

От естественного отбора к хакерской атаке на генетический код

ВЗЛОМАТЬ



ДАРВИНА

генная

инженерия

и будущее человечества

РАЗГОВОРЫ О БУДУЩЕМ

Джейми Метцль

авторитетный футуролог, эксперт по геополитике,
писатель-фантаст и старший научный сотрудник Атлантического совета,
член экспертного Комитета по надзору за редактированием генома человека

Джейми Метцль
Взломать Дарвина:
генная инженерия и
будущее человечества
Серия «Разговоры о будущем»

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=66285278

Взломать Дарвина: генная инженерия и будущее человечества: АСТ;

Москва; 2021

ISBN 978-5-17-122544-5

Аннотация

Наше тело сродни лотерее: со старта можно выиграть здоровье и даже гениальность. Но никто не застрахован и от генетических заболеваний. Хотим ли мы этого для своих детей?

Джейми Метцль считает, что не стоит полагаться на «слепого часовщика», имея в руках возможность управлять геномом, словно программным кодом. Эволюция, поставленная под контроль, даст человеку возможность не только искоренить некоторые болезни, но и стать более совершенным – и счастливым. Стоит лишь выбрать наиболее удачную конфигурацию генов. Однако такой сценарий неизбежно сопряжен с рисками: мы можем лишиться гена, важности которого еще не понимаем; общество потенциально поделится на

«генетически имущих и неимущих»; государства начнут войну за технологии. Именно поэтому разработка генетической этики должна вестись параллельно с лабораторными исследованиями.

Изменение человечества на генетическом уровне – уже не научная фантастика, а естественное следствие развития биотехнологий. Настало время вооружиться фактами.

В формате PDF A4 сохранён издательский дизайн.

Содержание

Введение	6
Глава 1	25
Конец ознакомительного фрагмента.	67

Джейми Метцль Взломать Дарвина: генная инженерия и будущее человечества

*«Жизнь – это порождение нашего разума»
Гаутама Будда*

Jamie Metzl

HACKING DARWIN: GENETIC ENGINEERING AND
THE FUTURE OF HUMANITY

Originally published in the United States by Sourcebooks, Inc.
www.sourcebooks.com

© Jamie Metzl, 2019

© Перевод на русский язык. ООО «Издательство АСТ»,
2021

Введение

Вступая в эру генетики

– Цель визита? – спрашивает меня девушка на ресепшене. Мой первый поход в криобанк Нью-Йорка, а мне уже неловко.

– Просто мне кажется, что это правильный шаг для каждого из нас, – пожав плечами, говорю я. – Я читаю по всему миру лекции о будущем репродукции человека. Там я рассказываю всем и каждому, кто готов слушать и планирует обзавестись потомством, о необходимости заморозить яйцеклетки и сперму в юности. Сам-то я немного опоздал.

Девушка вопросительно поднимает бровь в немом вопросе: «Лет на двадцать?»

– Не совсем понимаю. Вы донор?

– Нет.

– Вам предстоит курс химиотерапии или другое медицинское вмешательство, негативно влияющее на сперму?

– Нет.

– Вы служите в вооруженных силах и вас отправляют в горячую точку?

– Нет.

– Тогда единственная категория, которая остается в бланке, – это «Другое», – после неловкой паузы добавляет девуш-

ка. – Отмечаем ее?

В мой разум закрадываются сомнения. Я не хочу думать о различных сценариях, которые могут ждать меня в будущем. Может, однажды мне захочется завести детей. Так почему бы не заморозить сперму сейчас, пока я еще молодой? Может, я пожертвую свою сперму для отправки в космос, когда человечество решит колонизировать оставшуюся часть Солнечной системы. А вдруг человеческому виду уготовано генетически модифицированное будущее, в котором большинство из нас будет зачато в лаборатории, а не в кровати или на заднем сидении автомобиля?.. Как бы ни сложилось мое будущее, самым правильным решением будет действовать уже сейчас.

– Ну так что? – спрашивает девушка.

Я нервно улыбаюсь, а мой мозг пытается осознать этот невероятный для нашей эволюционной истории момент: в стерильном офисе в Среднем Манхэттене переплелись новейшие уникальные технологии и моя собственная биология.

Ученые и богословы могут сколько угодно спорить о том, как зародилась первая искра жизни нашей планеты – в термальных источниках на дне океана или в результате божественного вдохновения (а то и все сразу). Но большинство приверженцев науки сходится на том, что около 3,8 миллиарда лет назад на Земле возникли первые одноклеточные организмы. И если бы эти микроорганизмы не нашли спосо-

ба размножиться, через одно поколение они бы все вымерли. Жизнь всегда найдет себе дорогу. Поэтому микробы, научившиеся делиться, стали первыми организмами, способными создавать крохотные микробные семьи. Если бы каждое деление организмов порождало точные копии родительских клеток, то наш мир бы по-прежнему населяли только одноклеточные существа, а вы бы не смогли прочесть эту книгу. Но все сложилось совсем по-другому.

История нашего вида – это рассказ о незначительных ошибках и других изменениях, возникающих в процессе размножения.

Миллиарды лет небольших вариаций привели к образованию огромного количества едва отличимых друг от друга моделей. Со временем какие-то из этих моделей объединились в простые многоклеточные организмы. По сегодняшним меркам это совсем немного. Однако в ходе репродукции такие организмы создавали еще большее разнообразие. Некоторые вариации наделяли своих обладателей преимуществом при добыче пищи или защите от врагов, что позволяло таким особям прожить достаточно долго и оставить после себя большее количество мутаций. Два с половиной миллиарда лет мутаций и конкуренции подарили жизни еще один удивительный виток – половое размножение.

Половое размножение дало старт совершенно новому подходу к созданию разнообразия, при котором генетическая информация отца и матери сочеталась особым спо-

собом¹. Этот уникальный процесс, достигший своего пика 540 миллионов лет назад, позволил простым организмам стремительно мутировать, порождая немыслимое количество всевозможных жизненных форм, включая рыб. Около 200 миллионов лет назад какие-то особи рыб выползли на сушу и постепенно эволюционировали в млекопитающих. А около 300 000 лет назад какие-то млекопитающие превратились в *Homo sapiens*, то есть нас.

По сути, это и есть история нашей эволюции. Каждый из нас – это одноклеточный организм, который пережил 4 миллиарда лет случайных мутаций и чьи предки стабильно опережали своих конкурентов в непрерывной борьбе за выживание. Если ваши предки выживали и размножались, то на свет появлялись вы. Если нет, то вы и не рождались. Кратко это называют *дарвинизмом*, или теорией эволюции Дарвина. Именно она подвела нас к сегодняшнему дню. Но сейчас меняются сами принципы теории эволюции.

Теперь большая часть мутаций перестанет быть случайной. Она будет запланированной.

Теперь наш отбор перестанет быть естественным. Он ста-

¹ Биолог из Гарварда Майкл Десайи провел необычное исследование дрожжевых грибов с клональным и половым способом размножения. Результаты исследования показали, что грибки с половым размножением адаптировались в два раза быстрее своих бесполок сородичей, благодаря чему количество вредных мутаций сокращалось, а полезных – наоборот, увеличивалось. Michael J. McDonald, Daniel P. Rice, Michael M. Desai. *Sex Speeds Adaptation by Altering the Dynamics of Molecular Evolution // Nature* 531. – 2016. – Vol. 7593 (2016). – P. 233–36. doi:10.1038/nature17143.

нет самоуправляющимся.

Теперь наш вид станет активно управлять процессом эволюции, модифицируя геномы будущих потомков в нечто отличное от текущей версии нас. Другими словами, мы начинаем взламывать Дарвина.

Это невероятная идея с феноменальными последствиями. Современная версия *Homo sapiens* никогда не была вершиной эволюции. Это всего лишь остановка в нашем длительном эволюционном маршруте. В будущем мы научимся идеально управлять этим процессом, руководствуясь нашими лучшими побуждениями.

Если мы отправимся на тысячу лет назад, похитим ребенка и перенесем его в современный мир, то это дитя вырастет во взрослого, неотличимого от нас с вами. Но если же мы запрыгнем в машину времени и отправимся на тысячу лет вперед, то ребенок того времени покажется нам генетическим суперчеловеком. Он или она будет умнее и сильнее остальных детей, устойчивее ко многим заболеваниям. Такой ребенок проживет дольше и станет обладателем уникальных генетических признаков, которые сейчас считают характерными для выдающихся людей, например разного типа гениальность, или животных, например сверхразвитое сенсорное восприятие. Кроме того, он или она может быть носителем новых и пока что не встречавшихся у людей и животных генетических признаков, состоящих из тех же строительных блоков, которые создали невероятное разнообразие жизнен-

ных форм.

– Вам подойдет категория «Другое»? – прерывает мои размышления девушка.

Делаю глубокий вдох.

– Похоже, это самый подходящий вариант.

– Хм, – хмурится девушка, похоже, разозлившись на мою задумчивость. – И как долго вы планируете хранить материал?

– Почему бы не начать со ста лет? А там уже посмотрим, как пойдет.

Девушка бросает на меня недоверчивый взгляд.

– Извините, сэр, но мы предлагаем услуги хранения только один год, три года и пять лет.

На моем лице явно читается огорчение.

– Этот срок – намного меньше, чем мне нужно.

– Да, но вы всегда можете продлить.

– Многовато продлений выйдет, – говорю я, пожимая плечами. – А как я могу быть уверен в том, что ваша организация проработает все это время?

– Не волнуйтесь. Мы будем работать. Мы только недавно сделали ремонт.

Я сглотнул. Очевидно, что на будущее репродукции мы смотрим по-разному.

– Пожалуйста, присядьте и заполните эти формы, – добавила она, протягивая мне планшет. – Я позову вас, когда врач освободится.

В волнении сажусь в этой белой непримечательной приемной на жесткий пластиковый красный стул и под приторную фоновую музыку начинаю заполнять бланки, параллельно размышляя о том, как дошел до этого состояния. В своих воспоминаниях я дошел до странной череды событий, которая привела меня к настоящей одержимости геной инженерией, способной изменить эволюционную траекторию каждого представителя наших видов, включая и меня самого.

