

Ce este CRISPR?

CRISPR. Ce este? Și de ce este comunitatea științifică atât de fascinată de potențialele sale aplicații? Începând cu definiția sa, explicăm modul în care această tehnologie folosește un sistem vechi de apărare bazat pe bacterii - și cum va avea impact asupra lumii din jurul nostru astăzi.

De unde provin aceste date?

Imaginați-vă un viitor în care părinții pot crea copii cu caracteristici speciale, selectând înălțimea și culoarea ochilor copiilor lor nenăscuți. De fapt, imaginați-vă că toate trăsăturile pot fi personalizate în funcție de preferințele dvs.: marimea animalelor de companie, longevitatea plantelor, și altele.

Suna ca un roman science fiction distopic. Totuși, unele dintre aceste lucruri se întâmplă deja.

De la descoperirea sa inițială în 2012, oamenii de știință s-au minunat de aplicațiile CRISPR (cunoscute și sub numele de Cas9 sau CRISPR-Cas9).

CRISPR poate revoluționa modul în care abordăm unele dintre cele mai mari probleme ale lumii, cum ar fi cancerul, lipsa alimentelor și nevoia de transplant de organe. Rapoarte recente chiar examinează utilizarea sa ca instrument eficient de diagnosticare a bolilor. Dar, ca și în cazul oricărei noi tehnologii, aceasta poate provoca și noi probleme neintenționate.

Modificarea ADN - codul vieții - va veni inevitabil cu o serie de consecințe importante. Dar societatea și industria nu pot avea această conversație fără să înțeleagă elementele de bază ale CRISPR.

În acest rezumat, ne aruncăm în CRISPR, de la o simplă explicație a ceea ce este exact până la aplicațiile și limitările sale.

CUPRINS

- Ce este CRISPR?
- Aplicații
- Limitări
- Controverse
- Viitorul CRISPR

Ce este CRISPR?

CRISPR este o caracteristică esențială a codului genetic bacterian și a sistemul său imunitar, funcționând ca sistem de apărare pe care bacteriile îl folosesc pentru a se proteja împotriva atacurilor virușilor. De asemenea este folosit de organisme din regnul Archaea (microorganisme unicelulare).

Acronimul „CRISPR“ reprezintă Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (grupuri de repetări scurte palindromice în ordine intercalată). În esență, este o serie de scurte secvențe de ADN repetitive cu "distanțiere" așezate între ele.

Bacteriile utilizează aceste secvențe genetice pentru a-și "aminti" de fiecare virus specific care le atacă.

Ele fac asta prin încorporarea ADN-ului viral în propriul genom bacterian. Acest ADN viral ajunge să fie foșorit ca distanțier în secvența CRISPR. Această metodă oferă apoi protecție sau imunitate bacteriilor când un anumit virus încearcă să atace le din nou.

CRISPR sunt însoțite de gene care sunt situate întotdeauna în apropiere, numite Cas (CRISPR - associated).

Odată activate, aceste gene produc proteine speciale cunoscute sub numele de enzime care par a evolua odată cu CRISPR. Semnificația acestor enzime Cas este capacitatea lor de a acționa ca "foarfece moleculare" care pot tăia ADN-ul.

Pentru a recapitula: în natură, când un virus invadează bacteria, ADN-ul său unic este integrat într-o secvență CRISPR din genomul bacterian. Aceasta înseamnă că data viitoare când virusul atacă, bacteriile și-l vor aminti și vor trimite ARN și Cas pentru a localiza și distruge virusul.

În timp ce există alte enzime Cas derivate din bacterii care taie viruși atunci când atacă bacteriile, Cas9 este cea mai capabilă de a face acest lucru la animale. Termenul foarte cunoscut CRISPR-Cas9 se referă la o variațiune a Cas folosită pentru a tăia ADN-ul animal (și uman).

În valorificarea acestei tehnologii, cercetatorii au adaugat un nou pas: după ce ADN-ul este tăiat de CRISPR-Cas9, o noua secvență de ADN care transporta o versiune "fixă" a unei gene se poate instala în noul spațiu. În mod alternativ, tăierea poate "scoate" complet o anumită genă nedorită - de exemplu, o genă care provoacă boli.

Un mod de a ne gândi despre CRISPR-Cas9 este de a-l compara cu funcția "găsiți și înlocuiți" din Word: găsește data genetică (sau "cuvântul") pe care doriți să îl corectați și îl înlocuiește cu un material nou. Sau, așa cum spune Jennifer Doudna, descoperitoarea CRISPR, afirmă în cartea sa "Fisură în creație: editarea genetică și puterea de neimaginat de a controla evoluția", CRISPR este ca un cuțit elvețian cu diferite funcții, în funcție de modul în care dorim să îl folosim.

Cercetarea CRISPR s-a mișcat atât de repede încât a trecut deja dincolo de editarea de bază a ADN-ului. În decembrie 2017, Institutul Salk a conceput o versiune "cu handicap" a sistemului CRISPR-Cas9, capabil să activeze sau inactiveze o gena fără a edita deloc genomul. În viitor, acest tip de proces ar putea "îndulci" preocupările legate de natura permanentă a editării genei.

Cum funcționează

Aceștia sunt cei 3 jucători-cheie care ajută tehnologia CRISPR-Cas9 să își desfășoare activitatea:

1. Ghidul ARN: fragment de ARN (un văr genetic al ADN-ului) care localizează gena vizată. Acest lucru este proiectat în un laborator.
2. Proteina 9 asociată cu CRISPR (Cas9) : "foarfecele" care elimină ADN-ul nedorit
3. ADN : piesa dorită de ADN care se introduce după "pauză "

Mai jos, ilustrăm modul în care aceste părți se reunesc pentru a crea o potențială terapie.

ARN-ul de ghidare servește ca "coordonate GPS" pentru găsirea piesei de ADN de editat și țintește partea vizată a genei. Odată localizat, Cas9, foarfecele, face o ruptură dublă în ADN și ADN-ul dorit a-i lua locul își ocupă poziția.

Implicațiile sunt vaste.

Da, această tehnologie va "deranja" tratamentul medical clasic. Dar dincolo de asta, ar putea transforma totul de la alimentele pe care le consumăm la produsele chimice pe care le folosim ca și combustibil, deoarece acestea pot fi proiectate și ele prin tehnologia genetică.

