

INŻYNIERIA KOMÓRKOWA, KLONOWANIE — SZANSE I ZAGROŻENIA DLA MEDYCYNY XXI WIEKU

Na przełomie 1996 i 1997 roku kulę ziemską obiegnęła wiadomość, wydawać by się mogło jak ze scenariusza filmu fantastyczno-naukowego: w laboratoriach brytyjskich doprowadzono do sklonowania pierwszego ssaka. Tak „wyprodukowana” owca o imieniu Dolly, stała się jednym z najbardziej znanych zwierząt w historii świata, a jednocześnie wydaje się, że nastąpił symboliczny przełom, dający ogromne nadzieje ludzkości na wprowadzenie zupełnie nowych, rewolucyjnych metod leczniczych. Od tego momentu jednakże rozpetęła się ogromna burza, zwłaszcza etycznie-moralna i religijna. Coraz poważniej mówi się o możliwości klonowania ludzi na skalę masową w rozmaitych celach, o nieśmiertelności człowieka z jednej strony, ale z drugiej zadając pytanie — czy ludzkość zmierza donikąd?

HISTORIA

Rozwój biotechnologii to w zasadzie okres po II wojnie światowej. Najważniejszym momentem w historii genetyki, a według wielu naukowców, najważniejszym impulsem dla rozwoju medycyny na najbliższe stulecia, stało się opublikowane w 1953 r. w czasopiśmie „Nature” odkrycie J. Watsona i F. Cricka podstawowej struktury cząsteczkowej kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA). Okazało się, że DNA tworzy geny i w związku z tym jest nośnikiem informacji genetycznej. Odkrycie struktury DNA przesądziło o możliwości podjęcia badań w zakresie inżynierii genetycznej, a także sztucznego klonowania¹.

Próby klonowania zwierząt rozpoczęto od płazów. Pierwsze z nich przeprowadzono jeszcze w latach 50. i 60. XX wieku na żabach. Potem usiłowano nieudolnie klonować myszy (na ówczesnym etapie przeszkodą był zbyt krótki okres od zapłodnienia do różnicowania się komórek, niezbędny dla przeprowadzenia klonowania). W latach 80. przeprowadzono doświadczenia z klonowaniem, polegającym na podziale zarodka na zygotach końskich, bydłęcych, świńskich i owczych. Wreszcie w połowie lat 90. rozpoczęto doświadczenia z najbardziej, jak dotąd,

¹ T. Twardowski, A. Michalska, *Dylematy współczesnej biotechnologii z perspektywy biotechnologa i prawnika*, Toruń 2000.

wyrafinowaną techniką klonowania, polegającą na transferze jąder komórkowych z komórek somatycznych do komórek rozrodczych, uprzednio pozbawionych jąder. Jako pierwsze udane okazały się doświadczenia na owcach, przeprowadzone przez edynburski Roslin Institute (ekipa Iana Wilmuta), które doprowadziły do narodzin owieczki Dolly (1996/1997)².

Szybki rozwój technik klonowania w latach 90. umożliwił także klonowanie człowieka³. Do pierwszych ogłoszonych prób doszło pod koniec roku 1998. Najpierw przeprowadzono doświadczenie prowadzące do stworzenia hybrydy (tworu ludzko-zwierzęcego). W mało znanej i niewielkiej firmie amerykańskiej Advanced Cell Technologies, dr Jose Cibelli przetransferował jądro z komórki somatycznej skóry, uprzednio pobranej od mężczyzny, do oocyty krowy (tj. jaja, z którego uprzednio usunięto jądro komórkowe). Tak powstały zarodek uległ podziałom przez 12 dni, po czym eksperyment zakończono. Później dokonano jeszcze klonowania tego typu w celu wyhodowania komórek (tkanek). Pierwsze klonowanie wyłącznie w obrębie gatunku ludzkiego odbyło się w pracowniach Uniwersytetu Kyunghee w Seulu. W tym przypadku komórka jajowa i jądro komórki somatycznej pochodziło od jednej i tej samej osoby: 20-letniej kobiety. Wskutek klonowania powstał zarodek, którego „rozwój ze względów etycznych i prawnych po pewnym czasie przerwano”⁴.