Все началось, когда я работал в Совете национальной безопасности Белого дома во второй срок правления Клинтона. Мой тогдашний начальник, а ныне близкий друг, Ричард Кларк рассказывал всем подряд, что терроризм – это страшная угроза безопасности США и страна должна принять более агрессивные меры, чтобы поймать загадочного террориста Усаму бен Ладена. Когда самолеты врезались в Башни-близнецы 11 сентября, пророческая и ставшая известной записка Дика об Аль-Каиде валялась, нерассмотренная, где-то в корреспонденции Буша.

Дик всегда говорил: если в Вашингтоне все занимают чем-то одним, то совершенно точно из вида упускается нечто гораздо более важное. Этот урок я хорошо запомнил. После ухода из Белого дома я продолжил размышлять о том, что это были за чрезвычайно важные, упущенные из вида проблемы. Мои мысли возвращались к зарождавшейся тогда революции в области генетики и биотехнологии. Я был занят чтением всего, что мог найти, и поиском умнейших уче-

ных и мировых мыслителей, которые рассказали бы мне еще больше. Почувствовав, что моих знаний достаточно для того, чтобы делиться ими с окружающими, я стал писать для зарубежных политических журналов статьи о влиянии национальной безопасности на генетическую революцию.

Однажды в начале 2008 года я получил необычный звонок от Брэда Шермана – умного и эксцентричного конгрессмена из Калифорнии. В те дни Шерман был председателем подкомитета по терроризму, нераспространению [ядерного оружия] и торговле комитета палаты представителей по иностранным делам. Конгрессмен рассказал мне, что часто думал о следующем поколении террористических угроз. Он прочитал одну из моих статей и заявил, что хотел бы провести по этой теме заседания в Конгрессе. Для меня было честью, когда он попросил меня помочь со структурой мероприятия, с отбором потенциальных участников и выступлением в качестве главного свидетеля для его пророческого заседания в июне 2008 года на тему «Генетика и другие технологии модификации человека».

– Когда через 200 лет наши потомки вспомнят наше время и спросят себя, какие самые главные проблемы стояли перед внешней политикой, – заявил я в докладе, – то, уверен, терроризм, при всей его важности, не попадет на вершину списка. Сегодня я стою на этой трибуне, поскольку верю: главной проблемой внешней политики будет то, как мы, американцы и международное сообщество, используем

новые возможности, чтобы управлять генетическим материалом и обрабатывать его².

Мое выступление перед Конгрессом привлекло внимание. Это придало мне уверенности в том, что я находился на пороге чего-то важного, что мне необходимо углубиться в эту увлекательную и стремительно изменяющуюся тему и что мне есть, чем поделиться с другими.

Я все чаще писал для политических журналов и начал выступать по стране и миру, рассказывая о будущем генной инженерии. Чем больше я узнавал и погружался в тематику, тем сильнее убеждался: мы как общество совсем не готовимся к наступающей генетической революции. А еще мне не давала покоя мысль о том, что мое сообщение до людей не доходит. Со временем стало ясно: если я хочу нести мысль в массы эффективнее, следует объяснять по-другому. Если политические лекции о генетике не приносили должного результата, то нужно было вернуться к тому инструментарию, которым я пользовался ранее.

Опубликовав свою первую книгу о важной, но малоизвестной истории геноцида в Камбодже и снабдив ее тысячей

² «Генетика и другие технологии модификации человека: разумная международная регуляция или новая гонка вооружений?» (*Genetics and Other Human Modification Technologies: Sensible International Regulation or a New Kind of Arms Race?*) // выступление перед подкомитетом по терроризму, нераспространению ядерного оружия и торговле (комитет по иностранным делам), палата представителей, 110 Конгресс, 2-я сессия. – 19 июня 2008 года. – Серийный номер 110–201. – URL: https://fas.org/irp/congress/2008_hr/genetics.pdf.

сносок, я понял: лучший способ подачи такого рода информации – это не увесистый фолиант, а рассказ. Рассказ историй – это то, чем мы занимались с древних времен. Истории, рассказанные в пещерах и у костров, превратились в романы, фильмы и телевизионные драмы. Вторая книга и мой первый роман *The Depths of the Sea* раскрывала трагическую историю Камбоджи иначе – через призму пересекающихся историй людей, оказавшихся у тайско-камбоджийской границы после вьетнамской войны. Первая книга более точно описывала тот катаклизм, однако переварить роман было намного проще.

Поэтому мои попытки осветить важнейшие проблемы генетической революции за пределами документалистики не увенчались успехами, и я вернулся к старой стратегии. В своих научно-фантастических романах *Genesis Code* (исследование последствий генетической революции) и *Eternal Sonata* (размышления об увеличении продолжения жизни) я попытался представить, что новейшие генетические технологии будут означать для каждого из нас. Я попытался вплести в сюжет о будущем генетики истории людей – так, чтобы мой рассказ читался легче.

Но на турне в поддержку книг произошло нечто неожиданное. Людей интересовали ополченцы Судного дня, коварные мастера шпионажа, зарождающиеся романтические отношения и вспышки взрывов, которые я добавил в придуманный мной фантастический мир. Глаза читателей округ-

лялись, когда я объяснял научную подоплеку генетической революции и ее значение для нас, человеческих существ. Когда я рассказывал о науке на простом языке в стилистике романа, слушатели внезапно осознавали, как небольшие фрагменты научной информации, с которыми они сталкиваются каждый день, соединяются в общую картину нашего будущего. Я заметил, что все меньше обсуждаю вымысел и все больше говорю о настоящих технологиях, которые могут коренным образом изменить человечество.

Оживленные беседы с людьми во время турне и на других мероприятиях вдохновляли меня и побуждали задавать себе более сложные вопросы о будущем генной инженерии и моем личном отношении к нему.

Разменяв пятый десяток, я так и не обзавелся детьми, хотя всегда считал, что они у меня будут. Возможно, этому способствовала моя давняя и не всегда рациональная вера в науку, здоровый образ жизни и положительное отношение к регулярной проверке здоровья на предмет разрушительного действия времени и жестокости биологии. Я – техно-оптимист до мозга костей. Но, создавая образы нашего мира для своих читателей, я сам задавался вопросом: а действительно ли я верю в магию технологий так сильно, как заявляю?

Действительно ли я верю, что знаний, полученных за 150 лет изучения генетики, будет достаточно, чтобы изменить миллиарды лет нашей эволюционной биологии? Буду ли я готов поставить на то, что генетические изменения,

которые сделают моего будущего ребенка умнее и сильнее, также обеспечат ему более счастливую жизнь? И как знаток истории, смогу ли я быть уверенным в том, что генетически усовершенствованные люди не будут использовать свои новые качества для доминирования над остальными, как это всегда происходило в колониальных державах? А как сын беженца из нацистской Европы буду ли я готов принять идею, что родители не просто могут, но и должны выбирать и конструировать собственных детей, основываясь на недостаточно изученных генетических теориях?

Какими бы ни были ответы, точно ясно лишь одно: после 4 миллиардов лет эволюции по одним правилам наш вид уже начинает развиваться по другим.

В опережающем время романе 1865 года «С Земли на Луну» французский романист Жюль Верн описал экипаж из трех человек, который запускает себя на снаряде на Луну, а затем возвращается обратно на парашюте. В 1865 году это была чистая фантастика. И сейчас – век спустя – технологий, способных доставить человека на Луну, очень мало. Воображать высадку на Луну в 1865 году – все равно что сейчас представлять приземление в другой звездной системе. Когда-то это может случиться, но пока что мы не знаем как. Наука еще не дошла до этого уровня.

Сто лет спустя, в 1962 году, президент США Джон Ф. Кеннеди поднялся на трибуну в Хьюстоне и произнес свою знаменитую речь о том, что к концу десятилетия Соединен-

ные Штаты отправят человека на Луну. Президент Кеннеди рискнул поставить под угрозу доверие к США на пике холодной войны, поскольку в 1962 году уже существовали почти все технологии для успешного приземления на Луну: ракеты, теплозащитные экраны, системы жизнеобеспечения и компьютеры, способные выполнять сложные математические вычисления. Кеннеди не предсказывал отдаленное будущее, как Жюль Верн, и не придумывал фантастическую историю. Он делал четкие умозаключения, опираясь на существующие технологии, которые требовали незначительных доработок. Почти все уже было готово, неизбежность события была очевидной. Оставался лишь вопрос времени. Семь лет спустя Нил Армстронг сошел с лестницы «Аполлона-11», сделав «один маленький шаг для человека и огромный скачок для человечества».

Если говорить о генетической революции, то сейчас она находится в состоянии 1962 года, а не 1865-го. Разговоры о трансформации нашего вида – больше не спекулятивная фантастика, а вполне логическое продолжение современных и быстрорастущих технологий, которые существуют уже сейчас. У нас есть все необходимые инструменты для изменения генетического генома нашего вида. Наука уже готова. Реализация этого сценария неизбежна. Остаются лишь две переменные: произойдет ли это в течение ближайших десятилетий или позже и какими критериями мы будем руководствоваться, направляя развитие технологии.

Мало кто знает о законе Мура, в котором говорится, что вычислительная мощность компьютера удваивается каждые два года, но все мы ощутили его влияние. Ведь именно поэтому мы ждем, что каждая новая версия смартфонов и ноутбуков будет легче и мощнее. Так что, вполне очевидно, должен существовать эквивалент закона Мура, применимый к пониманию и изменению всей биологии, включая нашу.

Мы начинаем понимать, что наша биология – это еще одна система информационных технологий. Мы узнали, что наследственность – не магия, а все более понятный, читабельный и перезаписываемый код, который можно взломать. Именно поэтому со временем мы начнем предъявлять к себе те же требования, что и к другим информационным технологиям. Мы все чаще начнем считать себя *информационной технологией*.

Вполне понятно, что такая идея пугает многих. Вместе с тем она должна воодушевлять нас, поскольку дает нам невероятные возможности для улучшения жизненно важных процессов. Вне зависимости от нашего с вами отношения генетическое будущее наступит куда раньше, чем мы будем к нему готовы, и строиться оно будет на уже существующих технологиях.

На старте мы начнем использовать существующие технологии экстракорпорального оплодотворения (ЭКО) и осознанного отбора эмбрионов не только для отсеивания простейших генетических заболеваний и выбора пола, как это

делают сейчас, но и для подбора, а затем и обширного изменения генетики наших будущих детей.