Dr. Feng Zhang, de la MIT și Harvard, a descris CRISPR folosind o rimă de grădiniță. Ne putem imagina o anumită secvență ADN care este corectată în acest fel:

Twinkle Twinkle Big Star → Twinkle Twinkle Little Star

Sclipește Sclipește Mare Stea → Sclipește Sclipește Mică Stea

În acest proces:

1. Ghidul ARN localizează eroarea sau mutația: cuvântul "Big".
2. Enzima Cas9 face tăietura înainte și după cuvântul "Big".
3. Un vehicul obținut prin bioinginerie inserează piesa corectă de ADN, în acest caz cuvântul "Little".

Cercetători cheie în descoperirea lui CRISPR

Secvența CRISPR a fost descoperită pentru prima dată în 1987. Mai mult de 20 de ani mai târziu, în 2008, microbiologul Luciano Marraffini a colaborat la o lucrare generalizată despre CRISPR cu Erik Sontheimer de la Universitatea Northwestern - dar un brevet depus de cei doi oameni de știință a fost respins în acea perioadă, din cauza incapacității cercetătorilor de a demonstra în mod concludent orice aplicație specifică a constatărilor lor.

Funcția CRISPR - și potențialul său incredibil - nu va fi descoperit decât după patru ani, în 2012. Persoanele cheie implicate în descoperirea inițială a sistemului bacterian CRISPR-Cas9 o includ pe Jennifer Doudna, doctor în cadrul Universității din California, Berkeley, și omul de știință francez dr. Emmanuelle Charpentier. Prin colaborare strategică, acești cercetători au contribuit la introducerea unei noi ere de biotehnologie.

O altă figură importantă o reprezintă dr. Feng Zhang, care a contribuit esențial la conturarea aplicațiilor terapeutice ale CRISPR utilizând în 2013 șoareci și celule umane. Geneticianul dr. George Church de la Harvard, a contribuit, de asemenea, la primele cercetări CRISPR cu Zhang.

Acești patru cercetători au început să joace un rol crucial în înființarea unora din cele mai bine finanțate inițiative terapeutice CRISPR, inclusiv Editas Medicine, CRISPR Therapeutics și Intellia Therapeutics. Toate cele 3 companii au devenit publice în 2016 și se află în etapa de descoperire / preclinic a medicamentelor pentru testarea candidaților terapeutici CRISPR pentru diferite boli umane.

Editarea genetică înainte de CRISPR

Înainte ca CRISPR să fie anunțată ca metodă de editare a genei, alte două tehnici de editare de gene a dominat domeniul: Zinc Finger Nuclease (ZFNs) și Transcription Activator-like Effector Nucleases (TALENs). Eforturile de cercetare care utilizează aceste instrumente sunt în curs de desfășurare.

La fel ca și CRISPR, fiecare din aceste instrumente poate să taie ADN-ul. Deși în general sunt mai dificil de realizat și de utilizat, aceste instrumente oferă avantaje proprii:

- ZFN are un proces de livrare mai ușor pentru gena vizată.

- TALENs-urile par să aibă o rată de precizie mai mare decât CRISPR și pot cauza mai puține mutații "off-target" (adică consecințe neintenționate) ca urmare a editării genei.

Fiecare are, de asemenea, aplicații terapeutice vitale.

Compania de biotehnologie Cellectis utilizează tehnologia de editare a genei TALENs pentru a crea terapii CAR-T pentru leucemie, în timp ce Sangamo BioSciences face ZFNs care pot dezactiva o gena cunoscută ca fiind cheia infecției cu HIV. În mod deosebit, fiecare dintre aceste companii deține drepturi de autor referitoare la aceste metode specifice de editare a genei, ceea ce ar putea îngreuna alte companii de biotehnologie să utilizeze aceste metode.

Între timp, CRISPR a furat cu siguranță lumina reflectoarelor din ultima vreme, datorită eficienței, flexibilității și prețului accesibil. Este posibil ca CRISPR să se confrunte cu probleme similare legate de drepturi - și există deja unele controverse - dar cu aplicații atât de versatile pentru acest sistem, cercetarea pe mai multe fronturi pare să progreseze rapid.

Aplicații ale CRISPR

Fiecare industrie poate utiliza CRISPR ca instrument: acesta poate crea noi terapii medicamentoase pentru bolile umane, poate ajuta fermierii să cultive plante rezistente la patogeni, să creeze noi specii de plante și animale - și poate chiar să le aducă înapoi pe cele vechi.

Cercetarea în domeniul animalelor

De la descoperirea inițială a CRISPR ca mecanism de editare a genei, lista cererilor a crescut rapid. Deși încă în stadii incipiente, "modelele animale" (animale de laborator) au furnizat informații esențiale despre modul în care am putea manipula CRISPR.

Șoarecii au fost utili, în special când a venit vorba de potențialul terapeutic al CRISPR. Cum mamiferele împărtășesc mai mult de 90% din genele noastre, șoarecii au fost utilizați ca subiecți ideali de testare.

Experimentele pe șoareci au arătat că CRISPR poate dezactiva o genă defectă asociată cu distrofia musculară Duchenne (DMD), poate inhiba formarea de proteine letale implicate în boala Huntington, și poate elimina infecția cu HIV.

În 2015, oamenii de știință chinezi au creat două exemplare de beagle cu musculatură mult mai dezvoltată, dezactivând gena miostatinei, care controlează dezvoltarea musculară normală. În absența genei, cei doi beagle au dezvoltat "hipertrofie musculară", creând câini cu vizibil mai mulți mușchi decât cei nemodificați genetic.

Alte studii CRISPR pe animale au variat de la capre cu păr lung pentru o producție mai mare de cașmir, până la vacile fără coarne, pentru a evita procesul dureros de tăiere a coarnelor.

Cercetarea în domeniul uman

Comparativ cu cercetarea pe animale, cercetările CRISPR care editează ADN-ul uman s-au mișcat mai lent, în mare parte datorită problemelor etice și de reglementare.

Având în vedere natura permanentă a modificării genomului unui om, FDA se apropie cu precauție de CRISPR. Unii oameni de știință au propus până și un moratoriu asupra cercetărilor CRISPR până la aflarea de mai multe informații despre potențialul impact asupra oamenilor.

Statele Unite ale Americii & Europa

În mai 2018, FDA a ordonat CRISPR Therapeutics să își suspende planurile pentru primele studii CRISPR pe oameni până când compania a răspuns la întrebări despre particularitățile tratamentelor sale. În octombrie, FDA a ridicat suspendarea și a acceptat cererea de o nouă investigație a medicamentelor CRISPR Therapeutics pentru tratamentul anemiei falciforme.

