

MIECZYŚLAW CHORAŻY

BIOLOGIA MOLEKULARNA – PROBLEMY I GRANICE

Geny są podstawowymi jednostkami dziedziczności. Każda komórka człowieka posiada dwa zestawy genów: jeden od ojca i jeden od matki. Fizycznym nośnikiem genów jest biopolimer zwany kwasem dezoksyrybonukleinowym (ang. deoxyribonucleic acid – DNA), mający postać długiej nici. Geny zajmują określone odcinki nici DNA. Dzięki swoistej budowie DNA, w którym dwa komplementarne pasma łączą się nawzajem przez wiązania wodorowe między podstawowymi ich składnikami – nukleotydami, biopolimer ten ma szczególne właściwości. Znamy cztery rodzaje nukleotydów występujących w DNA. Nazwy ich pochodzą od organicznych zasad wchodzących w skład poszczególnych nukleotydów: adenina – A; guanina – G, tymina – T i cytozyna – C. Budowa chemiczna poszczególnych nukleotydów narzuca możliwość wiązania się między nimi tylko według następującej reguły: jeśli w jednym pasmie występuje A, to w drugim – komplementarnym pasmie musi występować T oraz jeśli w jednym jest G, to w drugim musi być C. Dzięki parom A-T i G-C oba pasma DNA trzymają się w „rejestrze” w postaci długiej, dwupasmowej nici. Nić ta w trakcie syntezy DNA, poprzedzającej podział komórki, jest rozplataną i na obu pasmach matrycowych odtworzona jest identyczna sekwencja nukleotydów do sekwencji w komórce wyjściowej. Dzięki temu geny replikują się w swojej pierwotnej postaci fizycznej. Komplementarność zasad w DNA nadaje temu polimerowi jeszcze jedną, ważną dla manipulowania materiałem genetycznym cechę: swoiste enzymy, tzw. enzymy restrykcyjne mogą przecinać dwupasmowy DNA w ten sposób, że powstają tzw. „lepkie” końce przeciętych fragmentów polimeru. Te „lepkie” końce polimeru umożliwiają dowolne składanie różnych fragmentów DNA, a zatem dowolne składanie różnych genów. Geny determinują budowę pierwszorzędową białek, czyli sekwencję aminokwasów w białku.

I. ZŁOŻONOŚĆ DNA I NIEZWYKŁE METODY ANALITYCZNE

W każdej komórce somatycznej człowieka znajduje się olbrzymia ilość DNA szacowana na $3,2$ do $3,6 \times 10^9$ par nukleotydów. Gdyby cząsteczki DNA wyizolować z pojedynczej komórki i ułożyć je linijnie jedną po drugiej, wówczas łączna ich długość wyniosłaby ponad 1,5 metra! Współczesna biologia molekularna dysponuje potężnymi metodami analitycznymi. Podstawową z nich jest możliwość sekwencjonowania DNA, czyli oznaczania sekwencji poszczególnych nukleotydów w pasmie DNA. Szacuje się, że liczba genów u człowieka sięga od 50 000 do 100 000. Dotychczas znamy sekwencję paru tysięcy genów, a w trakcie programu Human Genome Project stopniowo uzyskamy informacje o coraz to większej liczbie genów i ich lokalizacji w chromosomach. Automatyczne sekwenatory DNA znacznie ułatwią analizę i przyspieszą wykonanie tego zadania.

Geny i przyległe do nich sekwencje nukleotydowe, pełniące doniosłe funkcje regulacyjne, nie tylko mogą być sekwencjonowane, ale można je „wycinać” z DNA, wprowadzać do plazmidów i namnażać w hodowlach bakterii. Można też geny „namnażać” (amplifikować) przy użyciu metod powielania enzymatycznego *in vitro*. Procedura ta wymaga znikomej ilości DNA. Jest to reakcja zwana PCR od angielskiego terminu polymerase chain reaction. Dzięki reakcji amplifikacji możemy otrzymywać wagowe ilości dowolnego genu! Operacja enzymami restrykcyjnymi pozwala na dowolne składanie

sekwencji, np. łączenie dwóch genów lub dwóch ich fragmentów, podłączanie genu pod inne niż swoiste dla niego sekwencje regulatorowe. Na podstawie znajomości sekwencji aminokwasów w określonym białku możemy metodą syntezy chemicznej odtwarzać *in vitro* strukturę genu i uzyskiwać geny syntetyczne.