Вторая фаза, пересекающаяся с первой, пойдет еще дальше, увеличив количество яйцеклеток, пригодных для ЭКО. Это станет возможным благодаря индукции большого количества взрослых клеток (клеток крови или кожи) в стволовые клетки, которые превратятся в ооциты – а уже они будут развиваться в полноценные яйцеклетки.

Если – и когда! – этот процесс станет безопасным для человека, женщины, прошедшие через процедуру ЭКО, смогут оплодотворить не 10–15 своих яйцеклеток, а сотни. Вместо скрининга небольшого количества эмбрионов будущие родители смогут проверять сразу сотни и тысячи, дополняя процесс отбора аналитикой больших данных.

Кроме того, многие родители заинтересуются возможностью не только отбора, но и генетической модификации своих будущих детей. Технологии редактирования генов существуют уже давно. Но такие недавние инструменты, как CRISPR-Cas9, позволят еще более точно, быстро, гибко и доступно изменять генетику любого вида, включая наш. С точки зрения науки, технологии, подобные CRISPR, позволяют наделить эмбрионы новыми признаками и возможностями, внедряя в них ДНК других людей, животных и, может когда-нибудь в будущем, – и синтетических источников.

Как только родители поймут, что искусственное оплодотворение и отбор эмбрионов позволяют исключить риск

возникновения многих генетических заболеваний и могут использоваться для культивации положительных признаков (например, высокий уровень интеллектуального развития, большая экстраверсия или эмпатия), увеличится количество желающих зачать ребенка вне матки женщины. Многие придут к выводу, что зачатие через секс сопряжено с опасным и ненужным риском. Правительства и страховые компании начнут агитировать будущих родителей пользоваться ЭКО и отбором эмбрионов. Это позволит им избежать затрат на оплату дорогостоящего и пожизненного лечения генетических заболеваний, которые можно было предотвратить.

При любом сочетании двигателей прогресса и первопроходцев крайне маловероятно, что наш вид откажется от развития технологий, способных искоренить ужасные болезни, улучшить наше здоровье и увеличить продолжительность жизни. Несмотря на любые недостатки, мы радушно принимаем все технологии, обещающие улучшить нашу жизнь, — будь то взрывчатые вещества, атомная энергия, анаболические стероиды или пластическая хирургия. Сама идея изменять наши гены требует крайней степени рассудительности. Но мы были бы совсем другим видом, если бы в своих помыслах руководствовались рассудительностью, а не амбициями.

С таким инструментарием мы захотим искоренить генетические заболевания как можно скорее, изменяя и улучшая в среднесрочной перспективе другие способности и, возмож-

но, в будущем готовя себя к жизни на более жаркой Земле, в космосе или на других планетах. Со временем освоение способов генетической модификации человека начнут рассматривать как величайшее достижение в истории нашего вида, как ключ к раскрытию невообразимого потенциала и совершенно нового будущего.

Но все это не делает процесс менее шокирующим.

По мере того, как революция будет набирать ход, не все будут спокойно реагировать на генетические изменения – в силу идеологических или религиозных убеждений, реальных или эфемерных опасений о безопасности. Жизнь – это нечто большее, чем наука или код. Она полна тайн и случайности, а для некоторых – еще и духовности.

Если бы мы жили, в идеологически однородном мире, переход был бы сложен. Но там, где различия во мнениях и убеждениях столь велики, а уровни развития так разнообразны, у геной инженерии есть все шансы обернуться катастрофой, если, конечно, мы не будем достаточно осторожны.

Нам нужно задать себе ряд фундаментальных вопросов и разобраться в своих ответах на них. Будут ли эти технологии использоваться для развития или подавления человеческих качеств? Станут ли научные инновации доступны лишь ограниченному кругу привилегированных лиц, или же мы научимся использовать технологические новшества, чтобы уменьшать страдания, культивировать многообразие и улучшать здоровье и благосостояние, всех людей? За кем будет

закреплено право принимать коллективные и индивидуальные решения, которые впоследствии могут повлиять на весь генофонд человечества? Какой процесс (и нужен ли он вообще) следует наладить, чтобы принимать наилучшие коллективные решения, выбирая будущую траекторию развития нас как одного или нескольких видов?

На эти вопросы нет простых ответов, однако каждый из нас должен быть частью этого процесса. Мы должны увидеть в себе президента Кеннеди, который, выходя на трибуну в Хьюстоне в 1962 году, готовился выступить с речью о будущем человечества в свете стремительного развития генетики и биотехнологий. Наши коллективные ответы, отшлифованные обсуждениями, организациями, гражданскими движениями, политическими структурами и международными организациями, определяют нас самих, наши ценности и то, как мы будем двигаться вперед. Но чтобы стать частью процесса, нам нужно как можно скорее разобраться в проблеме.

– Мистер Метцль, вас готовы принять, – зовет меня администратор. Я слегка трясую головой и поднимаю взгляд, чувствуя, что мое волнение никуда не исчезло. Открывается дверь в коридор. Я медленно поднимаюсь, на мгновение замираю, а затем делаю решительный шаг вперед.

Я написал эту книгу, чтобы поделиться своим мнением: хотя генетическая революция человечества стремительно приближается и неизбежна, то, *как* она произойдет, еще *неизвестно* и во многом зависит от нас. Для принятия самых

разумных коллективных решений о нашем будущем важно понять, что именно происходит и что на кону, и привлечь к обсуждению как можно больше участников. Моя книга – это скромная попытка запустить процесс.

Эта дверь открыта для каждого из нас. Нравится нам это или нет, но мы все идем к ней. И будущее нас уже ждет.

Глава 1

Дарвин встречает Менделя

– Поднимите руку, если вы собираетесь заводить ребенка не раньше, чем через 10 лет, – говорю я огромной аудитории миллениалов, которые собрались в шикарном конференц-зале в Вашингтоне. Примерно половина зала поднимает руку.

Вот уже 45 минут я поэтично расписываю то, как грядущая генетическая революция изменит способ зачатия и саму природу зарождающейся жизни. Я уже объяснил, почему считаю неизбежным тот факт, что наш вид с радостью примет генетически улучшенное будущее, и почему это событие одновременно захватывающее и пугающее. Обсудили мы и то, что, на мой взгляд, необходимо сделать уже сейчас, чтобы повысить эффективность революционных технологий и минимизировать вред.

– Если вы подняли руку и ваш пол – женский, то вам следует заморозить яйцеклетки. Если вы подняли руку и ваш пол – мужской, то настоятельно советую заморозить сперму как можно скорее.

Аудитория смотрит на меня с подозрением.

– Не важно, насколько вы молоды и фертильны, – продолжаю я, – существует определенная вероятность того, что за-

чатие своего ребенка вы совершите в лаборатории. Так почему бы не заморозить свой биоматериал, пока вы на пике?

По лицам этих амбициозных молодых специалистов проходит волна возмущения. Я уже чувствую, как назревает конфликт. Десятилетиями я задавался тем же вопросом, что и они: как отыскать баланс между изумительным чудом и грубой жестокостью нашей биологии?

Мы все рождаемся в ходе процесса, соизмеримого с настоящим чудом, а затем сразу же приступаем к непрерывной и заведомо проигрышной войне со временем, болезнями и силами природы. Нас привлекает все естественное, но нашему виду свойственны бесконечные попытки укротить природу. Мы хотим, чтобы дети от природы рождались здоровыми, но нет предела тому, как далеко родители зайдут в борьбе с природой, чтобы излечить ребенка от болезни.

Молодая девушка в синем брючном костюме поднимает руку.

– Вы только что объяснили, в каком направлении, по вашему мнению, движется генетическая революция, и как нам следует к ней готовиться. А что насчет вас? Будете ли вы генетически изменять своих детей?

Я впал в ступор от неожиданности. Я так долго пишу и рассказываю людям о будущем репродукции человека, но почему-то никто ни разу не задал мне этого вопроса.

У меня не было четкого ответа на вопрос этой девушки, поэтому я перевел взгляд вверх, призадумавшись.

Наука о человеческой генетике так быстро продвинулась вперед, что все мы до сих пор пытаемся ее догнать. В 1953 году, когда Джеймс Уотсон, Фрэнсис Крик, Розалинд Франклин и Морис Уилкинс открыли двойную спираль ДНК, они показали, что инструкция к нашей жизни по форме своей похожа на винтовую лестницу. Понимание процедуры секвенирования генов четверть века спустя доказало, что эту инструкцию можно прочесть и, что куда важнее, понять. А разработка инструментов для точного редактирования генома несколькими десятилетиями позже позволила ученым написать и перезаписать код жизни. Читательный, переписываемый, взламываемый – научные достижения последней половины столетия превратили биологию в еще одну разновидность информационных технологий, а люди, которые считались существами, неподдающимися расшифровке, стали биологическими носителями программного обеспечения с исходным кодом.

Интерпретация генетики с точки зрения информационных технологий позволила нам увидеть генетические вариации и мутации, приводящие к ужасным болезням и страданиям, которые, с одной стороны, являются необходимой платой за эволюционное разнообразие, а с другой – раздражающим сбоем в работе компьютерной программы. Продолжу метафору: разве кто-то откажется получить все доступные обновления, позволяющие системе работать без сбоев?

Ход моих мыслей замедляется. Взгляд снова сосредото-

чен.

– При уверенности в том, что это безопасно и я смогу убедить ребенка от ужасных страданий, – продолжил я, прохаживаясь по сцене, – я бы пошел на это. Если бы я по-настоящему верил, что помогу моему ребенку прожить более долгую, здоровую и счастливую жизнь, то я бы согласился. А если бы стоял вопрос, наделить ли мне своего ребенка особыми возможностями, которые позволили бы ему добиться успеха в мире, полном конкуренции из таких же обладателей улучшенных возможностей, то я бы как минимум серьезно это обдумал. А как бы поступили вы?

Девушка качнулась на стуле.

– Сложно сказать. Я понимаю вашу точку зрения. Но что-то в этом всем кажется противоестественным, – отвечает она.

– Позвольте немного уточнить, – говорю я в ответ. – Что вы подразумеваете под *естественностью*?

– Наверное, все в первозданном виде... до того, как было изменено человеком.

– А сельское хозяйство – это естественно? – спрашиваю я. – Мы занимаемся им не более 12 000 лет.