Aproximativ în același timp, cercetătorii de la Universitatea din Pennsylvania au început un studiu evaluând siguranța utilizării CRISPR pentru pacienții cu mielom, melanom și sarcom multiplu.

În Europa, un alt studiu CRISPR Therapeutics s-a axat pe o tulburare a sângelui cunoscută sub numele de beta-talasemie, care are ca rezultat o producție anormală de celule roșii în sânge. Alături de Vertex Pharmaceuticals din Boston, CRISPR Therapeutics a început oficial primul studiu clinic al terapiei beta-talasemiei în septembrie 2018.

Deși au fost inovatoare, aceste cercetări nu au fost primele care au folosit CRISPR pentru a manipula material genetic uman. În august 2017, o echipă condusă de biologul Shoukhrat Mitalipov de la Oregon Health and Science University a primit finanțare privată pentru a utiliza CRISPR-Cas9 pentru a viza o mutație în embrionii umani viabili care cauzează îngroșarea mușchilor inimii. Embrionii modificați au revenit în laborator în proporție de 72% fără mutație (mai mare decât obișnuitele 50% șanse de moștenire).

Unii critici susțin că editarea genetică a embrionilor nu este etică, chiar dacă embrionii editați nu sunt destinați transferului și implantării. Acest tip de testare nu primește în prezent fonduri federale, ci se bazează pe finanțarea donatorilor privați.

China

În cealaltă parte a lumii, cercetători chinezi funcționează în cadrul unui set de reglementări diferit. Unele comitete de etică din spitale pot aproba studii în doar o zi, fără a fi nevoie să se solicite aprobarea din partea unei agenții federale. Mediul medical de reglementare din China este, de asemenea, unic prin faptul că ghidurile statului privind studiile clinice poartă aceleași greutăți - și sancțiuni legale - ca și legile oficiale.

Începând cu anul 2015, China conduce studiile la om folosind CRISPR pentru a combate diferite tipuri de cancer, infecțiile cu HIV și HPV.

În ultimii ani s-au efectuat mai multe studii de terapie cu CRISPR în China, care vizează cancere avansate, cum ar fi carcinomul gastric și nazofaringian în fază 4. Rezultatele până acum sunt doar anecdotice și, în timp ce unele tumori ale participanților s-au diminuat, nu s-au pus la dispoziție rezultate oficiale.

Deși posibilele efecte secundare pe termen lung nu sunt pe deplin înțelese, CRISPR este deja o opțiune pentru unii pacienți din China care au epuizat toate tratamentele convenționale.

În noiembrie 2018, au apărut rapoarte legate de El Jiankui, un om de știință chinez care a creat primul copil din lume editat prin CRISPR, gemeni numiți "Lulu" și "Nana". Se presupune că a editat embrioni gemeni în timpul un tratament FIV, modificând gena CCR5 pentru a spori rezistența la HIV.

Cu toate că nu a furnizat dovada fizică a muncii sale, a prezentat date la cel de-al doilea summit internațional privind editarea genomului uman de la Hong Kong, care părea să-i

susțină afirmațiile. De asemenea, a postat mai multe videoclipuri pe YouTube, subliniind munca sa.

La puțin timp după anunț, zvonuri au început să circule cum că era în arest la domiciliu. New York Times a publicat un reportaj în decembrie 2018, în care a declarat că trăia sub supraveghere armată într-un apartament de pe campusul Universității de Sud a Științei și Tehnologiei din Shenzhen, unde este situat laboratorul său de genetică.

Oficialii chinezi i-au recunoscut oficial munca - și potențialele sancțiuni pe care le-ar putea avea în consecință - pentru prima dată în ianuarie 2019. Mass-media de stat a relatat că oficialii îl investigau, raportând agenției de știri Xinhua că cercetarea "Va fi transferată autorităților de securitate publică" și că persoanele implicate în această cercetare vor fi "tratate sever în conformitate cu legea". Universitatea de Științe și Tehnologie din Sud, care a negat anterior cunoașterea existenței experimentelor, a confirmat că contractul de muncă al acestuia la universitate va fi reziliat ca urmare a investigației.

Domenii influențate

Industriile potențiale cu impact ridicat pentru CRISPR includ medicina, alimentația, agricultura și biotehnologia spațială. Pentru că sistemul de editare a genei CRISPR-Cas9 este atât de ușor de utilizat, cercetătorii dintr-o serie de discipline pot accesa acest program pentru a crea genetic organismul ales de ei.

Farmacologie și biotehnologie

Viitorul medicinei va fi scris cu CRISPR.

Procesul actual de descoperire al medicamentelor este lung, având în vedere necesitatea de a asigura pacientului siguranța și obținerea unei înțelegeri aprofundate a efectelor adverse. Mai mult, politicile actuale de reglementare din SUA duc deseori la un proces de dezvoltare de zeci de ani.

Cu toate acestea, echipe folosind CRISPR pot aduce terapii personalizate pe piață mai repede decât s-a bănuț anterior, accelerând procesul tradițional de descoperire a medicamentelor.

Prețul accesibil și flexibilitatea CRISPR permite identificarea corectă și rapidă a țintelor genetice potențiale pentru testare preclinică eficientă. Pentru că poate fi folosit pentru a "inactiva" diferite gene, CRISPR oferă cercetătorilor un mod mai rapid și mai accesibil de a studia sute de mii de gene pentru a vedea care sunt afectate de o anumită boală.

Desigur, odată cu asigurarea unui proces de dezvoltare al medicamentelor mai raționalizat, CRISPR oferă posibilitatea unor noi metode de tratare a pacienților.

De exemplu, bolile monogenetice - boli cauzate de o mutație în o singură genă - reprezintă un punct de plecare atractiv pentru studiile CRISPR. Natura acestor boli oferă o țintă exactă pentru tratament: mutația problematică pe o singură genă .

Sunt, de asemenea, bolile de sânge, cu o singură genă, cum ar fi beta-talasemia sau anemia falciformă, marii candidați pentru terapia CRISPR datorită capacității lor de a fi tratați în afara corpului (cunoscută sub numele de terapie ex-vivo). Celulele sanguine ale unui pacient pot fi extrase, tratate cu sistemul CRISPR, apoi reintroduse în organism.

CRISPR este, de asemenea, utilizat pentru a dezvolta versiuni mai bune ale medicamentelor existente, inclusiv antibioticele.