Wyzolowane z DNA sekwencje genowe można dowolnie zmienić, czyli wprowadzić sterowane, zamierzone mutacje. Naturalne lub zmutowane geny można wprowadzać do komórek zwierzęcych lub ludzkich hodowanych w kulturach. Obserwacja skutków, jakie wywołuje w komórce określony gen dziki, czyli naturalny, lub gen zmutowany, są bardzo przydatne dla poznania funkcji genów, mechanizmów ich aktywacji, wzajemnego współdziałania, mechanizmów supresji itd.

Mając do dyspozycji geny i ich sekwencje regulatorowe, biolodzy uzyskali także możliwość wprowadzania nowych cech dziedziczonych do organizmów potomnych. Transfekcja określonym genem komórek bakteryjnych lub drożdży pozwala na uzyskanie wielkich ilości czystych białek, np. enzymów, hormonów peptydowych, antygenów potrzebnych do przygotowania szczepionek i wielu innych czynników białkowych przydatnych w praktyce medycznej, hodowli zwierząt lub dla celów badawczych. Komórki bakteryjne można bowiem namnażać w ilościach tysięcy kilogramów! Tym sposobem otrzymuje się obecnie np. enzymy rozkładające tłuszcze (lipazy) i białka (peptydazy), stosowane w pralnictwie, i wiele innych pożytecznych białek.

W odniesieniu do zwierząt można także uzyskiwać potomstwo, któremu sztucznie wprowadza się nowe cechy genetyczne. Zilustrujemy to na przykładzie myszy. Od samicy myszy tuż po zapłodnieniu naturalnym pobiera się komórki jajowe, które przenosi się do odpowiedniej pożywki. Do jądra takich jaj przy użyciu mikromanipulatora wstrzykuje się mikrokroplę roztworu z określoną liczbą kopii interesującego nas genu. Jaja te implantuje się następnie do macicy myszy – zastępczej matki, uprzednio przygotowanej hormonalnie. Potomstwo uzyskane w ten sposób będzie posiadało dodatkowy gen. Takie zwierzęta nazywamy zwierzętami transgenicznymi. Transgeniczne myszy są niezwykle cenne dla badań nad rolą i funkcją różnych genów, między innymi takich, które odpowiedzialne są np. za powstawanie chorób dziedzicznych u ludzi, odgrywają rolę w określonych stanach patologicznych itd. Myszy transgeniczne nadają się do badań nad rolą niektórych genów związanych z indukcją i rozwojem nowotworów, ich przetrzutowaniem, supresją itp. Uzyskano już wiele transgenicznych zwierząt hodowlanych o nowych pożytecznych dla człowieka cechach. Na wielu rodzajach roślin przeprowadza się podobne doświadczenia w celu uzyskania nowych odmian roślin opornych np. na niskie temperatury, zakażenia wirusowe, roślin o zmienionym okresie wegetacji, mających nowe właściwości użytkowe, np. lepszy smak, większą plenność, ładniejszy kolor itp.

Innym przykładem manipulacji materiałem dziedzicznym są operacje przeprowadzone na wczesnych embrionach zwierząt. Wyobraźmy sobie, że pobierzemy embrion w bardzo wczesnym okresie rozwoju od czarnej myszy i od myszy białej. Za pomocą mikromanipulatora rozdzielamy komórki embrionalne i mieszmamy komórki „czarne” z „białymi”. Takie hybrydowe embriony wszczepiamy następnie odpowiednio przygotowanej samicy – matce zastępczej. Potomstwo, które narodzi się, będzie miało charakterystyczne ubarwienie włosia: będą to myszy hybrydowe o ubarwieniu w czarno-białe, naprzemienne pasy, przypominające ubarwienie zebry. W ten sposób można uzyskać hybrydy wykazujące inne cechy fenotypowe. Można również dokonywać transplantacji izolowanych jąder wczesnego embrionu do pluripotentnych komórek pnia.

Dla celów badawczych niezwykle przydatne są zwierzęta (głównie myszy), którym usunięto określony gen. W onkologii doświadczalnej uzyskano np. myszy pozbawione jednego z tzw. genów supresorowych, to jest genu hamującego powstawanie nowotworów. Okazało się, że takie myszy zapadają częściej na nowotwory niż myszy normalne.