– И да, и нет, – осторожно отвечает девушка. Она начинает понимать, что естественность – это весьма размытое и двусмысленное понятие.

– А насколько естественна органическая кукуруза? Вернитесь на 9000 лет назад, и вы не найдете ничего, хотя бы от-

даленно похожего на современную кукурузу. Вам встретится дикорастущая трава под названием *теосинте* с несколькими свисающими с нее вялыми початками. Добавьте сюда тысячелетие активных изменений со стороны человека, и вы получите прекрасного желтого великана, украшающего наши столы на пикниках. Большая часть потребляемых нами фруктов и овощей, даже самых органических, из *Whole Foods*, появилась в результате нашей тысячелетней целенаправленной селекции. Так являются ли они естественными?

– Это двоякая ситуация, – согласилась девушка, не желая расставаться со своей первоначальной концепцией о естественности.

– Может, для нас естественнее жить обществом охотников и собирателей, как наши предки?

– Возможно.

Я не хотел больше давить на нее, но мне нужно было донести свою главную мысль.

– Вы бы хотели так жить?

Озорная улыбка отразилась на ее лице.

– А обслуживание в номерах включено?

– Итак, вы в отеле *Four Seasons* и получаете ужасную бактериальную инфекцию, – продолжаю я. – Что вы выберете: чтобы вас лечили, как десятки тысяч лет назад, с помощью обрядов и ягод или антибиотики, которые могут спасти вашу жизнь?

– Я за антибиотики, – отвечает девушка.

– Они естественны?

– Я поняла вас.

Я окинул взглядом зал.

– У всех нас есть укоренившиеся представления о том, что считать естественным. Хотя на деле большая часть таковым и не является. Может, некоторые вещи мы знаем из недавнего прошлого, но человечество тысячи лет агрессивно меняло окружающий мир. Однако, если мы так долго пытались изменить различные системы, включая биологическую, можно ли считать биологию, унаследованную от родителей, нашей судьбой? Есть ли у нас право или даже обязанность устранять сбои и ошибки в программном коде нашего тела и тел наших детей?

Слушатели забеспокоились.

– Представьте, что у вашего будущего ребенка страшная болезнь. Вы знаете, что от нее умирают. Поднимите руки те из вас, кто готов отправить ребенка на операцию, чтобы спасти его жизнь? – продолжаю я.

Руки подняли все.

– А если бы можно было предотвратить возникновение болезни, то вы бы на это пошли?

Никто не опустил руку.

– Не опускайте руку, если бы вы прибегли к ЭКО и эмбриональному скринингу, чтобы убедиться в безопасности будущего ребенка.

Руки все еще подняты.

– А как насчет одного генетического изменения, пока эмбрион еще не был имплантирован в тело матери?

Несколько рук опустились.

Я повернулся к молодому человеку, который опустил руку. Это был стильно одетый парень 20 с небольшим лет, будто сошедший с обложки каталога *L.L. Bean*.

– Можете объяснить почему?

– Кто мы такие, чтобы программировать собственных детей? – говорит он. – Это скользкая дорожка. Если мы начнем, как мы пойдем, когда нужно остановиться? В итоге мы можем закончить Франкенштейнами. Такая перспектива меня пугает.

– Сильный аргумент, – говорю я. – Вы и *должны* пугаться этой перспективы. Если вы не ощущаете смесь страха и возбуждения, значит, не до конца во всем разобрались. Генетические технологии позволят нам создавать удивительные вещи, которые облегчат человеческие страдания и создадут возможности, о которых мы не смели даже мечтать. С помощью этих возможностей новые версии нас, *Homo sapiens 2.0* и выше, научатся изобретать новые технологии, изучать другие миры, создавать выдающиеся произведения искусства и испытывать более широкий спектр эмоций. Но если мы где-то ошибемся, то эти же технологии могут разобщить общество, создать дискриминационную иерархию между обычными и модернизированными людьми, отрицательно сказаться на разнообразии, подвести нас к обесцениванию и то-

варизации человеческой жизни. И даже стать причиной серьезных национальных и международных конфликтов.

– А кто решает, к чему все идет? – спрашивает у меня другая девушка.

– Это – самый важный и животрепещущий вопрос, который мы – отдельные индивиды и целые группы – будем задавать себе многие годы, – осторожно продолжаю я. – Наш ответ определит, кто мы и что мы за люди, где мы живем и можем жить, какие открываются возможности для нас, как отдельных людей и целого вида.

Слушатели в аудитории заерзали на стульях. Я буквально чувствовал, как уровень напряжения в зале стремительно растет.

– Именно нам предстоит разобраться, что с этим делать. Поэтому сегодня я обращаюсь к вам. В течение следующих нескольких лет наш вид в целом будет принимать фундаментальные решения о будущем генетики. Какие-то решения, как, например, издание законов, будут приниматься на социальном уровне. Однако многие важнейшие решения будут зависеть от отдельных индивидов. Например, каждый из нас волен решать, как именно зачать ребенка. Каждый индивид и пара по отдельности не почувствуют, будто определяют будущее человечества. Но наше общее решение отразится на нашем будущем.

Уже привычная мне смесь страха, изумления и непонимания озаряет лица присутствующих.

Затем, как всегда, в воздух взмывают поднятые руки.

Сегодняшние слушатели начинают осознавать и ощущать гигантскую ответственность, возложенную на нас этим историческим моментом. Так же, как ее ощущали и участники всех моих конференций: и семиклассники, с которыми я общался в Нью-Джерси, и крупные игроки с интеллектуальных конференций *Google Zeitgeist*, *Tech Open Air* и *South by Southwest*, и эксперты из *Exponential Medicine* и Нью-Йоркской академии наук, и студенты юридических факультетов Стэнфорда и Гарварда, и ученые, студенты и бизнес-элита со всего мира.

Это ответственность, которая приходит в переломный момент истории нашего вида, когда биология и технологии переплетаются, как никогда раньше, и радикально меняют самые священные догмы и традиции. Эти миллениалы из Вашингтона, как и все слушатели до них, начинают осознавать, что будущее генетических модификаций человека сводится не только к изменению какой-то части генов и у себя, и потомков, но и к созданию совершенно нового будущего для нашего вида.

Чтобы понять, куда идти дальше, необходимо сделать шаг назад и разобраться с тем, откуда мы пришли.

* * *

На протяжении первых 2,5 миллиарда лет жизни на Зем-

ле наши одноклеточные предки размножались «клонированием». Например, одна бактерия делилась на две отдельные бактерии с одинаковым набором генов, а затем процесс повторялся. Это был отличный способ репродукции, поскольку вам не нужно было тратить время и энергию на поиски партнера. Все, что от вас требовалось, – найти еду и разделиться, и ваш род продолжался. Отрицательной стороной клонирования являлось то, что такое размножение приводило к генетическому однообразию в сообществе одноклеточных организмов и ограничивало естественный отбор.³

Стоит сказать, что однообразие было непостоянным. Бактерии развились таким образом, что могли буквально захватывать чужие гены с помощью микроскопических гарпунов, которые называются *ворсинками*, или *пили*⁴. Несмотря на то что клонирование помогало бактериям передавать полезные мутации, оно также бывало опасным для колоний (например, при появлении поражающих бактерии вирусов), поскольку клонированные особи сохраняли слишком много одинаковых дефектов в защитных механизмах. Многие из-

³ Около 3,5 миллиарда лет назад первые одноклеточные микробы разделились на две ветви: бактерии и археи. Некоторые биологи выделяют еще и третью ветвь – эукариоты.

⁴ Ознакомиться с красочной визуализацией этого процесса можно в работе Courtney K. Ellison, Triana N. Dalia, Alfredo Vidal Ceballos, Joseph Che-Yen Wang, Nicolas Biais, Yves V. Brun, Ankur B. Dalia. *Retraction of DNA-Bound Type IV Competence Pili Initiates DNA Uptake during Natural Transformation in Vibrio Cholerae* // *Nature Microbiology*. – 2018. – doi:10.1038 /s41564-018-0174-y.

менилось с появлением полового размножения.

Точные копии в биологии почти всегда несовершенны. Мы не можем указать точное время, однако палеонтологические ископаемые показывают, что около 1,2 миллиарда лет назад какой-то один из простейших организмов развил странную мутацию. Вместо того чтобы скопировать самого себя или получить несколько генов из других микроорганизмов, такие особи спарились с другими микробами, и их потомство получило ДНК обоих родителей. Тогда и возникло половое размножение, которое невероятным образом расширило эволюционные возможности видов.

Для поиска партнера требовалось больше энергии, чем для клонирования себя. А сами потенциальные партнеры отсутствовали по определению. Искатели «второй половинки» должны были развить в себе новые, усовершенствованные способности для привлечения наиболее перспективных вариантов и конкурирования с соперниками. Но когда партнер находился, обе особи могли смешивать свои гены более полноценно и произвольно, что давало им огромное преимущество.

У организмов с половым размножением было больше генетических дефектов, чем у их клонирующихся собратьев. Зато возрастали и возможности для создания генетических преимуществ. Благодаря тому, что постоянно появлялись новые организмы с различными моделями полового размножения, оно позволяло видам быстрее адаптироваться к из-

меняющимся обстоятельствам, лучше справляться с защитой от хищников и добычей пропитания, а также ускорять процесс эволюционных изменений. Вся наша эволюционная история состоит из таких зачастую случайных генетических мутаций и вариаций, породивших множество новых признаков, самые полезные из которых распространились внутри вида. Вооружившись генетическими различиями, наши предки конкурировали друг с другом и с окружающей средой в процессе, который Дарвин назвал *естественным отбором*.

Со временем сам процесс полового размножения столкнулся с эволюционным давлением, на которое живые существа отреагировали по-разному. Некоторые, например современный лосось, начинали откладывать как можно больше икры – в надежде, что какие-то икринки успеют оплодотвориться. Откладывание тысяч икринок в ямки на дне рек повышало шансы, что хоть какие-то из них успеет оплодотворить самец. Однако этот способ размножения не предусматривает родительской заботы о потомстве.