În ciuda progreselor semnificative în dezvoltarea antibiotice în ultimii ani, multe tulpini de infecții bacteriene au devenit extrem de rezistente la antibioticele convenționale. Potrivit CDC, agenții patogeni rezistenți la antibiotice infectează în fiecare an peste 2 milioane de persoane șiucid anual aproximativ 23.000 de pacienți.

Jason Peters, profesor de științe farmaceutice de la Universitatea Madison din Wisconsin, a dezvoltat o nouă metodă de analiză a funcției antibiotice asupra unei game de bacterii patogene. Tehnica, cunoscută sub numele de Mobile-CRISPRi, reduce cantitatea de proteină produsă de anumite gene, care să permită oamenilor de știință să studieze mai precis modul în care antibioticele inhibă răspândirea agenților patogeni bacterieni.

Spre deosebire de majoritatea tehnicilor CRISPR, care taie ADN-ul, Mobile-CRISPRi interzice pur și simplu proteinelor de a accesa și de a activa gene specifice. Tehnica Peters a fost deja aplicată la o serie de infecții bacteriene comune, printre care listeria, salmonella și stafilococul, și poate ajuta cercetătorii să înțeleagă mai bine cum să depășească rezistența acestor agenți patogeni la medicamentele existente.

Alimente și agricultură

O mai veche utilizare a CRISPR a fost inițiată de compania de iaurt Danisco în anii 2000, când oamenii de știință au folosit o versiune timpurie a CRISPR pentru a combate o bacterie cheie găsită în laptele și culturile de iaurt (*Streptococcus thermophilus*), produse care rămâneau infectate cu viruși. În acel moment, detaliile CRISPR erau încă neclare.

Derulăm rapid până în prezent, când schimbările climatice vor crește în continuare nevoia de a utiliza CRISPR pentru a proteja industriile din sectorul alimentar și agricol împotriva noilor bacterii. De exemplu, cacao devine din ce în ce mai dificil de cultivat, pe măsură ce regiunile în care se cultivă devin mai calde și mai uscate. Această schimbare de mediu va exacerba în continuare daunele produse de agenții patogeni.

"Dacă ați mâncat iaurt sau brânză, este posibil să fi mâncat celule CRISPR-izate."

- Rodolphe Barrangou, om de știință de la Danisco și editor-șef al revistei CRISPR

Pentru a combate această problemă, Institutul de Genomică Inovatoare (IGI) de la UC Berkeley aplică CRISPR pentru a crea cacao rezistentă la boli. Principalul producător de ciocolată, MARS Inc., sprijină acest efort.

Editarea genelor poate face agricultura mai eficientă. Poate reduce lipsa globală a alimentelor pentru culturile de bază cum ar fi cartofii și roșiile. Și poate crea culturi rezistente, neafectate de secetă și de alte efecte asupra mediului.

Autoritățile de reglementare au demonstrat puțină rezistență la culturile modificate genetic și, în special, Departamentul Agriculturii al Statelor Unite (USDA) nu reglementează procedurile. Acest lucru se datorează în mare parte faptului că, atunci când se aplică CRISPR la culturi, nu există ADN străin care să fie adăugat: CRISPR este pur și simplu folosit pentru a edita o genă a unei culturii proprii pentru a selecta trăsăturile dorite.

În 2016, ciuperca albă, modificată pentru a fi rezistent la colorare, a devenit primul organism CRISPR nereglementat de USDA. În octombrie 2017, a fost anunțat că compania de

agricultură DuPont Pioneer și Institutul Broad vor colabora în domeniul cercetării agricole folosind proprietatea intelectuală CRISPR-Cas9.

În septembrie 2017, compania biotehnică Yield10 Bioscience a obținut aprobare pentru planta editată CRISPR *Camelina sativa* (inul fals), care are ulei omega-3 îmbogățit și este utilizat pentru fabricarea uleiului vegetal și a hranei pentru animale.

Cel mai recent, o lucrare publicată de cercetători brazilieni și irlandezi a susținut că editarea genetică permisă de CRISPR ar putea ajuta fermierii să crească roșiile la fel de picante ca ardeii iuți. Lucrarea se concentrează asupra manipulării genetice a capsaicinoidelor - componenta care dă ardeilor iuți căldura lor picantă - ca un exemplu de proprietăți care pot fi cultivate în alte alimente, inclusiv roșiile.

În timp ce capsaicinoidele sunt un compus foarte valoros - utilizat în produse variind de la spray-urile de piper folosite de organele de drept până la anumite tipuri de anestezie - sunt greu de cultivat, datorită condițiilor de creștere deosebit de specifice pe care le cer ardeii iuți. Folosind CRISPR, cercetătorii speră să reactiveze o gena în roșii (care au un strămoș genetic comun cu ardeii iute), o plantă care crește într-o gamă mult mai largă de locații și condiții agricole.

Aceste exemple sunt indicații că noile rase de culturi ar putea ajunge în piețe mult mai repede decât se credea anterior. Fără supravegherea USDA, aceste produse și alte produse alimentare ar putea intra în producție relativ rapid.

Acest lucru va afecta alimentele pe care le consumăm, deoarece produsele alimentare sunt modificate pentru a transporta mai multe substanțe nutritive sau pentru ca să dureze mai mult pe rafturi.

O altă zonă care generează în prezent emoții este producția de animale mai slabe.

În octombrie 2017, oamenii de știință de la Academia Chineză de Științe din Beijing au folosit CRISPR pentru a prepara carne de porc prin inginerie genetică și care avea 24% mai puțină grăsime corporală.

Cercetătorii au făcut acest lucru prin introducerea unei gene de șoarece în celulele de porc pentru a regla mai bine temperatura corpului. Deși acest exemplu face din punct de vedere tehnic ca rezultatul să fie un produs modificat genetic, este posibil ca peste nu prea mult timp genele porcilor să fie utilizate în același scop.

Versiuni viitoare a acestei tehnologii aplicată la nutriția umană va fi o zonă de urmărit.

Biotehnologia industrială

O altă utilizare cheie, dar mai puțin evidentă a CRISPR constă în spațiul biotehnic industrial. Prin modificarea genetică a microbilor folosind CRISPR, cercetătorii pot crea materiale noi.

Cum este aceasta relevantă pentru societate în general?

Din punct de vedere industrial, acest lucru este important pentru modificarea și crearea de noi produse chimice. Putem modifica microbii pentru a le crește diversitatea, pentru a crea noi materiale bio și a face biocombustibili mai eficienți. De la substanțele chimice active din parfumuri până la cele implicate în curățarea industrială, CRISPR ar putea avea un mare impact prin crearea de noi și mai eficiente materiale biologice.