Niezwykle czułe i finezyjne metody biologii molekularnej ukazały nam świat żywy w innym wymiarze: zrozumieliśmy genetyczną strukturę wirusów i bakterii, poznaliśmy zjawiska rekombinacji DNA w procesie zakażenia i koniugacji, poznaliśmy strukturę wielu genów i rolę przyległych sekwencji otaczających gen w aktywacji lub supresji ge-

nu, mechanizm transkrypcji i translacji, zdarzenia indukujące mutacje i następstwa mutacji, mechanizmy naprawy uszkodzonego DNA, udział genów w procesie cyklu komórkowego, w procesach różnicowania i wielu innych kluczowych procesach biologicznych, a także w etiopatologii chorób. Metody biologii molekularnej służą do identyfikacji genetycznej ludzi, co ma wielkie znaczenie w medycynie sądowej, pozwalają identyfikować swoiste cechy u osobników spokrewnionych. Dzięki metodom analitycznym DNA analizuje się pokrewieństwo zwierząt wymarłych przed tysiącami lat, przez co rozszerza się nasza wiedza o ewolucji gatunków. Analiza mutacji mitochondrialnego DNA w kośpalnych szczątkach ludzkich rozszerza naszą wiedzę o prehistorycznym człowieku i jego przemieszczeniach w skali globu.

II. BIOLOGIA MOLEKULARNA W PRZEMYSŁE, ROLNICTWIE I MEDYCYNIE

Poprzednio podałem kilka przykładów, które ilustrują przydatność biologii molekularnej w badaniach naukowych i niektóre zastosowania użytkowe. Informacje te rozszerzę o zastosowanie praktyczne technik biologii molekularnej, ujmowanych potocznie pod nazwą „klasycznej biotechnologii” lub „inżynierii genetycznej”. Tym terminem określa się zabiegi z rekombinacją DNA, uzyskiwanie hybrydów i inne modyfikacje genomu bakterii, drożdży lub pleśni oraz dobieranie warunków wzrostu dla selekcji szczepów mikroorganizmów najbardziej doskonałych i wydajnych.

Tak modyfikowane mikroorganizmy mogą wytwarzać z dużą wydajnością enzymy, takie jak wspomniane już lipazy i proteinazy dla przemysłu pralniczego, amylazy użyteczne w zagospodarowaniu odpadów skrobiowych, celulazy mające zastosowanie w rozkładaniu odpadów celulozowych, enzymy dla fermentacji etanolowej itd. Ważną dla gospodarki dziedziną jest uzyskiwanie na drodze klasycznej biotechnologii chemikaliów dla przemysłu spożywczego, takich jak kwas mlekowy, kwas cytrynowy, aminokwasy i inne. Uzyskuje się na tej samej drodze szczepy mikroorganizmów, ługujące metale rzadkie z rud metali, siarkę z węgla, szczepy rozkładające węglowodory aromatyczne pochodzące z ropy naftowej lub węgla, co ma duże znaczenie dla oczyszczania ścieków. Przemysły: winiarski, cukrowniczy, tłuszczowy, papierniczy i inne opierają postęp na metodach biotechnologii. Także rolnictwo, np. produkcja pasz, korzysta z tej dziedziny nauki. Zastosowanie mikroorganizmów dla produkcji leków przynosi wiele praktycznych korzyści. Antybiotyki, czynniki stymulujące wzrost określonych komórek, cytokiny (np. interleukina 2), interferon, insulina, czynnik nekrozy nowotworów, antygeny wirusa HIV-1 to tylko krótka lista bioproduktów uzyskanych z mikroorganizmów poddanych manipulacjom genetycznym.

Nie sposób omówić szerokiego zastosowania biotechnologii w rolnictwie i przetwórstwie rolno-spożywczym. Wymienię tylko niektóre zastosowania. Techniki biotechnologii pomagają uzyskiwać materiał nasienny wysokiej jakości, pozbawiony zakażeń wirusowych, pozwalają podnieść plennosć roślin, zmieniać czas wegetacji dostosowany do określonego klimatu, uzyskiwać na drodze wegetatywnej takie gatunki, które dawałyby niski plon nasion, uzyskiwać gatunki odporne na choroby wirusowe, wytrzymujące niskie temperatury lub linie wsobne z hybrydów (mieszkańców). Fuzja protoplastów jest metodą obejścia trudności związanych z uzyskiwaniem międzygatunkowych krzyżówek. Możliwość podnoszenia różnych walorów spożywczych jarzyn i owoców (np. smak, zapach) lub walorów dekoracyjnych kwiatów (nowe barwy i wzory barw, wykroje płatków kwiatowych itp.) zawdzięczamy również biotechnologii.