Чтобы вы ни думали о своих родителях, сама возможность заботы о потомстве является очень важным эволюционным преимуществом. Другие особи (в том числе наши более современные предки) предпочитали не откладывать икру наружу, а до оплодотворения хранить яйца внутри женского организма. Сами эмбрионы вынашивались внутри самок. Если представить половое размножение в виде игры в казино, то особи, похожие на лосося, ставили бы фишки на каждую

цифру, а существа, подобные нам, выбирали бы несколько одинаковых чисел. Производя меньше потомков, чем другие млекопитающие, и удерживая их рядом с домом, наши предки активно содействовали взрослению новых поколений. Это означало, что наши дети развивали навыки, недоступные для малька лосося, который вылуплялся из икринки и сразу был предоставлен самому себе.

Половое размножение активно способствовало разнообразию, создавая плацдарм для непрерывной эволюционной гонки. Когда в этой гонке побеждал лосось, он мог активно размножаться, производя потомство в большом количестве. В то же время лосось никак не участвовал в заботе о детях, поскольку его отпрыски быстро разбегались. Мы же, наоборот, защищали свое уязвимое потомство сразу после рождения, позволяя растущему мозгу развиваться, и ухаживали за детьми, обучая их новым навыкам. Способность к уходу за потомством была заложена в нашей природе эволюционно. Побеждая в этой гонке, мы смогли создать цивилизацию.

«Встроенный» половой инстинкт гарантировал, что наши предки продолжали размножаться, даже не до конца понимая, что происходит, – как минимум на техническом уровне. Древние цивилизации приписывали магию деторождения богам, но наши пытливые умы были настроены на то, чтобы еще глубже понять мир вокруг. На протяжении тысячи лет прогресс в изучении биологии шел очень медленно. Но затем с развитием философии и инструментов научной

революции наши знания стали стремительно углубляться.

* * *

В 1677 году окрыленный голландец Антони ван Левенгук вспорхнул с постели. Изобретатель микроскопа, на порядок превосходившего прежние, уже самостоятельно изучил телесные жидкости: кровь, слюну и слезы. В этот раз он решил привлечь к эксперименту жену. После полового акта Левенгук поместил часть своего эякулята под микроскоп и в удивлении увидел, как «семенные зверьки» извивались, «будто угри, плавающие в воде»⁵. Но какую же роль, гадал ученый, выполняли эти изворотливые зверьки?

По бытовавшему тогда убеждению, которое дошло до Европы от древних греков, в мужском семени содержались го-мункулы – маленькие человечки, которые ждали момента для того, чтобы начать расти. Согласно этой гипотезе, женское тело подобно почве, в которой прорастают семена. По другой теории, в женской яйцеклетке живет мини-копия человека, а мужская сперма стимулирует ее рост. Третья группа, состоящая в основном из малообразованной прослойки населения, полагала, будто жизнь зарождается спонтанно – как мухи, появляющиеся в тухлом мясе.

⁵ Priya Verm. *Reproduction and the Discovery of Sperm // Elawoman*. URL: <https://elawomn.quora.com/Reproduction-and-the-Discovery-of-Sperm> (дата обращения: 25 июня 2018 года).

В XVIII веке выдающийся католический священник из Италии Ладзаро Великолепный Спалланцани, чтобы проверить свою гипотезу о размножении, провел гениальный эксперимент. Он сшил из тафты крошечные лягушачьи трусы, которые не позволяли самцам лягушек передавать свои «жидкости». Сегодня каждый подросток узнает это на уроках полового воспитания, однако в XVIII веке новость о том, что самки лягушек не могут забеременеть, если мужская сперма задерживается в трусах, стала настоящей сенсацией. Когда Спалланцани искусственно осеменил самок лягушек спермой самцов, те смогли забеременеть. Теперь стало понятно, что в сперме содержится необходимый компонент, который нужен, чтобы женские особи могли завести потомство⁶. *Великолепно!* Ученым понадобилось еще 100 лет, чтобы догадаться, что в оплодотворение мужские и женские половые клетки вносят одинаковый вклад.

Новые знания о процессе зачатия и деторождения соединились с интуитивным, но не до конца понятым осознанием наших предков – наукой о наследовании.

* * *

Тысячу лет наши предки пытались понять, как работа-

⁶ F. Gilbert. *Structure of the Gametes// Developmental Biology*. – 6 Edition. – Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2000. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10005/>.

ет наследственность. Каждый раз, когда у высокого мужчины и высокой женщины рождался высокий ребенок, они получали подсказку. Если же у высокого мужчины и высокой женщины рождался низкорослый ребенок, ученые, должно быть, удивлялись. Да и мужчина, скорее всего, недоверчиво косился в сторону шустрого и низкорослого Казановы из соседней пещеры. Наши предки использовали эти ограниченные знания о наследственности, чтобы изменять окружающий мир.

Например, кочующие охотники-собиратели стали замечать, что некоторые волки, копающиеся в мусоре, были дружелюбнее своих сородичей. И примерно 15 000 лет назад где-то на просторах Центральной Азии кочевники начали сводить этих дружелюбных волков между собой. В результате появились собаки. Нетронутая человеком природа вряд ли бы смогла своими силами превратить гордого волка в чихуахуа. Но наши предки поспособствовали созданию совершенно нового подвида.

Аналогичным образом люди одомашнивали и растения. После отступления ледников около 12 000 лет назад наши предки взялись за выращивание самых полезных растений, которые находили в природе⁷. Задолго до того, как *Monsanto*

⁷ Некоторые антропологи считают, что люди начали одомашнивать культуры около 23 000 лет назад. См. Ainit Snir, Dani Nadel, Iris Groman-Yaroslavski, Yoel Melamed, Marcelo Sternberg, Ofer Bar-Yosef, Ehud Weiss. *The Origin of Cultivation and Proto-Weeds, Long Before Neolithic Farming // Plos One 10*. – No. 7 (2015). – doi:10.1371 /journal.pone.0131422.

начала генетически модифицировать семена, наши предки заметили, что одни растения качественно отличались от других и несли больше желаемых признаков. Древние люди заметили: если они выращивали семена от таких растений, в следующем поколении чаще присутствовал желаемый признак. Все следующее тысячелетие это селекционное разведение использовали, чтобы превратить дикорастущие культуры в то, что сегодня мы знаем как пшеницу, ячмень и горох с Ближнего Востока, рис и просо из Китая, а также тыкву и кукурузу из Мексики. А поскольку люди по всему миру сами замечали эффект от одомашнивания и селекции растений и животных либо узнавали об этом от других, мы все больше интересовались природой наследственности.

Наши предки знали, как получить наследуемые признаки, но мало разбирались в механике этого процесса. Веками многие великие мыслители, включая Гиппократ и Аристотеля в Древней Греции, Чараку в Индии, Абу аль-Касима аз-Захрави и Иегуды Галеви из исламской Испании, выдвигали гипотезы о человеческой наследственности, но никто так и не понял процесса.

В 1831 году английский исследователь с незаурядной любознательностью отправился в пятилетнюю исследовательскую экспедицию по берегам Африки, Южной Америки, Австралии и Новой Зеландии. Увлеченный наблюдатель Чарльз Дарвин тщательно изучал окружающую среду. В ходе экспедиции он собрал огромную коллекцию образцов и сохранил

подробные записи. Вернувшись в Англию в 1836 году, ученый провел следующие 23 года, одержимо изучая свои находки и обдумывая всем известную гипотезу о развитии организмов. Дарвин понимал, что его теория пошатнет христианские догматы, поэтому хотел убедиться в своей правоте до публикации работ. В 1859 году Дарвин наконец-то публикует книгу «Происхождение видов путем естественного отбора», узнав, что его конкурент с удивительно схожими идеями решил поделиться ими с общественностью.

В этом гениальном шедевре Дарвин описывает свою теорию о том что все формы жизни связаны, а различные виды появляются благодаря небольшим изменениям в наследуемых признаках в ходе процесса, который он назвал *естественным отбором*. Виды, наделенные признаками, которые дают преимущества в конкретной среде, со временем процветают и размножаются активнее, чем их сородичи с менее полезными признаками. Изменение среды в ходе нескончаемого процесса адаптации и эволюции отбора оказывает разное давление на разные признаки. Самый благоприятный признак в одной среде может стать уязвимостью в другой – и наоборот. Дарвин безупречно изложил свою теорию эволюции, однако мало знал о работе наследственности на молекулярном уровне. Разгадать эту тайну смог другой гений.

К моменту, когда Дарвин опубликовал свою величайшую работу, монах-августинец Грегор Мендель весь свой аналитический ум, свободное время и умение скрупулезно вести

записи приложил к тому, чтобы понять, как именно признаки передавались между поколениями.

В 1843 году выдающийся сын крестьянина Мендель поступил в Августинский монастырь св. Фомы в Брно (ныне Чешская Республика). Он сразу же проявил активный интерес к работе других монахов, которые пытались понять механизм передачи признаков у овец. Оценив способности Менделя, настоятель отправил молодого Грегора изучать физику, химию и зоологию в Венский университет. Вернувшись из университета, Мендель убедил аббата предоставить ему свободу действий для проведения еще более амбициозных экспериментов. В период с 1856 по 1863 год Мендель вырастил свыше 10 000 растений гороха 22 различных сортов и тщательно записал, как различные признаки передавались от родительских особей потомству, выводя законы наследственности, которые не потеряли своей актуальности и в наши дни.

Во-первых, как проследил Мендель, каждый наследуемый признак определяется парой генов, по одному от каждого родителя. Во-вторых, каждый признак формируется при объединении двух генов этого признака и независимо от других признаков. В-третьих, если в генной паре присутствует два разных гена одного и того же признака, то одна из форм всегда будет доминантной. Эти революционные открытия Мендель опубликовал в своей выдающейся работе 1866 года «Опыты над растительными гибридами», а затем... тишина.

Работу Менделя, которую изначально опубликовали в мало читаемом журнале *Proceedings of the Natural History Society of Brünn*, заметили лишь немногие ученые. Таким образом, выдающиеся труды Менделя остались без внимания.

Но когда другие ученые, изучавшие природу наследственности в 1900 году, наткнулись на потрепанные копии удивительных открытий Менделя, семя генетики нашло новую почву. Десятью годами позже американский биолог Томас Хант Морган доказал, что гены, описанные Менделем, объединяются в структуры молекул под названием *хромосомы*. В течение следующих десятилетий ученые показали принципы работы генетики у разных организмов. Менделевская генетика стала фундаментом, лежащим в основе всей жизни. В сочетании с дарвиновской эволюцией она подарила нам ключи, нужные для расшифровки и дальнейшего изменения всей биологии, включая нашу собственную.