Prima companie CRISPR a dnei Jennifer Doudna, Caribou Biosciences , a fost înființată în 2011 pentru scopuri de cercetare non-terapeutice în întreaga industrie. Este una dintre companiile cheie care oferă diferitelor industrii instrumentele necesare pentru a utiliza CRISPR pentru o varietate de scopuri.

Limitări

Lista de beneficii potențiale ale CRISPR este una lungă. Dar tehnologia aduce, de asemenea, o serie de limitări.

Eventualele efecte neintenționate și toate variabilele necunoscute sunt unele din dezavantajele acestui nou lucru tehnologie, în timp ce noi întrebări și controverse etice sunt, de asemenea, în curs de apariție, pe măsură ce utilizarea pe subiecții umani se apropie.

Limitările date de efectele secundare

Când se utilizează CRISPR pentru terapiile umane, siguranța este cea mai mare problemă. Ca și în cazul oricărei noi forme de tehnologie, cercetătorii nu sunt siguri de întreaga gamă a efectelor CRISPR.

Activitatea în afara țintei este principala preocupare aici. O singură modificare a genei ar putea cauza activitate neintenționată în altă parte a genomului. O posibilă consecință a acesteia este creșterea anormală a țesuturilor, ceea ce duce la cancer. Pe măsură ce mai multe cercetări descoperă noi detalii, aceasta ar putea avea ca rezultat o direcționare genetică mai rafinată și mai precisă.

O altă problemă este posibilitatea generării mozaicismului. După tratamentul cu CRISPR, un pacient ar putea avea un amestec atât de celule editate, cât și de celule needitate - un "mozaic". Deoarece celulele continuă să se împartă și să se replice, unele celule pot fi reparate, în timp ce altele nu vor fi.

În cele din urmă, complicațiile sistemului imunitar înseamnă că aceste intervenții și terapii pot provoca un răspuns nedorit sistemul imunitar al unui pacient. Cercetările anterioare arată că sistemul imunitar poate elimina enzimele Cas înainte de a-și atinge scopul sau poate avea o reacție adversă care are ca rezultat efecte secundare precum inflamația. (În 1999, un pacient din SUA a murit de o reacție imună severă, însuflând mai multă prudență cercetătorilor atunci când vine vorba de studiile CRISPR).

Totuși, toate aceste trei limitări au unele soluții posibile.

Diferitele enzime ("foarfece moleculare") sau vehicule mai precise de livrare pot reduce activitatea din afara țintei. Dacă sunt modificate celule stem din ovule sau spermă (adică celule care pot deveni orice celulă din corpul uman), mozaicismul poate fi evitat.

Cu problema sistemului imunitar, cercetătorii pot izola diferite proteine Cas de la mai multe tulpini obscure bacteriene la care oamenii nu au deja o imunitate adaptată, în scopul de a eluda apariția unui răspuns imun nedorit. Între timp, terapiile ex-vivo, unde oamenii de știință extrag celulele sanguine ale pacienților din organism și le tratează înainte de a le reintroduce, pot, de asemenea, ajuta prin ocolirea sistemului imunitar.

Alternative biologice

O limitare potențială mare pentru CRISPR este că sistemul CRISPR-Cas9 nu are precizie chirurgicală. Enzima Cas taie ambele fire ale dublului helix ADN, iar această "pauză dublu catenară" creează îngrijorări cu privire la precizia tăierii.

"Repararea unei gene defecte ar fi ca și cum ai găsi un ac în carul de fân și apoi ai elimina acel ac fără a perturba un singur fir de fân în acest proces". -Jennifer Doudna

În timp ce în prezent enzima Cas9 primește cea mai mare atenție deoarece ea execută "tăierea", oamenii de știință urmăresc în mod activ alternative pentru a găsi candidați mai buni.

Opțiunile alternative includ a versiune mai mică a lui Cas9 sau o cu totul altă enzimă: Cpf1, care a devenit populară datorită transportului său ușor către locația ADN vizată.

Pe lângă utilizarea altor enzime Cas, vehicule alternative de livrare pentru genele terapeutice sunt o altă opțiune. Viruși inofensivi pot purta gene terapeutice la locul mutației, în timp ce nanoparticulele lipidice pot evita detectarea sistemului imunitar, evitând o reacție imună. Ambele opțiuni prezintă căi promițătoare de cercetare.

Controverse

Când tehnologia poate schimba codul vieții, implicațiile sale sunt profunde - la fel ca și controversele sale. Aici subliniem câteva dintre principalele controverse din jurul CRISPR.

Proiectați-vă-proprii-copii?

Dacă știm unde o anumită genă este localizată, CRISPR ne permite să o manipulăm în multe feluri.

Prin această logică, proprietarii de animale de companie ar putea crea câinele pe care îl doresc cu o anumită culoare și mărime. În plus, părinții s-ar putea gândi ipotetic la o genă care controlează înălțimea sau culoarea ochilor pentru a-și "proiecta" copiii. Dacă am putea izola genele asociate cu inteligența, și aceasta ar putea fi manipulată.

În timp ce criticii spun că această tehnologie ar trebui rezervată numai pentru nevoile terapeutice, dezvoltarea rapidă din CRISPR nu pare să încetinească în curând, iar organisme modificate genetic au fost deja create în scopuri non-terapeutice.

În 2015, Institutul Genome din Beijing (BGI) a creat "micro-porci" eliminând o genă asociată cu creșterea. La doar 30 de kilograme, acest lucru a fost destul de departe de greutatea normală a porcilor de 100 de kilograme. BGI inițial dorea să vândă fiecare micro-porc pentru o sumă estimată de 1.600 de dolari, cu dimensiuni și opțiuni personalizate pentru consumatori. Planurile au fost în cele din urmă abandonate în 2017.

Cu toate că BGI a folosit TALENs și nu CRISPR pentru a edita genele porcilor, CRISPR prezintă o preocupare similară când vine vorba de "proiectarea" viitoarelor animale de companie. Această aplicație de designer ar putea reprezenta un punct de cotitură permanent și ireversibil în direcția evoluției animale și umane.

Mai recent, exemplul menționat mai sus -El Jiankui, omul de știință chinez care ar fi folosit CRISPR pentru a crea copiii editați genetic, a stimulat dezbaterea în jurul aplicațiilor CRISPR la genomul uman.

Deși etica a fost principalul subiect pentru mass-media globală, știința din spatele cercetării sale este, de asemenea, de mare preocupare pentru mulți oameni de știință.

Cercetarea s-a axat pe gena CCR5, pe care virusul imunodeficienței umane (HIV) o folosește pentru a accesa și a se răspândi prin celule sănătoase în tot corpul. Cu toate ca tatăl subiecților gemeni a fost HIV-positiv, niciun copil nu a purtat infecția. În ciuda acestui fapt, el a continuat să editeze genele CCR5 folosind CRISPR, introducând trei noi mutații genetice la genele CCR5 ale fetelor. Cel puțin două din cele trei mutații introduse în secvența

genetică a gemenilor sunt suficient de semnificative în natură încât efectele exacte ale variantelor genetice rămân neclare, conform Atlantic.

În timp ce viitorul ar putea spune o poveste diferită, pentru moment tema mult discutată despre "copiii de designer" are implicații grave etice și incertitudini științifice, deoarece o mare parte din cercetările care însoțesc terapii genetice prospective posibile prin CRISPR sunt încă foarte experimentale.

Aducerea înapoi a animalelor dispărute

Mamuții cu blană au fost văzuți ultima oară cu 3.600 de ani în urmă. Dacă putem aduce înapoi aceste creaturi străvechi, ar trebui? Care ar fi scopul? Fie pentru simpla curiozitate, fie pentru scopuri științifice valabile, această zonă este numai bună pentru controverse.

Simplu spus, de-extincția este efortul de a readuce animalele extinse. Procesul implică luarea embrionului celei mai apropiate rude vii a animalului dispărut și utilizarea CRISPR-Cas9 pentru a insera ADN-ul speciei extinse, astfel încât animalele dispărute ar putea încă o dată să trăiască pe planetă.

Astfel de inițiative sunt deja urmărite de diferite grupuri și organizații științifice. În special proiectul Fundației Long Now, numită "Revive & Restore", își propune să aducă înapoi animalele dispărute, cum ar fi porumbelul călător și mamutul cu blană. Geneticianul George Church de la Broad Institute a fost instrumental în aducerea acestui proiect la îndeplinire.

Mamutul cu blană prezintă un interes deosebit pentru mulți oameni de știință. Editarea genomului elefanților asiatici pentru a introduce genele din țesuturile conservate de țesut mamut cu blană ar putea anula extincția sau, probabil, poate duce la o versiune hibridă a creaturii.

În acest caz, există și considerații climatice în joc: unii cercetători cred că efectul mamutului asupra pădurilor din nord ar putea recrea condițiile pentru apariția permafrostului și reduce eliberarea de carbon în atmosferă.

Avocații de-extincției mai spun că oamenii au fost direct responsabili pentru faptul că multe specii au dispărut și, prin urmare, ar trebui să facem un efort concertat pentru a inversa această tendință.

Criticii ridică preocupări că manipularea naturii va aduce mai mult rău decât bine, creând potențial specii care rănesc un mediu care a fost deja schimbat irevocabil de apariția homo sapiens .

Modificări genetice ireversibile timp de generații

Utilizarea CRISPR pentru "modificări ale vieții bacteriene" face comunitatea științifică nervoasă.

Modificările somatice se fac pe celulele corpului, cum ar fi celulele pielii, creierului, mușchilor și inimii, iar modificările nu sunt transmise generațiilor viitoare. Modificările la nivelul germinilor, pe de altă parte, se realizează în gene transmise în ovule reproductive sau în celule de spermă - și astfel vor fi moștenite de generațiile viitoare.

Lucrând cu celulele germinale se ridică întrebarea: putem alege din punct de vedere etic schimbările genetice pe care le dorim pentru generațiile viitoare nenăscute?

Consecințele modificării genetice a celulelor germinale au fost un motiv pentru care, până de curând, cercetătorii au folosit doar embrioni umani neviabili pentru studiile CRISPR. Apoi, în martie 2017, primul experiment CRISPR asupra embrionilor umani viabili a fost efectuat

pe șase embrioni în China. De subliniat faptul că experimentul a arătat o rată de succes mai mare a ediției genelor decât experimentele anterioare cu embrioni neviabili.

În ciuda controverselor din jurul problemei, beneficiul clar al modificării celulelor germinale este acela că o boală poate fi îngădită sau împiedicată să se exprime pe măsură ce subiectul este în curs de dezvoltare. Terapiile germinale sunt, de asemenea, garantate că ar ajunge la fiecare celulă din corpul pacientului.

Printr-o editare CRISPR germinală, un adult ar putea ipotetic să nu sufere niciodată de cancer, chiar dacă el sau ea are o predispoziție genetică la acesta.

Biohackeri

Biohackerii spun că doresc să profite de CRISPR pentru a modifica procesul de cercetare și dezvoltare tradițional lung astfel încât el să fie mai rapid, ridicând întrebarea dacă - și cum - ar trebui să fie reglementate.

Campaniile recente de publicitate de către biohackerii Do-It-Yourself (DIY) au primit o mulțime de atenție. Odin, un biohacker startup, vinde kituri DIY Bacterial CRISPR pe site-ul său pentru un preț de vânzare cu amănuntul de 159 USD. Directorul executiv al lui Odin, Josiah Zayner, s-a autoinjectat cu o genă de creștere a mușchiului modificată cu CRISPR la o conferință de biologie sintetică din San Francisco, în octombrie 2017.

Pentru moment, acest tip de biohacking rămâne nereglementat, deoarece a fost autoinjectare și nu experimentare pe alte persoane. Cu toate acestea, FDA nu interzice vânzările care promovează acest tip de auto-injectare în scopuri terapeutice.

Comportamentul imprevizibil al mutațiilor

Chiar și în mediile clinice atent controlate, mutațiile genetice pot fi imprevizibile. În iulie 2018, biologul molecular Lydia Teboul a scris despre potențialul semnificativ pentru rezultate imprevizibile atunci când lucrează cu reactivi CRISPR, în special atunci când folosesc anumite tipuri de material genetic.

„Cu toate că studiul nostru recent se concentrează pe utilizarea de donatori monocatenari, noi și alții am arătat anterior evenimente imprevizibile care decurg din utilizarea de CRISPR / Cas9 singuri sau în combinație cu oligonucleotide, scrie Teboul. "Ca atare, se creează un număr tot mai mare de dovezi care indică faptul că validarea modelului este cea mai nouă provocare pentru comunitatea de editare a genomului".

Cu toate acestea, în timp ce efectele secundare neașteptate ale editării genetice prin utilizarea CRISPR rămân o preocupare serioasă în rândul multor geneticieni, demonstrarea concludentă a riscurilor potențiale s-a dovedit a fi problematică.

În luna mai 2017, cercetătorii de la Centrul Medical al Universității Columbia au publicat o lucrare acum retrasă, care susține că CRISPR ar putea introduce sute de mutații genetice neintenționate în genomurile editate. Cercetătorii au fost forțați să își retraga lucrarea în martie 2018, după ce nu au reușit să reproducă rezultatele inițiale, lăsând multe întrebări fără răspuns cu privire la posibilele reacții adverse CRISPR.

Inegalitatea accesului

CRISPR în sine este o tehnologie ieftină. Cu toate acestea, cercetarea și dezvoltarea aplicațiilor specializate ale CRISPR pot costa companiile de medicamente și laboratoarele comerciale milioane de dolari, ridicând întrebări serioase cu privire la fezabilitatea financiară a unor astfel de tratamente și accesibilitatea acestora de către pacienții care au nevoie cel mai mult de acestea.

În postul său de blog din 2018 , fondatorul Microsoft Bill Gates și-a exprimat optimismul prudent cu privire la potențialul CRISPR în combaterea bolilor, evidențiind în același timp potențialul pentru editarea genetică CRISPR pentru a exacerba inegalitatea accesului la tratamente medicale.

Până în prezent, aceste preocupări par valide. Prima terapie comercială cu genă aprobată în 2017 a costat mai mult de 500.000 de dolari , iar prima terapie genică aprobată pentru aplicații comerciale de către Food & Drug Administration, un tratament numit Luxturna, care tratează o boală rară ereditară retiniană, costă 850.000 de dolari pentru un singur tratament. Aceste prețuri ar pune un astfel de tratamente de editare genetică posibilă prin tehnologia CRISPR, în imposibilitatea de a ajunge la mulți consumatori de asistență medicală.

Preocupările lui Gates au fost ridicate de mulți oameni de știință în ultimii ani, unele asemănând potențialul de inegalitate cu eugenia. Într- un editorial de opinie publicat de The Guardian în 2017 , Dr. David King, fondatorul organizației științifice Human Genetics Alert, a scris:

"Odată ce începeți să creați o societate în care copiii bogați au avantaje biologice față de ceilalți copii, noțiunile de bază ale egalității umane ies pe fereastră".

Cu toate acestea, în timp ce barierele în calea terapiilor genetice comerciale vor fi insurmontabile pentru mulți pacienți, consumatorii nu sunt singurii care încearcă să înțeleagă modul în care CRISPR va schimba peisajul asistenței medicale comerciale, în special în Statele Unite. Datorită naturii unice a multor terapii genetice, aceste tratamente sfidează modelul tradițional de asigurare de sănătate - de a plăti pentru tratamentul în curs de desfășurare în timp - o problemă care ridică întrebări semnificative pentru asiguratori.

După cum a explicat Janet Lambert, directorul executiv al Alianței pentru Medicină Regenerativă, în cadrul unei prezentări privind terapia individuală a celulelor și genei, "produsele din acest spațiu creează provocări de rambursare pentru modul normal de a face afaceri".

În aprilie 2018, cel puțin patru terapii comerciale separate au fost întrerupte din cauza imposibilității financiare, potrivit unui raport publicat de The Independent. Un tratament, o terapie numită Glybera, care a fost dezvoltată pentru a trata o tulburare ereditară foarte rară , cunoscută sub numele de deficiență de lipoproteinlipază, a fost aprobată pentru uz comercial în Europa în 2012, dar a fost întreruptă în 2016 după ce a fost utilizată pentru a trata doar un singur pacient.

Viitorul CRISPR

Aplicațiile viitoare ale tehnologiei CRISPR sunt în esență la fel de infinite ca formele vieții în sine. În timp ce inițiativele actuale sunt în principal orientate spre terapeutică sau tehnologie alimentară, există și câteva aplicații mai puțin proeminente, dar foarte reale ale sistemului CRISPR-Cas9.

Xenotransplantul

Xenotransplantul este actul transplantării celulelor, țesuturilor sau organelor altui animal la un destinatar uman.

Având în vedere cererea mare de transplanturi de organe și lipsa de aprovizionare, xenotransplantul ar putea fi soluția pentru mulți pacienți bolnavi care așteaptă un transplant de organe.

Procesul ar putea arăta astfel:

1. Oamenii de știință ar injecta celule stem umane într- un porc viu.
2. Aceste celule stem umane cresc și se diferențiază într-un tip specific de celule în interiorul aceluiași porc.
3. Celulele stem sunt "educate" prin Cas9 și direcționate pentru a deveni un anumit tip de celule (de exemplu: inimă, ficat, pancreas etc.).

Institutul Salk din California a creat valuri în comunitatea științifică atunci când a anunțat că în ianuarie 2017 a făcut un organism himeră, format din celule de porc și de celule umane.

Xenotransplantul a fost testat anterior la șoareci cu celule stem de șobolan: CRISPR-Cas9 a fost utilizat pentru a dezactiva gena care face pancreasul la șoareci și în schimb, celulele stem de șobolan au fost inserate în embrioni de șoarece. Șoarecii, așa cum au fost programați, au continuat să crească pancreasul șobolanului.

Ulterior, cercetătorii au introdus celule stem umane (cunoscute ca celule stem pluripotente inductibile, sau iPSC) la embrioni de porc. Studiul a fost oprit la 4 săptămâni datorită preocupărilor privind siguranța și eficiența. Cercetătorii au remarcat că unele dintre celulele stem specializate în aceste embrioni de porc se transformă în începuturile țesuturilor umane. În timp ce acest lucru s-a întâmplat la un nivel de succes mai scăzut decât cel observat la pancreasul șobolan de la embrionii de șoareci, acesta a fost un lucru destul de grozav.

Co-fondat de George Church, eGenesis lucrează, de asemenea, în acest domeniu cu scopul de a crea organe de porc pentru uz uman. În august 2017, oamenii de știință au modificat peste 60 de gene în embrioni de porc pentru a scăpa de retrovirusurile pe care corpurile umane le-ar respinge într-un scenariu de transplant.

Dacă cercetătorii reușesc să găsească o modalitate de a crește celulele umane într-un animal viu, ar putea crea organe care să corespundă în mod special unui pacient. Celulele stem ale fiecărui pacient ar putea da naștere la propriul său organ constituit din ADN-ul său unic, reducând riscul de respingere și alte consecințe ale insuficienței de organe.