Oddzielny rozdział to rośliny transgeniczne. Uzyskuje się rośliny o nowych cechach na drodze wprowadzania genów lub ich rekombinantów do izolowanych roślinnych komórek somatycznych przez odpowiednie wektory bakteryjne, mikroinjekcję, transfekcję, ekspozycję protoplastów i inne techniki, a następnie z komórek tak transformowanych hoduje się całą roślinę transgeniczną. Rośliny transgeniczne uzyskuje się dla poprawienia ich plenności, walorów użytkowych, odporności na choroby wirusowe i szkodniki, tole-

rancję na herbicydy i odporność na insekty. W ostatnich latach wielkie zainteresowanie skupia się na roślinach transgenicznym, w których aktywne geny zwierzęce wprowadzone podobnymi metodami produkują odpowiednie białka zwierzęce. Z roślin transgenicznych można uzyskiwać ludzkie przeciwciała, peptydy hormonalne, albuminę, globiny, antygeny dla produkcji szczepionek itp. Jest to zupełnie nowy rozdział biologii molekularnej.

Zwierzęta doświadczalne (najczęściej myszy) mają szerokie zastosowanie w badaniach nad strukturą i funkcją genów. Myszy transgeniczne, którym wprowadza się rekombinanty genów lub geny himeryczne z obcym dla danego genu obszarem regulatorowym, geny celowo zmutowane w określonym nukleotydzie są niezastąpionymi modelami dla badań podstawowych zjawisk z zakresu genetyki i biologii komórki, nieodzownych dla takich dziedzin, jak etiopatologia chorób człowieka. Model myszy transgenicznych przyczynił się do głębszego poznania molekularnych mechanizmów rakowacenia i rozwoju procesu nowotworowego, mechanizmów odporności, procesów wzrostu i różnicowania komórek.

Metody biologii molekularnej, zwłaszcza biotechnologia jest szeroko stosowana w produkcji zwierzęcej. Przy użyciu wspomnianych wielokrotnie metod można uzyskiwać większą rozrodczość zwierząt hodowlanych, uzyskiwać większą masę ciała, lepszą jakość wełny, lepszą mleczność krów. Transgeniczne krowy mogą dawać mleko o zwiększonej zawartości kazeiny, laktoglobuliny, zawierające IX czynnik krzepnięcia, aktywator plazminogenu i inne czynne peptydy i białka ludzkie. Zwierzęta transgeniczne mogą mieć zaprogramowaną genetycznie podwyższoną odporność na choroby zakaźne. Przewodzone są prace nad klonowaniem zwierząt, tj. nad uzyskaniem identycznych osobników przez manipulacje na komórkach wczesnych zarodków i doбором żądanej płci. Ze szpiku świń można uzyskać duże ilości ludzkiej hemoglobiny.

Biologia molekularna przyczyniła się do jakościowego postępu w naukach medycznych. Dzięki niej poznaliśmy wiele molekularnych mechanizmów związanych z embriogenezą, specjalizacją komórek i narządów, wyjaśniliśmy i opisali na poziomie cząsteczkowym przyczyny wielu chorób, poznaliśmy geny odpowiedzialne za dziedziczne choroby i zespoły predysponujące do dziedziczenia wrażliwości na nowotwory. Molekularna diagnostyka prenatalna pozwala na określenie płci płodu i ewentualne nosicielstwo chorobotwórczych mutacji (mutacje globiny w talasemii, dystrofia Duchena, choroby sprzężone z chromosomem X, czynnik VII w hemofilii i inne). Duże znaczenie praktyczne ma molekularna diagnostyka chorób u ludzi i zwierząt, wykrywanie utajonych zakażeń wirusowych i bakteryjnych, zaburzeń endokrynologicznych itp. Wykonuje się też wstępne badania nad „terapią genową” chorób.

III. GRANICE, DYLEMATY I PROBLEMY ETYCZNE

Jak w wielu innych dziedzinach nauki, tak i w biologii molekularnej nowe fakty i odkrycia wprawdzie rozszerzają naszą wiedzę o świecie ożywionym, ale jednocześnie rodzą nowe pytania i proces ten zdaje się nie mieć końca. Biologia molekularna jest u początku nieskończonego procesu poznania. Spojrzenie w coraz to nowe obszary świata molekuł w żywej komórce wzbudza zdumienie o jego nieskończonej złożoności, wzajemnych relacjach i ogromie niepojętej gry atomów, cząsteczek i substruktur komórkowych składających się na to, co nazywamy życiem. Świat cząsteczek w swej złożoności jest jakby drugim biegunem wszechświata, tunelem bez końca, mikrokosmosem o nieskończenie małych wymiarach. To co małe, może być także niepoznawalne do końca.