* * *

Весь генетический код состоит из очень длинных цепей дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которой зашифрованы клеточные инструкции для производства белков. У всех видов с половым размножением (включая нас) есть две цепочки ДНК в ядрах почти всех клеток (кроме эритроцитов, у которых нет ядра) – по одной от матери и отца. Если бы мы были пирогом, то каждый из наших родителей вкла-

дывался бы вполосину в каждый ингредиент.

Но наша ДНК состоит не из муки, сахара или пищевой соды, а из четырех типов молекул под названием *нуклеотиды*. Эти нуклеотидные основы называются *гуанин*, *аденин*, *тимин* и *цитозин*. Однако чаще всего их записывают по первым буквам: Г, А, Т или Ц. Пары Т и А, Г и Ц связываются вместе, подобно поездам, идущим по параллельным путям и едва касающимся друг друга. Порядок поездов, или последовательность ДНК, которую мы называем *генами*, создает уникальный набор инструкций для производства белков. Эти инструкции доставляются в клетки через особого проводника – *рибонуклеиновую кислоту* (РНК). Белки – настоящие клеточные «актеры», способные сыграть нужную роль: превратиться в определенный тип клетки, формировать структуру и регулировать работу органов и тканей, вызывать химические реакции или даже расти.

Обычно наши человеческие гены упакованы в 23 пары ДНК-цепочек внутри клеток – хромосомы, а каждая хромосома отвечает за определенный набор функций в организме. Внутри людей сокрыта примерно 21 000 генов и 3,2 миллиарда пар оснований – участков генома, создающих полный набор генов в организме. В каждой паре оснований Г соединяется с Ц, а Т – с А.

Ключевые гены в нашем организме, как правило, предоставляют клеткам инструкции для производства белков. Но около 99 % всей ДНК в кодировании белка не участвует ни-

как. Такие гены раньше назывались *мусорной ДНК* ведь, по мнению ученых, они не выполняли значимых биологических функций. Сегодня же их можно считать игроками на скамейке запасных, которые подбадривают, подсказывают и направляют свою команду на поле. Эти некодирующие гены играют важную роль, управляя созданием определенных РНК-молекул, которые передают инструкции от генов к клеточному ядру и регулируют экспрессию генов, кодирующих белки.

Каждая наша клетка, обладающая ядром, содержит чертеж всего нашего тела. Но если бы каждая клетка пыталась создавать всего человека, результат оказался бы плачевным. Вместо этого нашу генетическую ДНК регулирует особый процесс – *эпигенетика* которая определяет, какие именно гены экспрессируются. Например, в клетках кожи можно найти схему строения клеток печени и других типов, однако эпигенетические отметки заставляют такие клетки создавать именно кожу. Возвращаясь к аллегории с футболом, каждый игрок знает план игры, но выполняет только свою определенную роль – по команде⁸.

Именно поэтому одна клетка нашей оплодотворенной яйцеклетки может развиться в столь сложное существо, как человек. В этой единственной клетке содержатся инструкции для создания клеток любого типа. Однако сами клетки

⁸ Большую часть эпигенетических меток создают в зарождающемся организме с нуля. Однако недавнее исследование показало, что небольшой процент таких меток на самом деле наследуется от родителей. Поэтому ряд исследователей усомнился в общепринятой вере, что теории Жана-Батиста де Ламарка ошибочны.

постепенно дифференцируются и начинают выполнять свои собственные функции. Такие специализированные клетки не являются обособленными частицам. Это, скорее, четко выраженные составляющие во взаимосвязанной клеточной экосистеме. И точно так же, как наши органы взаимодействуют в нашем теле, гены влияют друг на друга внутри динамической системы нашего генома.

Все это кажется на редкость сложным. Так оно и есть. Поэтому нам потребовались сотни лет, чтобы понять, как работают системы, и до сих пор мы не дошли до половины. Но рецепт и понимание инструкций с природой ингредиентов критически необходимы, чтобы начать готовить пирог. Хотя ученые поняли, что гены – это алфавит жизни, им еще предстояло разобраться, что означала каждая буква, чтобы иметь возможность прочесть эту книгу.

Двойная спираль ДНК оказалась руководством из букв. Но что эти буквы гласили?

Полноценная расшифровка генома человека оказалась чрезвычайно сложной для людей задачей. К счастью, на помощь пришла техника. В середине 1970-х годов ученые из Кембриджа Фредерик Сенгер и Алан Коулсон придумали гениальный способ: нужно провести электрический ток через гель, чтобы разрушить геном клетки, окрасить фрагменты генома и рассортировать разные нуклеотиды по длине. Затем этот гель пропускали через специально разработанную камеру, чтобы считать генетические структуры. Этот ранний

процесс секвенирования генома был медленным и затратным. Однако он стал огромным скачком вперед.

Поняв, как автоматизировать этот процесс и улучшить считывание световых вспышек, проходящих по «буквам» ДНК, исследователи Ли Худ и Ллойд Смит смогли увеличить скорость и эффективность секвенирования, а также заложить основу для еще одного шага вперед. В 1988 году Национальный институт здравоохранения США запустил глобальную кампанию по активной разработке следующего поколения машин, секвенирующих ДНК, и она стала плацдармом для еще более амбициозных кампаний по расшифровке всего генома⁹.

Проект «Геном человека» – амбициозная попытка мировых ученых под руководством США секвенировать и создать карту первого генома человека – обошелся в 2,7 миллиарда долларов и длился целых 13 лет, его завершили в 2003 году. К этому времени частная компания, возглавляемая ученым и предпринимателем Крейгом Вентером, придумала альтернативный способ секвенирования генома – не столь масштабный, но более быстрый, чем правительственный вариант. Обе этих программы стали колоссальным скачком для человечества, и дальнейшее развитие не прекращалось. Появление таких компаний, как *Illumina* в Сан-Диего или *BGI-*

⁹ Почитать про техническую составляющую секвенирования ДНК можно в работе James M. Heather, Benjamin Chain. *The Sequence of Sequencers: The History of Sequencing DNA // Genomics* 107. – Vol. 1 (2016): 1–8. – doi:10.1016/j.ygeno.2015.11.003.

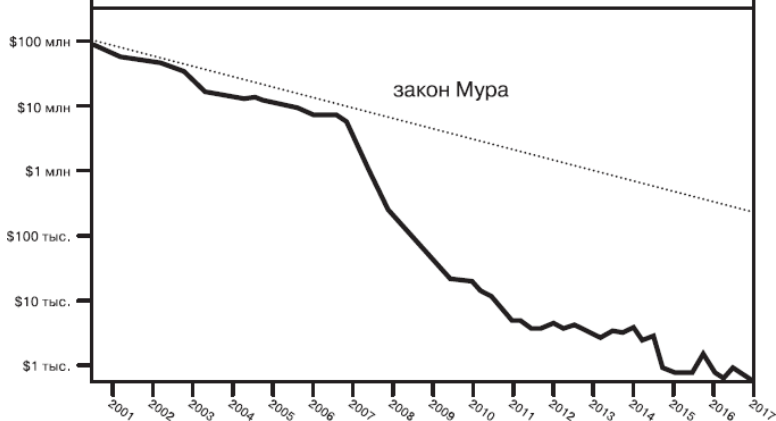
Shenzhen в Китае, превратило секвенирование генома в конкурирующую, быстро развивающуюся и многомиллиардную глобальную индустрию. Следующее поколение нанопоровых секвенаторов, которые под действием тока пропускают ДНК через крошечные отверстия в белках и считывают с них содержимое, как с телеграфной ленты, может стать еще большим революционным прорывом¹⁰.

По мере того, как технологии становились точнее и мощнее, их стоимость стремительно снижалась. График ниже показывает, как резко снизилась стоимость секвенирования генома за последние 15 лет.

¹⁰ John J. Kasianowicz, Sergey M. Bezrukov. *On Three Decades of Nanopore Sequencing // Nature Biotechnology*. – Vol. 34 (2016). – PP: 481–482.

Цена за геном

Стоимость секвенирования человеческого генома в сравнении со снижением цен на величину, предсказанную законом Мура для компьютерных микросхем. За прошедшее десятилетие следующее поколение секвенаторов и облачные вычисления снизили стоимость секвенирования. В последние годы средний ценовой показатель немного вырос, что связано с непродолжительным сокращением производства.



Источник: The Cost of Sequencing a Human Genome, NIH, дата последнего изменения 6 июля 2016 года, <https://www.genome.gov/27565109/the-cost-of-sequencing-a-human-genome/>.

Сегодня секвенирование всего генома выполняют за день, и оно стоит порядка 700 долларов. В начале 2017 года генеральный директор *Illumina* Фрэнсис де Souza объявил, что в недалеком будущем его компания планирует секвенировать целый геном за 100 долларов. По мере того, как стоимость секвенирования приближается к затратам на материалы, а само секвенирование оказывается все более доступным, за

меньшие деньги вы можете получить все больше данных. А поскольку геномика – это настоящий полигон для больших массивов данных, увеличение объема и удешевление данных заложат основу для важных открытий.

Но даже если секвенирование станет повсеместным, обыденным и бесплатным, это ничего не изменит, если ученые не научатся понимать язык геномов.

* * *

Если бы марсианка прилетела на Землю, желая выяснить, как люди структурируют информацию, ей бы пришлось узнать, что у нас есть определенные вещи, которые мы называем «книги». Затем ей пришлось бы понять, что такие книги состоят из страниц, которые заполнены словами, а те, в свою очередь, образуются из букв. Точно так же и мы узнали, что ДНК находится в генах, упакованных в хромосомы, кодирующие белки и инструктирующие клетки о дальнейших действиях. Если бы марсианка захотела понять, что сказано в книгах, ей пришлось бы разобраться, что означают слова и как их читать. Аналогично, когда ученые вывели основы организации генов, еще предстояло понять, чем на самом деле эти гены занимаются.

Хорошая новость заключается в том, что у ученых много козырей в рукаве. По мере того, как исследователи секвенировали геномы отдельных червей, мух, мышей и про-

чих сравнительно простых «модельных организмов», чтобы разобраться в общих биологических процессах, ученые пытались сопоставить различия между схожими типами организмов и непохожесть их генов. Сформулировав гипотезу, они стали выводить организмы с одинаковыми генетическими мутациями, чтобы выяснить, будут ли проявляться те же признаки у потомства. Со временем ученые научились включать и выключать различные гены в живых организмах и наблюдать, как в результате менялись отдельные признаки. Они использовали усовершенствованные вычислительные инструменты, чтобы анализировать взаимодействие генов, и проводили более масштабные исследования ассоциаций, чтобы обработать еще большие наборы генетических данных.

Даже если бы вся биология опиралась только на экспрессию генов, расшифровать наборы генетических данных было бы довольно трудно. Однако все намного сложнее. Сам по себе геном – это невероятно сложная экосистема, которая взаимодействует как с другими сложными системами внутри организма, так и с изменяющейся средой вокруг. Экспрессия одного гена приводит к проявлению только небольшого процента признаков или заболеваний. Большинство же из них обусловлено группой генов, работающих сообща и взаимодействующих с окружающей средой.

По сути, никто не знает точного числа, но было подсчитано, что в определении сложных признаков, например ин-

теллекта, веса и типа личности, играют роль сотни или тысячи генов. Они не работают в одиночку. Рибонуклеиновая кислота, или РНК, которая когда-то считалась проводником между ДНК и клеточным механизмом по производству белка, теперь признана важным участником экспрессии. Эпигенетические метки помогают определить, как гены делают это. На первых этапах изучения геномики понять, как эти перекрестные процессы влияют на сложные генетические признаки, было необычайно сложно. И все же обозначить сравнительно небольшой процент признаков и болезней, обусловленных мутациями одного гена, было немного проще.

Муковисцидоз, болезнь Гентингтона, мышечная дистрофия, серповидно-клеточная анемия, болезнь Тея – Сакса – все это примеры заболеваний, вызванных мутацией одного гена. Также они известны как *менделевские заболевания*, потому что четко следуют законам генетического наследования. Какие-то из этих заболеваний называются *доминантными*, поскольку в этом случае ребенку достаточно унаследовать только одну копию мутации от родителя с той же патологией. В случае же таких рецессивных патологий, как болезнь Тея – Сакса, ребенок должен унаследовать мутацию от обоих родителей. (В редких случаях люди с подобными мутациями не наследуют определенное заболевание, чаще всего потому, что эту мутацию сдерживают другие гены.) Из примерно 25 000 уже известных менделевских заболеваний

около 10 000 изучены на достаточном уровне, позволяющем связывать с проявлением определенного заболевания определенный ген¹¹. На сегодняшний день лечению поддаются лишь 5 % подобных мутаций.

Менделевские заболевания очень редки. Например, в Америке с муковисцидозом рождается только 1 из 13 000 детей, 1 из 10 000 наследует болезнь Гентингтона и 1 из 7250 мужчин наследует мышечную дистрофию Дюшенна. Один из 365 афроамериканских детей рождается с серповидно-клеточной анемией. Эта болезнь чаще проявляется в группах людей, чьи недалекие предки жили в районах, где многие болели малярией. Остальные менделевские заболевания встречаются с частотой один на миллионы или даже десятки миллионов людей¹²¹³. Многие из них приносят

¹¹ Статистика из онлайн-базы данных OMIM, дата последнего изменения – 24 июля 2018 года. URL: <http://www.omim.org/statistics/entry>.

¹² Небольшое число недавних исследований дает основания предполагать, что мутации, вызывающие риск возникновения менделевских заболеваний, есть у 15 % населения. Если это так, то данное открытие изменит нашу оценку опасности подобных мутаций и, возможно, увеличит поток инвестиций, направленных на изучение данных заболеваний и их потенциальное лечение. А поскольку при образовании сперматозоидов и яйцеклеток люди создают десятки дополнительных мутаций, возможно, хотя и менее вероятно, что менделевские заболевания начнут развиваться у детей, чьи родители не являлись носителями определенной мутации.

¹³ См. Jason L. Vassy et al. *The Impact of Whole-Genome Sequencing on the Primary Care and Outcomes of Healthy Adult Patients // Annals of Internal Medicine* 167. – No. 3 (2017). P: 159. – doi:10.7326/m17–0188; и P. Natarajan et al. *Aggregate Penetrance of Genomic Variants for Actionable Disorders in European and African*

ужасные страдания и ведут к преждевременной смерти. Но ввиду их редкости в поиск лекарств от этих заболеваний общество в целом инвестирует менее охотно, по сравнению с более распространенными, например раком, сердечными и легочными заболеваниями, которые затрагивают прослойки населения с большей численностью, гласностью и политическим весом. Хотя ряд новых исследований предполагает, что различные варианты менделевских генов могут играть большую роль в возникновении таких распространенных заболеваний, как метастатический рак предстательной железы, эти предварительные данные пока не смогли изменить ситуацию с финансированием¹⁴.

При таком большом количестве редких генетических заболеваний, которые вряд ли получат достаточно внимания и ресурсов, чтобы появились лекарства, родители и люди из группы риска, вдохновленные прорывами в генетических технологиях, стали самостоятельно искать способы защитить своих будущих детей.

Americans // Science Translational Medicine 8. – No. 364 (2016). – doi:10.1126/scitranslmed.aag2367.

¹⁴ Rachel D. Melamed et al. *Genetic Similarity between Cancers and Comorbid Mendelian Diseases Identifies Candidate Driver Genes // Nature Communications*. – No. 1 (2015). – doi:10.1038/ncomms8033.



Дети, рожденные с болезнью Тея – Сакса – генетическим заболеванием, обусловленным мутацией одного гена в 15-й хромосоме, – часто при рождении выглядят здоровыми. Но вскоре после рождения нервная система младенцев начинает разрушаться. К двум годам большинство детей страдают от страшных судорожных припадков и снижения умственных способностей. Многие лишаются зрения и перестают реагировать. Большая часть детей погибает в агонии, не дожив до пяти лет. Почти каждый 27-й еврей-ашкеназ является носителем мутации Тея – Сакса, и от этого заболевания ежегодно умирали сотни евреев по всему миру. Сегодня же оно почти не смертельно – благодаря чудесам науки и социальной организации.

В 1969 году ученые выделили ферменты, связанные с носительством болезни Тея – Сакса, и разработали специальный анализ крови, чтобы определять статус будущих родителей. Это всколыхнуло еврейские сообщества по всему миру. Общественные центры и синагоги в США, Канаде, Израиле, европейских и других странах начали проводить анализы. Пары, в которых оба будущих родителя оказывались носителями, получали рекомендации рассмотреть усыновление или провести анализы при беременности. Матери, у эмбрионов которых находили болезнь Тея – Сакса, почти все-

гда предпочитали прервать беременность – тяжелейший выбор, но, возможно, менее болезненный, чем смотреть, как их ребенок страдает и умирает. Ортодоксальные иудеи побуждали сватов генетически тестировать кандидатов, чтобы два носителя не вступали в брак.

В 1985 году секвенирование генов позволило выявить мутации, вызывающие болезнь Тея – Сакса, а затем были найдены и другие мутации этого гена. В наши дни болезнь Тея – Сакса – это чрезвычайно редкая среди евреев патология.

В свете хорошо зарекомендовавшего себя генетического сканирования на болезнь Тея – Сакса некоторые исследователи и политики начали продвигать идею расширенного тестирования на носительство для определения других категорий родителей, потенциально способных передать ребенку менделевские болезни или предрасположенность к ним¹⁵.

Секвенирование генома и биохимическое измерение уровня ферментов оказались колоссальными научными достижениями, которые позволяли предотвратить передачу относительно простых генетических заболеваний. Однако сам по себе генетический анализ, не дополненный новыми способами применения знаний, не в состоянии изменить то, как люди создают детей. Сопутствующая революция в обла-

¹⁵ См. Lidewij Henneman et al. *Responsible Implementation of Expanded Carrier Screening // European Journal of Human Genetics* 24. – Vol. 6 (June 2016). PP: e1–e12. Опубликовано онлайн 16 марта 2016 года. doi: 10.1038/ejhg.2015.271; и Nancy C. Rose. *Expanded Carrier Screening: Too Much of a Good Thing? // Prenatal Diagnosis* 35. – No. 10 (2015). PP: 936–937. – doi:10.1002/pd.4638.

сти экстракорпорального оплодотворения, или ЭКО, а также скрининг эмбрионов создали механизм, по которому генетический анализ мог бы в корне изменить процесс зачатия ребенка. Мы очень долго ждали таких открытий.¹⁶

* * *

В 1878 году, через 100 лет после эксперимента Спалланцани с презервативами для лягушек, Самуэль Леопольд Шенк из Вены, который по счастливой случайности учился в Венском университете одновременно с Грегором Менделем, изучал кроличьи яйцеклетки. Шенк заметил, что если он добавлял сперматозоиды к яйцеклеткам, изолированным в стеклянной пробирке, те начинали делиться. Это был ранний этап изучения процесса размножения, но Шенк правильно понял, что яйцеклетки оплодотворялись. То, что яйцеклетки млекопитающих получалось оплодотворить в посуде, позволяло предположить, что теоретически такие клетки можно имплантировать в материнский организм на весь срок беременности. Теоретически – возможно, но практически – пока что неосуществимо. Потребовалось еще 80 лет, чтобы американский ученый М. Ч. Чан успешно пересадил

¹⁶ Я подбирал слова очень *осторожно*. Хотя аборт мог бы стать решением для искоренения некоторых менделевских болезней, было бы крайне неразумно и нежелательно использовать его в отношении всех рисков возникновения таких заболеваний.

крольчихе яйцеклетку, оплодотворенную в посуде, или, полатыни, *in vitro*. Но от вынашивания крольчонка до вынашивания младенца было все еще далеко. На это также требовалось время.

В 1968 году на исторически значимом собрании Королевского медицинского общества в Лондоне Роберт Эдвардс, исследователь в области биомедицины и один из ведущих экспертов по развитию человеческих яйцеклеток, подошел к изобретателю хирургической процедуры для обследования женского таза – Патрику Стептоу. Эдвардс предложил совместно изучить, можно ли использовать искусственное оплодотворение для лечения бесплодия. Все последующее десятилетие двое ученых плодотворно трудились и опубликовали целую серию резонансных научных работ, описывающих каждый аспект того, что потребуется для успешного искусственного оплодотворения яйцеклетки человека.