Terapia genetică ar putea provoca haos evolutiv

Un viitor fără țânțari este, de asemenea, un viitor fără malarie, virusul Zika, virusul chikungunya, febra dengue - lista continuă și continuă. Fără aceste insecte pentru a răspândi boala, viețir ar fi salvate în întreaga lume.

CRISPR ne-ar putea ajuta să ajungem acolo. Dar ceea ce pare a fi o idee bună la suprafață ar putea avea consecințe catastrofale din punct de vedere evolutiv.

În general, fiecare genă are șanse de 50% să fie transferată. Dar unitatea genetică oferă o modalitate de a face un anumit rezultat al moștenirii mai favorabil.

Dacă oamenii de știință modifică gena cu tehnici genetice de editare, ar putea crea o evoluție rapidă.

În decembrie 2016, cercetătorii de la Imperial College din Londra au conceput o modalitate de a elimina întreaga populație de țânțari care poartă parazitul malariei. Planul a implicat utilizarea CRISPR pentru a adăuga o secvență ADN care ar asigura moștenirea părintoară în embrionii de țânțari fără malarie. Pe măsură ce acești țânțari fără boală s-au dezvoltat și s-au maturizat, s-ar fi cuplat cu alți țânțari sălbatici în populație și, eventual, ar opri purtarea malariei.

Oamenii de știință au început, de asemenea, să exploreze transmisiile genetice ca mijloc de reducere a populației altor dăunători comuni, în special a celor cunoscuți pentru purtarea și răspândirea bolilor. Geneticienii de la UC San Diego au explorat folosirea unităților genetice pentru a controla moștenirea anumitor calități genetice la rozătoarele de laborator, potrivit unui articol publicat în Nature în 2018.

Deși tehnologia arată promisiune, ea nu este încă pe deplin înțeleasă. Unii experți se tem că eliberarea prematură a mamiferelor a căror secvență genetică a fost modificată în populațiile sălbatice ar putea din greșeală dăunătorilor deja problematici da mai mult timp pentru a dezvolta rezistențe evolutive.

Ceea ce pare a fi o idee atât de bună pe termen scurt ar putea, de asemenea, să perturbe echilibrul natural al ecosistemelor sălbatice, modificând evoluția naturală. Efectul de domino al consecințelor prin ecosisteme este imposibil de prezis.

Editarea genomului ca armă de distrugere în masă?

În raportul din februarie 2016 privind evaluarea mondială a amenințărilor comunității americane de informații elaborat de James Clapper, fost director al Serviciului Național de Informații, "Genome Editing" a fost enumerată ca o potențială amenințare la adresa securității naturale, subliniată în raportul privind armele de distrugere în masă și de proliferare.

Grupurile de supraveghere genetică cum ar fi EcoNexus și Grupul ETC avertizează că editarea genei poate fi utilizată în mod abuziv. CRISPR ar putea da naștere unei noi generații de arme biologice prin ingineria noilor agenți patogeni sau ar servi drept sursă de inspirație pentru bioteroriști. Dacă o insectă poate purta și transporta toxine, această tehnologie ar putea deveni o armă în mâna grupurilor teroriste.

Agenția pentru proiectele de cercetare avansată în domeniul apărării (DARPA), o agenție a Departamentului Apărării, se pregătește deja pentru astfel de scenarii și dezvoltă antidoturi pe măsură ce găsesc soluții care ar putea inversa efectele dăunătoare asupra genelor.

Războaie de brevete

Jennifer Doudna este creditată pe scară largă prin inventarea tehnologiei originale CRISPR alături de colega ei, Emmanuelle Charpentier, acum director al Institutului Max Planck de Biologie a Infecției din Berlin. Cei doi oameni de știință au depus primul său brevet la Oficiul pentru Brevete și Mărci din SUA (USPTO) în luna mai 2012. În august 2012, Doudna și Charpentier au publicat ceea ce este considerată prima lucrare academică despre CRISPR-Cas9 în revista Science.

Șase luni mai târziu, Institutul Eli și Edythe L. Broad de la MIT și Harvard au depus brevete la USPTO pentru utilizarea CRISPR-Cas9 ca mijloc de modificare a secvențelor ADN ale celulelor eucariote, procedură dezvoltată de biologul molecular Feng Zhang.

Mai târziu, UC Berkley a depus o plângere la USPTO care susține că brevetul lui Zhang a încălcat lucrarea lui Doudna și Charpentier și a cerut ca brevetul lui Zhang să fie invalidat. Acest lucru a provocat o luptă acerbă asupra proprietății intelectuale a CRISPR, care a durat mai mult de trei ani.

Lupta controversată pentru brevetul cheie CRISPR-Cas9 a fost în cele din urmă acordată lui Zhang la Broad Institute de către Oficiul pentru Brevete și Mărci din SUA în februarie 2017. Cu toate acestea, Oficiul European de Brevete (EPO) a revocat unul dintre brevetele Broad în ianuarie 2018, brevetul nu include contribuțiile microbiologului Luciano Marraffini de la Universitatea Rockefeller din New York. Această omisiune a împiedicat Institutul Broad de a

pretinde data priorității celor mai vechi depuneri de brevete din SUA, ceea ce înseamnă că cercetătorii care au utilizat CRISPR în brevetul eucariotelor nu îndeplineau standardele EPO.

Problema proprietății intelectuale a tehnologiilor CRISPR fundamentale pare să fie rezolvată pentru moment. Cu toate acestea, lupte legale similare pot fi abordate prin variații și specializări ale tehnicilor de editare a genei CRISPR, deoarece tehnologia devine tot mai sofisticată și răspândită.

Remarci finale

Peisajul editării genelor ar putea arăta complet diferit în 100, 50 sau chiar 10 ani.

În viitor, ar putea fi normal să se schimbe sau să se genereze gene în plante, animale și chiar ființe umane, care afectează irevocabil gena și evoluția evoluției.

În timp ce unele idei prezentate mai sus pot părea exagerate în acest moment, acestea s-ar putea schimba cu ușurință. La urma urmei, CRISPR nu este o formă scumpă, inaccesibilă de tehnologie. Este disponibilă și în uz acum. De la fermieri la cercetători, CRISPR va avea impact în societatea noastră.

Traducere: Fulga Valkay

Referinta: https://www.cbinsights.com/research/what-is-crispr/?utm_source=CB+Insights+Newsletter&utm_campaign=32e18eb638-Top+Research+Briefs+02+09+2019&utm_medium=email&utm_term=0_9dc0513989-32e18eb638-90182665