Jak już wspomniano nie tylko żeńskie komórki somatyczne były materiałem dostarczającym informacji genetycznej dla klonowanej istoty. Oprócz naukowców amerykańskich, próby z męskimi komórkami przeprowadzali także uczeni japońscy (doświadczenia dotyczyły myszy). Oznacza to, że jakkolwiek do klonowania zawsze musi być użyta komórka żeńska, to jednak nie tylko jądro żeńskiej, lecz również męskiej komórki somatycznej może być zasadniczym nośnikiem informacji genetycznej nowego, sklonowanego organizmu⁵.

Rok 2002 to następne szokujące doniesienie medialne — sekta „Raelian” podała, że narodziło się pierwsze sklonowane dziecko — Eva. Wprawdzie nie udało się później potwierdzić tych informacji, ale kto wie?...

GENY, MODYFIKACJA GENETYCZNA, TERAPIA GENOWA

XX-wieczne odkrycia w dziedzinie chemii organicznej, dzięki którym poznano budowę aminokwasów i białek, skłaniały do przypisywania tym właśnie cząsteczkom możliwości przechowywania zakodowanej informacji, przekazywanej komórkom potomnym podczas podziału, po uprzednim jej powieleniu. W jądrze każdej

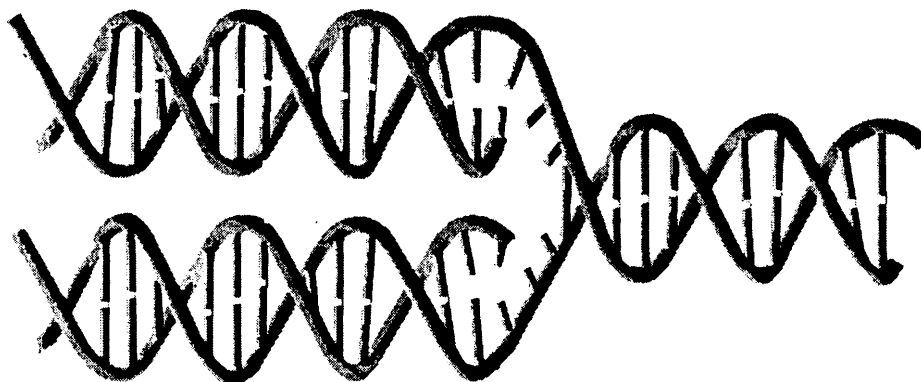
² M. Kurpisz, A. Horst, *Klonowanie — obietnica lepszej przyszłości*, Medycyna Wieku Rozwojowego 1999, t. III, suplement do nr 3 — Czy klonować człowieka? Kontrowersje wokół klonowania.

³ M.C. Nussbaum, C.R. Sunstein, *Czy powstanie klon człowieka? Fakty i fantazje*, Warszawa 2000.

⁴ C. Żekanowski, *Klonowanie — na skrzyżowaniu biologii i kultury*, Medycyna Wieku Rozwojowego 1999.

⁵ A.K. Tarkowski, *Kilka uwag embriologa na temat zagrożeń i korzyści zastosowania techniki klonowania w odniesieniu do człowieka*, Medycyna Wieku Rozwojowego.

komórki czy formy życia zawarta jest informacja genetyczna w postaci nici kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA). Model, odkryty przez Watsona i Cricka, jednoznacznie pokazywał, że cząsteczka DNA ma trwałą strukturę podwójnej, splecionej nici (helisy). Jej stabilność chemiczna wynika z faktu, że nici te łączą się ze sobą parami nukleotydowymi, a ich trwały szkielet jest utworzony z cząsteczek dezoksyrybozy połączonych wiązaniami fosfodiestrowymi (Rys. 1).



Rys. 1. Model replikującej się helisy kwasu dezoksyrybonukleinowego (DNA) — elementarnego nośnika informacji genetycznej.

Oddziaływania par nukleotydowych chronionych przez zewnętrzny szkielet są tak mocne, że w praktyce rozerwanie komplementarnych nici DNA wymaga dużej energii, na przykład ogrzania do ponad 90°C. Konsekwencją takiej budowy chemicznej jest także możliwość odtworzenia cząsteczki DNA na podstawie tylko jednej z nici. W DNA istnieją jedynie dwa rodzaje par nukleotydowych: tymina-adenina oraz cytozyna-guanina. Pojedyncza nić DNA stanowi matrycę, na której nukleotydy układają się w kolejności wynikającej z ich komplementarności. Dzięki zdolności tworzenia par komplementarnych wiernie zostaje odtworzona kopia brakującej nici. Proces kopiowania nici DNA w komórkach nazywa się replikacją.