В 1972 году Стептоу и Эдвардс приступили к клиническим испытаниям на людях. Вместе с медсестрой Джин Парди они аккуратно извлекли яйцеклетки из более чем 100 женщин, оплодотворили их спермой, а затем попытались хирургически имплантировать оплодотворенные яйцеклетки потенциальным матерям. Все эти попытки провалились. В 1976 году одна из женщин наконец-то смогла забеременеть, однако эта беременность прервалась, когда на ранних стадиях эмбрион прикрепился вне полости матки. Затем в 1977 году в клинику зашла Лесли Браун, домохозяйка

из Бристоля, Англия. На протяжении девяти лет они с мужем Джоном, работником железной дороги, безуспешно пытались зачать ребенка и были в отчаянии.

Лесли забеременела после первой имплантации оплодотворенной яйцеклетки. Через девять месяцев, 25 июля 1978 года, на свет появилась здоровая девочка Луиза. Газеты всего мира писали о «ребенке века». Опрос американцев, прошедший пару месяцев спустя, показал, что об английском ребенке, зачатом вне организма матери, слышало шокирующее количество людей – 93 % опрошенных¹⁷.

Хотя Луиза была зачата в стеклянной посуде, в сознании людей закрепилось мнение о том, что она и все дети вроде нее были созданы в пробирке. Это уничижительно прозвище – «дети из пробирки» – прочно закрепилось за ними. Многие люди, например большинство американцев, опрошенных исследовательским центром Пью в тот год, отнеслись к этому случаю положительно¹⁸. Другие же посчитали иначе. Католические богословы назвали процесс создания детей в пробирке «противоестественным» и «моральной гнусностью», поскольку само зачатие не включало в себя полового акта между мужем и женой, а неимплантированные эмбрионы шли в

¹⁷ Heather Mason Kiefer. *Gallup Brain: The Birth of In Vitro Fertilization* // *Gallup News*, 5 августа 2003 года. URL: <http://news.gallup.com/poll/8983/gallup-brain-birth-vitro-fertilization.aspx>.

¹⁸ Kiefer, *Gallup Brain*.

утилизацию¹⁹.

Американская медицинская ассоциация сочла процесс зачатия в пробирке слишком агрессивным. Журнал *Nova* назвал это «величайшей угрозой после атомной бомбы». Ведущий специалист по биоэтике и консерватор Леон Касс заявил, что такой подход ставит под вопрос «идею человечности наших человеческих жизней, а также смысл нашей телесности, половой жизни и связи с предками и потомками»²⁰.

Лесли и Джон Браун получали множество писем с угрозами и забрызганных кровью посылок с пластиковыми эмбрионами внутри.

Но, как всегда и бывает, некогда шокирующий и неоднозначный процесс со временем стал приемлемым и вполне обычным. По мере того, как наука о создании «детей из пробирки» стала менее спорной и ей нашли более точное название, группа ученых начала задумываться о следующем этапе. Они задавались вопросом: почему нельзя извлекать клетки эмбриона, находящегося на ранних стадиях подготовки к имплантации при ЭКО, и секвенировать их с использованием современных технологий?

Уже в 1967 году первопроходец в области ЭКО Роберт Эд-

¹⁹ John M. Haas. *Begotten Not Made: A Catholic View of Reproductive Technology*, Конференция католических епископов США, 1998. URL: <http://www.usccb.org/issues-and-action/human-life-and-dignity/reproductive-technology/begotten-not-made-a-catholic-view-of-reproductive-technology.cfm>.

²⁰ Jason Pontin. *Science Is Getting Us Closer to the End of Infertility* // *Wired*, 27 марта 2018 года. URL: <https://www.wired.com/story/reverse-infertility/>.

вардс и его британский коллега Ричард Гарднер описали, как удалили нескольких клеток из предимплантационного эмбриона кролика и изучили их под микроскопом, чтобы определить пол будущего кролика²¹. В 1990 году, через 12 лет после рождения Луизы Браун, врачи впервые успешно исследовали предимплантационный эмбрион человека, определив пол и проведя тесты на некоторые заболевания, связанные с половой принадлежностью или одногенными нарушениями. Такой тип скрининга стал известен как *предимплантационная генетическая диагностика*, или ПГД.

Технология ПГД развивалась быстро, особенно среди матерей из группы риска. Параллельно с ним развивался схожий процесс – *предимплантационный генетический скрининг*, или ПГС: эмбрионы без известных рисков заболевания тестировали, оценивая их шансы на успешное развитие. Не так давно ПГД и ПГС были объединены в семантическую группу *предимплантационного генетического тестирования*, или ПГТ.

ПГТ существует почти 30 лет, однако мы все еще стоим у истоков этой удивительной и важнейшей процедуры. Изначально ученые использовали ПГТ для первичной проверки на хромосомные аномалии, способные привести к выкидышу. Затем ученые попробовали выявить ограниченное число одногенных мутаций, вызывающих заболевания. Сегодня

²¹ G. Edwards, R. L. Gardner. *Sexing of Live Rabbit Blastocysts // Nature*. – No. 214 (1967). PP: 576–577. URL: <https://www.nature.com/articles/214576a0>.

ПГТ широко используют, чтобы тестировать на ряд одногенных мутаций, общее число которых доходит до 10 000²². В отличие от пренатального тестирования эмбрионов в утробе матери, ПГТ можно делать на большом количестве оплодотворенных яйцеклеток, или *бластоцист*, в стекле.

В большинстве случаев болезни, на которые проводится ПГТ неимплантированных эмбрионов, по отдельности чрезвычайно редки. Но этого нельзя сказать о популяции в целом. Статистические данные разнятся, но недавние исследования показывают, что вероятность рождения ребенка – носителя генетического заболевания традиционным способом составляет 1–2 %²³. При быстрорастущем количестве тестируемых заболеваний, вызванных одногенными мутациями, вероятность зачатия ребенка-носителя через ЭКО и ПГТ существенно снижается²⁴.

Число аномальных генетических особенностей, которых

²² *Genome Editing and Human Reproduction*. Доклад по редактированию генома и репродукции человека // Совет Наффилда по биоэтике. – 17 июля 2018 года. – С. 10. URL: <http://nuffieldbioethics.org/wp-content/uploads/Genome-editing-and-human-reproduction-FINAL-website.pdf>, стр. 10.

²³ Henry T. Greely. *The End of Sex and the Future of Human Reproduction*. – Cambridge: Harvard University Press, 2016. P: 114, 331.

²⁴ Математические вычисления чуть сложнее приведенных расчетов, поскольку ПГТ точно выявляет лишь определенные категории генетических отклонений. Например, с точки зрения статистики выявить рецессивное состояние (при котором оба родителя гетерозиготны к определенным заболеваниям) проще, чем обнаружить доминантное состояние, при котором один из родителей является гетерозиготным носителем, а второй – лишен гена носительства.

можно избежать с помощью ЭКО и ПГТ, растёт, поэтому родители должны взвесить все за и против естественного и искусственного способов зачатия. И хотя у традиционного внутриутробного зачатия через секс есть свои неоспоримые и неизменные плюсы, в основном для здоровья, а с самим процессом ЭКО также связаны небольшие дополнительные и малоизвестные риски, со временем у скрининга и искусственного оплодотворения, вероятно, будет все больше плюсов.

Подумайте обо всех мерах, на которые идут родители, чтобы защитить детей. Матери пьют витамины для беременных, моют свои и детские руки антисептическими средствами, пристегивают детей ремнями безопасности в машинах, надевают шлемы на велосипедах и кормят их полезной едой.

Хотя риски возникновения опасностей различаются, современные родители почему-то считают, что основная часть их работы заключается в максимальном снижении этих рисков, и часто критикуют людей с иными взглядами. Для примера можно вспомнить реакцию большинства американских родителей на движение антипрививочников.

В 2015 году, когда 147 непривитых детей заболели корью после посещения «Диснейленда», их родителей массово осуждали за то, что они подвергли опасности сотни других²⁵. В спорах антипрививочников часто слышны доводы,

²⁵ Petula Dvorak. Parents Who Refuse to Vaccinate Their Children Are Putting Others at Risk // Washington Post. Дата публикации: 26 января 2015 года.

насколько «естественно» не прививать детей от инфекционных заболеваний. Тем не менее в то, что их логика верна, поверить сложно.

С тех пор, как в XIX веке в Англии появилась первая вакцина от оспы, вакцинация спасла миллионы жизней. Многочисленные исследования по всему миру доказали безопасность вакцин и их явную пользу для человека и общества²⁶. Несмотря на это, необоснованные и иррациональные страхи перед прививками никуда не исчезли. В последние годы такие знаменитости, как Дженни МакКарти, Джим Керри и Дональд Трамп²⁷, публично жаловались на риски вакцинации (неподтвержденные наукой), из-за чего количество непривитых американских детей с 2001 года увеличилось в четыре раза²⁸. Такой же спор между группами родителей об использовании неестественных научных достижений или отказе от

URL: https://www.washingtonpost.com/local/parents-who-refuse-to-vaccinate-their-children-are-putting-others-at-risk/2015/01/26/9c538266-a5aa-11e4-a06b-9df2002b86a0_story.html?utm_term=.3b17e2cf1ccf.

²⁶ Vaccines Do Not Cause Autism // центры по контролю заболеваний, дата последнего изменения – 23 ноября 2015 года, URL: <https://www.cdc.gov/vaccinesafety/concerns/autism.html>.

²⁷ Laura Entis. Donald Trump Has Long Linked Autism to Vaccines. He Isn't Stopping Now That He's President // Fortune, 16 февраля 2017 года. URL: <http://fortune.com/2017/02/16/donald-trump-autism-vaccines/>.

²⁸ Cary Funk, Brian Kennedy, Meg Hefferon. Public Opinion about Childhood Vaccines for Measles, Mumps, and Rubella // исследовательский центр Пью. – 2 февраля 2017 года. – URL: <http://www.pewinternet.org/2017/02/02/public-opinion-about-childhood-vaccines-for-measles-mumps-and-rubella/>.

них возник и при обсуждении скрининга эмбрионов.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) 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.