Geny w DNA człowieka zajmują zaledwie 5-7% sekwencji. Jaka jest rola i skąd powstały sekwencje niekodujące, uważane do niedawna za materiał odpadowy procesu ewolucji? Czy zawarta jest w nich informacja w nieznanym nam jeszcze formie? Ambitny i jednocześnie kontrowersyjny Human Genome Project pozwoli zapewne za kilka lat uzyskać pełną sekwencję DNA wszystkich chromosomów człowieka. Opracowano teore-

tycznie bardzo szybkie metody sekwencjonowania DNA (100-1000 nukleotydów na sekundę!), które – jeśli znajdą rozwiązanie praktyczne – pozwolą na wydatne skrócenie tego projektu badawczego. I co dalej? Czy nie wyłonią się nowe plejady pytań i problemów?

Biologia molekularna w „Jurajskim Parku” pokazana jest od strony popularnego wykładu na temat, jak sklonować dinozaura? Jednak fantazja naukowa przekroczyła tu granice rzeczywistości laboratoryjnej. Najpewniej nigdy nie będziemy w stanie zrekonstruować całego genomu zwierząt, takich jak dinozaury, które wyginęły miliony lat temu, ani skutecznie „zapłodnić” nim jajo współczesnego gada.

Teoretycznie możliwa i mająca niewyobrażalne skutki ekonomiczne myśl, aby do roślin niemotylikowych (zbóż) wprowadzić układ genetyczny, pozwalający na przyswajanie azotu z powietrza, nigdy nie została zrealizowana. Problem okazał się tak złożony, że nie pomogły tu wielkie nakłady finansowe i zaangażowanie kompetentnych zespołów badawczych.

Od modelowania interakcji makrocząsteczek i prostych schematów oddziaływania białko-DNA badacze przyszłości przejdą do stwarzania modeli uwzględniających ruch i oddziaływanie na poziomie atomów i ich elementów składowych. Czy jednak wówczas nie staniemy bezradni wobec gry atomowych mgławic? Czy ponownie nie wróci pytanie Schroedingera „What is Life?”.

Gdzie są granice ludzkiego poznania?

Biologia molekularna rozwiązała wiele teoretycznych i praktycznych problemów i zapewne będziemy jeszcze świadkami nowych odkryć. Jednak jednocześnie zrodziło się wiele niejasności i pytań. Jak głęboko może człowiek ingerować i modyfikować wedle swego uznania świat zwierząt i roślin? Takie pytanie rodzi się często z niepokoju i niejasnego przeczucia zagrożenia własnego bezpieczeństwa. Nieograniczone możliwości manipulowania materiałem genetycznym wzbudzają szacunek dla nauki, ale jednocześnie pobudzają naszą wyobraźnię, rodzą lęki i obawy. Czy nie zdarzy się wypadek, że chimeryczny konstrukt plazmidu, wirusa lub bakterii wymknie się z laboratoriów i czy nie rozprzestrzeni się w niszy ekologicznej człowieka? Czy transformowana bakteria zdolna produkować jad kiełbasiany nie będzie użyta jako broń biologiczna?

Najwięcej kontrowersji i dylematów sprawiają doświadczenia nad zwierzętami transgenicznymi. Zwierzęta udomowione, będące pod całkowitą kontrolą i w całkowitym uzależnieniu od człowieka, nie wzbudzają obaw, jeśli chodzi o podnoszenie ich cech użytkowych na drodze zabiegów transgenicznych. Zabiegi takie traktuje się jako bardziej skuteczne, szybsze i bardziej precyzyjne niż sterowane krzyżowanie. Generowanie transgenicznych zwierząt dzikich budzi jednak zastrzeżenia i obawy, czy takie zwierzęta (ssaki, gryzonie, ryby, owady) wypuszczone na wolność nie zmienią w sposób nieprzewidywalny swojej natury i nie spowodują nieobliczalnych ujemnych skutków w przyrodzie.