Cały zapis informacji genetycznej człowieka jest zawarty w postaci 46 podwójnych nici DNA. Tworzą one 23 pary o łącznej długości cząsteczek kilkuset centymetrów. Każda z tych cząsteczek, nazywana chromosomem, w aktywnej metabolicznie komórce jest spleciona z pozostałymi chromosomami. Całość informacji genetycznej zapisanej w chromosomach nazywa się genomem. Natomiast gen jest to podstawowa jednostka informacji genetycznej, zawarta w postaci kwasu DNA, zlokalizowanego w jądrze każdej komórki.

Chromosomy możemy obserwować w mikroskopie świetlnym jedynie w czasie podziału komórkowego, kiedy ulegają kondensacji. Przyjmują wtedy wydłużoną postać, przypominającą literę X.

Istnieją również specjalne rodzaje DNA. Przykładem jest DNA występujący w ludzkich mitochondriach.

Uniwersalność kodu genetycznego jednoczy świat bakterii, roślin i zwierząt. Dzięki tej właściwości kodu jest możliwe produkowanie ludzkich hormonów

i czynników wzrostu w drobnoustrojach, co od kilkunastu lat wykorzystywane jest w przemyśle farmaceutycznym do produkcji m.in. insuliny, hormonu wzrostu, erytropoetyny, interferonów itd. Niestety, ta sama uniwersalność powoduje, że jesteśmy podatni na zakażenia wirusami, które po wtargnięciu do komórek wykorzystują ludzką maszynę genetyczną do namnażania się.

Przekazywanie informacji genetycznej z pokolenia na pokolenie odbywa się dzięki bezbłędnej replikacji DNA — od tysięcy lat genom człowieka zmienił się w zasadzie w sposób minimalny. Dzięki projektowi HUGO w 2005 roku udało się poznać wszystkie geny genomu ludzkiego.

Najpowszechniej na początku XXI wieku stosowaną techniką inżynierii genetycznej jest używanie określonych enzymów do „przecinania” helisy DNA w konkretnym miejscu i zastępowanie fragmentu kwasu nukleinowego innym. Można w ten sposób przebudować geny z jednego organizmu do drugiego — zmieniając tym samym strukturę DNA, a zatem także naturalne cechy genetyczne organizmu. Wszystkie te czynności mogą mieć zdecydowany ukierunkowany charakter. Można także na matrycy zmienionego układu DNA produkować RNA oraz konkretne białka. Takim układem może być na przykład komórka bakteryjna. Taka bakteria nabiera nowych właściwości. Otrzymano w ten sposób wiele zupełnie nowych gatunków bakterii, niejednokrotnie cennych z gospodarczego punktu widzenia.

Generalnie techniki genetyczne mają cztery podstawowe zastosowania:

1. Jak dotąd, najbardziej zaawansowane i najpowszechniej wykorzystywane jest przenoszenie genów do kultur żywych komórek rozmnażanych w laboratoriach. Głównym celem takiego postępowania jest produkcja poza żywym organizmem dużej ilości substancji kontrolujących równowagę biochemiczną ciała ludzkiego (w szczególności reakcje obronne przeciwko chorobom), aby następnie mogły być stosowane w taki sam sposób jak lekarstwa.

2. Drugi kierunek działalności, to terapia genu. Leczenie polega na wprowadzeniu poprawnej wersji nieprawidłowego genu do dotkniętej chorobą części organizmu, jako środka zapobiegawczego lub leczącego chorobę. Celem terapii genowej może być:

a) zastąpienie uszkodzonego przez mutację genu (terapia suplementacyjna) w celu eliminacji wrodzonego defektu genetycznego, ale także zastąpienia genów „odpowiedzialnych” za proces starzenia się komórki, a tym samym tkanki i całego organizmu;

b) hamowanie ekspresji genu, który wymknął się spod kontroli (terapia supresyjna) — leczenie schorzeń spowodowanych niektórymi mutacjami (np. mukowiscydoza, zespół Marfana czy hipercholesterolemia wrodzona);

c) osiągnięcie celowanego efektu niszczącego (terapia destrukcyjna lub celowana):

— poprzez autolizę wybiórczych genomów komórek nowotworowych,
— poprzez wprowadzenie zmutowanego genu kodującego polipeptyd kapsydu wirusa i zahamowanie zakażenia;

d) zbudowanie matrycy namnażającej białko — enzym telomerazę, który może hamować proces starzenia się organizmu.

3. Trzeci rodzaj zastosowania inżynierii genetycznej to przenoszenie genów do roślin. Jest ono stosowane w praktyce, a badania nad nimi są znacznie bardziej zaawansowane niż nad terapią genową u ludzi. Celem jest uzyskanie wydajniejszych i odpornych na choroby roślin w sposób dużo szybszy i efektywniejszy, niż może to być dokonane dostępnymi obecnie metodami hodowlanymi.

4. Wreszcie geny mogą być wprowadzane do organizmów zwierząt tak laboratoryjnych w celach badawczych, jak i gospodarskich aby poprawić np. wydajność mleka, mas ciała, zawartość tłuszczu czy odporność na choroby. Ostatecznym, ambitnym powodem dołączania genów jest użycie zwierząt (w sposób dla nich nieszkodliwy) do wytwarzania nowych leków z naturalnych czynników obronnych ludzkiego organizmu, a przez to uwolnienie się od pracochłonnej hodowli komórkowych prowadzonych w laboratoriach.

ZAPŁODNIENIE, ROZWÓJ ZARODKA

Normalny proces zapłodnienia rozpoczyna się penetracją plemnika do komórki jajowej. W celu zachowania stałej ilości materiału genetycznego okres przygotowań gamet obejmuje zmniejszenie do połowy ich materiału genetycznego. Zapłodnienie trwa około 24 godzin, połączenie materiału genetycznego oocyta i plemnika tworzy zygotę. Zygota dzieli się co około 20 godzin, powstałe komórki blastuli nazywa się blastomerami. Stadium 16 blastomerów to morula, która opuszcza jajowód i przekształca się w 4. dobie w blastocystę. Blastocysta jest zbudowana z trofoblastu — warstwy płaskich komórek otaczających jamę, wewnętrzna grupa komórek blastocysty to embrioblast; blastocysta w 5. lub 6. dobie zagnieżdża się w błonie śluzowej macicy. Stopniowo następują podziały komórkowe i różnicowanie się komórek — najpierw w tzw. listki zarodkowe (3 podstawowe linie komórkowe: ekto — endo — i mezoderma), a następnie w określone linie tkankowe i docelowe narządy.

KOMÓRKI MACIERZYSTE, INŻYNIERIA KOMÓRKOWA, KLONOWANIE

Wiele światowych laboratoriów genetycznych pracuje od kilkunastu lat nad zastosowaniem komórek macierzystych w terapiach przyszłości. Komórki macierzyste, zwane też komórkami pnia, są komórkami, w których nie została zablokowana zdolność do różnicowania się w określone, inne linie komórkowe, występujące w organizmie. Ze względu na pochodzenie i sposób ich pozyskiwania wyróżnia się komórki macierzyste:

1. Embrionalne (ESC — ang. *Embryonic Stem Cells*), które można uzyskać z:
 - z embrionów ludzkich uzyskiwanych metodą zapłodnienia *in vitro*,
 - z embrionów uzyskiwanych metodą klonowania.

Duże zainteresowanie komórkami pochodzącymi z wczesnych embrionów ludzkich (stadium blastocysty) spowodowane jest zwłaszcza tym, że komórki te są liczne, łatwo dostępne, a w przypadku klonowania są immunologicznie zgodne z dawcą jądra, dzięki czemu można je u dawcy jądra zastosować w celach

terapeutycznych⁶. Dawca jądra, będący zarazem biorcą przeszczepu z tak uzyskanych komórek macierzystych, nie wymaga pokonania bariery zgodności tkankowej. W ten sposób medycyna wybiera najłatwiejszy sposób nie tylko pozyskiwania, ale przyszłego stosowania komórek macierzystych⁷.

Ponadto komórki macierzyste, pobrane z rozwijającego się tworu embrionalnego, odznaczają się wspaniałą wręcz plastycznością — potrafią nabyć specjalizację, czyli przekształcić się w każdy specyficzny rodzaj tkanki organizmu, np. w komórki zębiny, komórki skóry, komórki kościotwórcze, kurczliwe komórki mięśniowe, czy nawet komórki nerwowe. Embrionalne komórki macierzyste można pozyskiwać z 5- lub 6-dniowych płodów, tworzących w tym okresie rozwoju blastocyste⁸. Komórki zewnętrzne blastocysty utworzą łożysko, a komórki wewnętrzne (20–100 komórek), które dadzą początek wszystkim narządom, to właśnie totipotencjalne komórki macierzyste, zdolne do utworzenia wszystkich tkanek i narządów ustroju.

2. Komórki płodowe, charakteryzujące się mniejszym stopniem tzw. plastyczności, czyli zdolności przekształcania się w określone linie komórkowe czy tkankowe. Komórki te można uzyskiwać z:

- z tkanki płodu po poronieniu czy aborcji,
- z krwi pępowinowej podczas porodu.

Krew pępowinowa, pozostająca po porodzie w naczyniach łożyska i łożyskowej części pępowiny, jest łatwo dostępnym źródłem uzyskiwania komórek macierzystych. „Ostatnio wykazano, że zawiera ona, oprócz komórek krwiotwórczych, komórki macierzyste dające początek innym liniom komórkowym, np. komórkom kościotwórczym, komórkom układu nerwowego”⁹. Mimo, że komórki macierzyste z krwi pępowinowej lub dorosłego organizmu na obecnym etapie rozwoju medycyny „są trudniejsze do zastosowania klinicznego w porównaniu z embrionalnymi komórkami macierzystymi, to jednak ich wykorzystanie nie budzi zastrzeżeń etycznych”¹⁰.

3. Dorosłe komórki macierzyste, (ASC — ang. *Adult Stem Cells*), które, jak nie tak dawno odkryto, posiadamy w tkankach wymagających regeneracji, odbudowy i produkcji, mają one jednak znacznie bardziej ograniczoną plastyczność — komórki szpiku przekształcają się głównie w komórki dynamicznej struktury kości oraz w komórki krwi. Komórki w hipokampie, bardzo ważnej części naszego mózgu, dają początek funkcjonalnym komórkom nerwowym. Posiadamy również komórki dające początek naszej warstwie skórnej. Komórki te uzyskujemy:

⁶ T. Biesaga, *Komórki macierzyste i klonowanie człowieka — nadzieje i zagrożenia*, Medycyna Praktyczna 10(2004).

⁷ Z. Pojda, E.K. Machaj, A. Gajkowska, T. Ołdak, M. Jastrzevska, *Badanie potencjalnej przydatności klinicznej komórek macierzystych uzyskiwanych z krwi pępowinowej*, Postępy Biol. Komórki, 2003; 30 (supl. 21).

⁸ Z. Pojda, *Kliniczne zastosowania komórek macierzystych — stan obecny i perspektywy: nowotwory*, J. Oncol., 2002; 52.

⁹ T. Biesaga, *Komórki macierzyste i klonowanie człowieka — nadzieje i zagrożenia*, Medycyna Praktyczna 10(2004).

¹⁰ K. Inoue, N. Ogonuki, Y. Yamamoto i wsp., *Tissue-specific distribution of donor mitochondrial DNA in cloned mice produced by somatic cell nuclear transfer*. *Genesis*, 2004; 39.

- z organizmu ludzkiego¹¹,
- ze zwłok¹².

Dorośle komórki macierzyste są wyspecjalizowane w produkcji konkretnych tkanek i posiadają naturalne blokady, dzięki którym nie rozwijają się niekontrolowanie. Chroni nas to przed niebezpiecznymi procesami różnicowania, które mogą doprowadzić do rozwoju nowotworu. Ostatnie badania wykazują jednak, że dorośle komórki macierzyste posiadają niespodziewanie duży potencjał do przekształcania się w obce im tkanki i mogą mieć duże zastosowanie w inżynierii tkankowej oraz terapii przewlekłych chorób.

Klonowanie w genetyce oznacza technikę pozwalającą otrzymać identyczne pod względem zawartości informacji genetycznej i zdolne do jej powielania struktury kwasów nukleinowych. Stopień złożoności tych struktur jest bardzo zróżnicowany. Najprostsze z nich, plazmidy są kolistymi cząsteczkami DNA, których wielkość nie przekracza zazwyczaj 10 000 par zasad, najbardziej złożoną strukturą jest jądro komórki człowieka.

Biorąc pod uwagę możliwość wytwarzania różnorodnych komórek potomnych, komórki człowieka dzieli się na totipotencjalne, pluripotencjalne, multipotencjalne i unipotencjalne. Totipotencjalną komórką, czyli taką, która może się rozwinąć w każdy typ komórki, jest zawsze zygota. Pluripotencjalne komórki mogą się różnicować w komórki pochodzące z różnych listków zarodkowych. Multipotencjalne komórki mogą dać początek komórkom pochodzącym z jednego listka zarodkowego i mają mniejszy zakres różnicowania się (na przykład z ektodermy powstają neurony, nabłonki, komórki gruczołowe, a z mezodermy — komórki mięśniowe). Komórki unipotencjalne to takie, które mogą wytworzyć tylko jeden typ komórek¹³. W miarę rozwoju organizmu komórki budujące nasze tkanki tracą tę plastyczność pozostając przy swojej funkcji.

Obecnie stosowane techniki klonowania pozwalają otrzymywać żywotne i rozwijające się zarodki z komórek jajowych pozbawionych własnego materiału genetycznego (enukleowanych), które w popularnym nazewnictwie „technicznym” nazywane są ooplazmą. Po wprowadzeniu do oocytu jądra komórki innego osobnika — a jądro takie może pochodzić nie tylko z komórki innego zarodka, ale także ze specjalnie przygotowanych komórek somatycznych — następuje przeprogramowanie przeniesionego jądra, a powstała chimera zaczyna się dzielić i przekształcać w zarodek wykazujący właściwości totipotencjalne lub przynajmniej pluripotencjalne. Tak uzyskane komórki są identyczne w zakresie antygenów transplantacyjnych z dawcą jądra komórki somatycznej; po ich przeszczepieniu nie występuje zjawisko odrzucania.

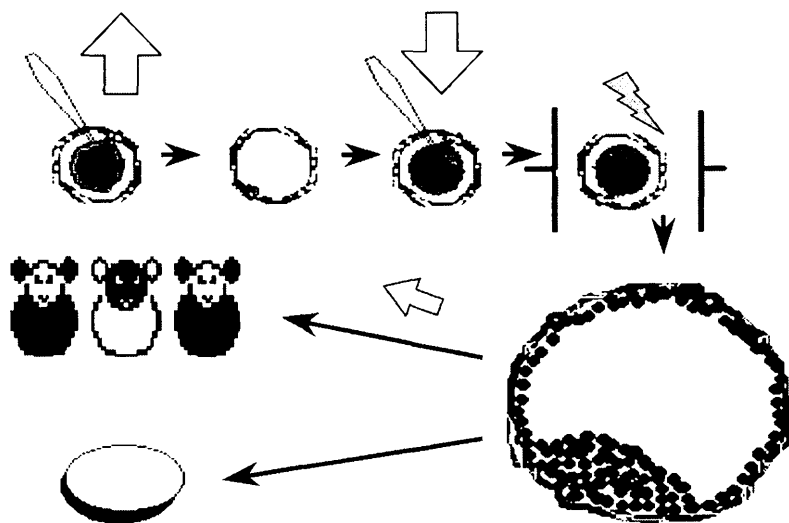
Sklonowany embriion za pomocą wyżej opisanej techniki nazywa się chimerą, gdyż współistnieją w jego komórkach mitochondria (wcześniej wspomniano o DNA mitochondrialnym, które także jest nośnikiem pewnej części informacji

¹¹ Z. P o j d a, *Kliniczne zastosowania komórek macierzystych — stan obecny i perspektywy: nowotwory*, J. Oncol., 2002; 52.

¹² Z. Z a l e w s k i, *Czy istnieją granice postępu w badaniach naukowych w medycynie?: spór o komórki macierzyste*, Sztuka Leczenia, 2002; 8.

¹³ W. K o r o h o d a, *Inżynieria komórkowa i tkankowa na początku XXI wieku — nowe nadzieje i nowe zagrożenia*. Prace Komisji Zagrożeń Cywilizacyjnych PAU, 2002; 5.

genetycznej) zarówno dawcy, jak i biorcy. Szczegółowe badania nad komórkami określonych narządów sklonowanych ssaków pokazały, że w organizmie dorosłym wiele ważnych narządów, np. wątroba czy mózg, uzyskuje posiada w swoich komórkach informację genetyczną zawartą w strukturze DNA mitochondrialnego pierwotnie pochodzącego z oocytu¹⁴.



Rys. 2. Technika klonowania metodą transplantacji jąder komórkowych. Etapy — enukleacja komórki jajowej i wprowadzeniu do niej jądra innej komórki. Pod wpływem impulsu elektrycznego dochodzi do rekonstrukcji komórki i jej rozwoju. Taki sklonowany zarodek można wykorzystać w celu założenia hodowli tkankowych lub przenieść go do macicy samicy, w której nastąpi rozwój płodu.

U kopytnych, których łożysko jest zbudowane z większej liczby warstw niż u człowieka, mogą się dodatkowo pojawić w zarodku mitochondria pochodzące z organizmu ciężarnej, do którego zarodek implantowano¹⁵. Należy tu zaznaczyć, że białka kodowane przez DNA mitochondriów są nieobecne na powierzchni komórek, stąd nie powodują negatywnej odpowiedzi odpornościowej.

¹⁴ S. Hiendleder, D. Bebbere, V. Zakhartchenko i wsp., *Maternal-fetal transplacental leakage of mitochondrial DNA in bovine nuclear transfer pregnancies: potential implications for offspring and recipients*, Cloning Stem Cells, 2004; 6.

¹⁵ T. Biesaga, *Komórki macierzyste i klonowanie człowieka — nadzieje i zagrożenia*, Medycyna Praktyczna 10(2004).

SZANSE I PERSPEKTYWY

Obiecującą technologią najbliższej przyszłości jest terapia genowa. Wydaje się, że już niedługo będzie można ją wykorzystać na skalę masową, w celu już wspomnianego leczenia chorób spowodowanych uszkodzeniem jakiegoś genu, chorób zakaźnych, a nawet nowotworów.

Inne możliwości zastosowań to np. hodowanie roślin ze wszczepionymi szczepionkami przeciwko groźnym chorobom dla człowieka (niskie koszty uzyskanie masowej odporności są nie do pogardzenia w krajach biednych).

Natomiast komórki macierzyste, dzięki już zdobytym doświadczeniom w dziedzinie biologii zwierząt, mogą być wykorzystywane do:

— transplantacji narządów (na obecnym etapie można hodować z komórek macierzystych: neurony, komórki skóry, kardiomiocyty, komórki mięśni szkieletowych, trzustki, tarczycy i płuc)¹⁶;

— terapii genowej (np. leczenie białaczek);

— badań przesiewowych i toksykologicznych leków;

— biologicznej syntezy niektórych leków;

— tworzenia modeli chorób człowieka;

— badań nad rozwojem zarodkowym, karcynogenezą i różnicowaniem;

— w badaniach genomowych i ekspresji genów.

Obecnie, do eksperymentalnie testowanych zastosowań terapii komórkami macierzystymi w neurologii należy leczenie choroby Parkinsona, stwardnienia bocznego zanikowego, wrodzonych miopatii oraz poprzecznych uszkodzeń rdzenia. W cukrzycy próbuje się odtworzyć aparat wysepkowy trzustki; analogiczne zastosowanie komórki macierzyste mogą znaleźć w leczeniu wielu endokrynopatii.

Osobiście największe perspektywy widzę w przyszłości w wykorzystaniu opisywanych już dojrzałych komórek macierzystych człowieka. Rysujące się trudności natury technicznej, jak pokazuje historia, zawsze są do przezwyciężenia, natomiast takie działanie rodzi o wiele mniej sprzeciwów etyczno-moralnych.

Pozyskane w dostatecznie dużej liczbie odmłodzone i zgodne tkankowo komórki macierzyste — obecnie taką możliwość daje tylko transfer jądra komórki somatycznej — wykazują szereg właściwości będących do niedawna marzeniem medycyny eksperymentalnej

O możliwości regeneracji mięśnia sercowego uszkodzonego przez zawał z użyciem komórek macierzystych pochodzących ze szpiku u myszy donosił już w 2001 roku zespół Piero Anversy z New York Medical College¹⁷. Przez następne lata nie powiodły się próby powtórzenia jego eksperymentów, a u ludzi, którym podawano ich własne szpikowe komórki macierzyste poprawa hemodynamicznej czynności serca była znikomo mała i wyniosła po 6 miesiącach zaledwie 6%¹⁸.

¹⁶ D. Orlic, J. Kajstura, S. Chimenti i wsp., *Bone marrow cells regenerate infarcted myocardium*, Nature, 2001; 410.

¹⁷ K.C. Wollert, G.P. