізмів, більше винятків із них і більше складнощів. І ось робота, яку я мав виконати за весну, забрала літо, а потім і осінь та зиму. Взаємодія складових частин імунної системи була такою злагодженою, а їхній

спільний танець — настільки прекрасним, що я не зміг змусити себе не дізнаватися про них більше. Це дослідження принципово змінило моє ставлення до свого організму й відчуття власного тіла.

Коли я захворів на грип, то вже не міг просто ремствувати на життя. Я почав спостерігати за своїм організмом, торкатися набряклих лімфатичних вузлів та уявляти, що саме в цей час роблять мої імунні клітини, яку частину їхньої мережі активовано та як Т-лімфоцити вбивають мільйони зловмисників, щоб мене захистити. Коли через необережність я порізався в лісі, то відчув вдячність до своїх макрофагів, великих імунних клітин, які полювали за наляканими бактеріями й розривали їх на шматки, щоб захистити мою відкриту рану від інфекції. Коли я з'їв не прийнятний для мене батончик-гранолу, переніс алергічний шок і потрапив до лікарні, то думав про мастоцити, *IgE*-антитіла та про те, як вони ледь не вбили мене, намагаючись захистити від небезпечної їжі!

Коли у віці тридцяти двох років у мене діагностували рак і я мусив перенести кілька операцій, а потім хімієтерапію, одержимість імунологією стала ще стійкішою. Одним із завдань моєї імунної системи було вбивати рак. І зробити це самотужки їй не вдалося.

Проте я не міг розлютитися чи надто засмутитися через те, бо знав, наскільки складною була ця робота для моїх імунних клітин, як тяжко їм доводилося працювати, щоб тримати хворобу під контролем. І коли хімієтерапія знищувала рак, думками я повертався до імунних клітин, які втручалися в пухлину та з'їдали її клітини одну за одною.

Нездужання та хвороби — страшна й тривожна річ, і цього я мав у житті вдосталь. Але знання про те, як саме клітини, імунна система, ця невід'ємна частина мене, захищають сутність, яка є мною, як вони борються, помирають, лікують і відновлюють тіло, у якому я перебуваю, завжди давало мені відчуття захищеності. Це знання зробило моє життя кращим і цікавішим, воно набагато послабило занепокоєння, пов'язане з хворобами. Знання про імунну систему завжди дає змогу бачити речі в перспективі.

Отож, завдяки цьому позитивному ефекту та й просто задоволенню, яке я діставав, більше дізнаючись про імунну систему,

її вивчення стало моїм постійним хобі. Урешті я зайнявся науковою комунікацією, і пояснення складних речей стало життєвою метою. Майже вісім років тому я заснував *Kurzgesagt—In a Nutshell* — канал на *YouTube*, присвячений доступному й цікавому викладенню наукової інформації. На початок 2021 року команда *Kurzgesagt* збільшилася до сорока осіб, канал залучив понад чотирнадцять мільйонів підписників і щомісяця охоплює приблизно тридцять мільйонів глядачів. Але якщо є така потужна платформа, навіщо я завдав собі чималого клопоту з написанням цієї книжки? Я мусив зробити це. Хоча деякі з наших найуспішніших відео стосувались імунної системи, я не міг висвітлити в них цю цікаву тему з тією глибиною, на яку вона заслуговує. Десятихвилинне відео не зовсім для цього вдале. Тож ця книжка — спосіб перетворити мою десятилітню любовну пригоду з імунною системою на щось відчутне. Сподіваюся, це допоможе вам у цікавий спосіб дізнатися корисні речі про чудову, неймовірно складну систему, завдяки якій ми щодня виживаємо.

Імунна система надзвичайно складна, і це ще м'яко сказано, хай як прикро це для тих, хто її вивчає. Вона настільки складна, що, якщо порівняти сходження на Єверест із її дослідженням, воно здасться приємною прогулянкою серед природи. На інтуїтивному рівні зрозуміти її не простіше, ніж переклад податкового кодексу Німеччини китайською. Імунна система — найскладніша з відомих людству біологічних систем, окрім людського мозку.

Що більше літератури з імунології ви читаєте, то більше нагромаджується різних подробиць, більше винятків із правил, то складнішою, специфічною для різних можливих ситуацій видається ця система. Кожна з багатьох її частин має безліч функцій і спеціалізацій, які перекриваються та впливають одна на одну. Але навіть якщо попри все це ви візьметесь до вивчення імунної системи, то нашттовхнетеся на ще одну проблему, створену людьми, які її описували.

Завдяки наполегливій праці й невичерпній цікавості науковці заклали основи дивовижного сучасного світу, у якому ми з насолодою живемо. Велика шана їм за це. Проте багатьом із них, на жаль, погано вдається добирати терміни й вигадувати доступну мову для

пояснення своїх відкриттів. Імунологічна наука завинила в цьому сенсі чи не найбільше за будь-яку іншу наукову дисципліну. І без того складна, що аж захоплює дух, галузь наповнена такими термінами, як «головний комплекс гістосумісності I і II класів», «гамма-дельта-Т-клітини», «інтерферон альфа, бета, гамма та каппа» і, на довершення, дійова особа на ім'я «комплекс *C4b2a3b*». Це аж ніяк не заохочує взяти до рук підручника й самотійно вивчати імунну систему. До того ж навіть без цього бар'єра складні взаємини численних суб'єктів імунної системи, які діють за незрозумілими на перший погляд правилами з незліченними винятками з них, — це виклик для того, хто захоче про них дізнаватися. Імунологія складна навіть для тих, хто працює в галузі медицини, та й для самих імунологів — зокрема й для передових фахівців у цій галузі.

Через усе це пояснювати особливості функціонування імунної системи вкрай незручно. Якщо ви наважитесь занадто їх спростити, то позбавите свого учня відчуття краси й дивовижності створеної генієм еволюції неймовірно складної системи, яка розв'язує найважливіші проблеми живих істот. А якщо надміру поринете в подробиці, дуже швидко стане складно стежити за вашою думкою. Перелічити все, кожную деталь імунної системи майже нереально. Це наче спробувати викласти комусь усю історію свого життя на першому побаченні. Це і неможливо, і, найімовірніше, відверне людину від подальшого знайомства з вами.

Тому під час написання цієї книжки мені довелося обережно танцювати між обома цими проблемами, намагаючись їх оминати. Я користуватимуся звичайною людською мовою й застосовуватиму складні слова лише тоді, коли це знадобиться. Опис процесів та їхніх взаємодій спрощуватиму, де це можливо, однак залишаючи його максимально наближеним до наукового. Складність різних розділів книжки неоднакова. Серед них є такі, з яких ви отримуватимете чимало інформації, а є й простіші для сприйняття, щоб трохи розслабитися. Час від часу я узагальнюватиму те, про що ви дізналися. Хочу, щоб ця книжка допомогла кожному зрозуміти власну імунну систему й на додачу трохи розважитися.