Uzyskiwano na drodze manipulacji i mieszania komórek wczesnych zarodków międzygatunkowe chimery zwierząt. Uzyskana w ten sposób „kozy-owca” jest pożąłowania godnym zwierzęciem, u którego występują wymieszane cechy fenotypowe obu wyjściowych gatunków: mieszany pokrój głowy, łaty skóry pokryte wełną owcy lub sierścią kozy itd. Czy takie doświadczenia nie naruszają praw i godności zwierzęcia? U często stosowanej w badaniach muszki owocowej zauważono mutacje prowadzące do najdziwniejszych zmian fenotypowych. Mutacje te są częściowo poznane i dotyczą genów zarządzających organizacją budowy ciała w procesie rozwoju zarodka. Manipulacje takimi genami prowadzą do dramatycznych zmian fenotypowych: na czulec lub nodze rozwija się oko, pojawia się para dodatkowych skrzydeł, w miejscu oka wyrasta noga itp. Takie doświadczenia wzbogacają wprawdzie naszą wiedzę o genetyce rozwoju embrionalnego, ale wzbudzają wątpliwość, czy aby człowiek ma prawo tak głęboko ingerować w życie owada? A. Schweitzer – wielki autorytet moralny – gasił wieczorem lampę, gdy ta była poza domem, aby cmy nie opalały sobie skrzydeł. Współczesny uczonek produkuje owady, które nie potrafią latać, bo wmontowano im w miejsce skrzydeł dodatkowe odnóża.

Bardzo szeroko są dyskutowane problemy związane z manipulacją na wczesnych zarodkach zwierząt, zmierzające do uzyskania wielu egzemplarzy identycznych osobników. Jest to tzw. klonowanie zwierząt. Rodzą się obawy, czy doświadczenia nabyte na zwierzętach nie będą kusily do wykonania podobnych zabiegów na embrionach człowieka. Czy powstaną banki identycznych zarodków, z których jedne staną się dziećmi, a drugie będą spełniać rolę „zapasowych” dawców narządów dla tych pierwszych, gdy będą one w potrzebie?

Oprócz problemów moralnych, techniki i analizy biologii molekularnej stosowane u człowieka stwarzają nowe problemy prawne, socjalne i ekonomiczne. Sztuczna inseminacja, indukowana superowulacja, a także manipulacje na zarodkach z powodzeniem stosowane u zwierząt hodowlanych z łatwością mogą być (a w pewnym wąskim zakresie są) zastosowane u ludzi. Hodowanie w warunkach pozaustrojowych do stanu dojrzałości komórek jajowych pozyskanych z jajnika rozszerza możliwości uzyskiwania wielkiej liczby oocytów, które można zapładniać *in vitro* nasieniem jednego wybranego osobnika i wprowadzać dodatkowe geny, a następnie implantować matce zastępczej. Wyobraźnia człowieka rysuje katastroficzne wizje masowego produkowania osobników selekcjonowanych pod względem określonych cech! Aby uspokoić takie obawy, prawodawstwo wielu państw zakazuje wykonywania niektórych rodzajów zabiegów na zarodkach człowieka. Dobór matki zastępczej, dobór dawcy nasienia stwarza wiele dylematów niespotykanych w sytuacji rozrodu naturalnego. Córka, która ma usuniętą macicę, może być dawczynią komórki jajowej dla zapłodnienia pozaustrojowego, a zarodek taki może wychodować matka córki! Kobieta rasy czarnej może być zapłodniona zarodkiem, którego rodzicami są biali! Jak daleko można się posuwać w tej choreografii nienaturalnego rozrodu?

Wiele nowych problemów podnosi się w odniesieniu do genetycznych badań prenatalnych, zwłaszcza w przypadku, gdy wynik wskazuje na taki rodzaj uszkodzeń genów, który z pewnością ujawni się w postaci ciężkiej choroby. W takich sprawach stanowiska rodziców i świeckich legislatorów są często nieakceptowane przez religię.

Przesiewowe badania genetyczne mogą wykryć nosiciela mutacji, który będzie zagrożony chorobą z prawdopodobieństwem kilkaset razy większym niż osobnicy danej populacji. Czy informacja taka jest osobistą własnością badanego? Czy też może albo musi być udostępniona pracodawcy, agencji działającej w systemie ubezpieczeń zdrowotnych, rodzinie? Każda decyzja nieodzownie pociągnie za sobą skutki prawne, socjalne, ekonomiczne itp.

Biologia molekularna pozwoliła nam bliżej poznać „wspaniały świat” istot żywych. Jednocześnie zrodziła wiele pytań, nadziei i obaw.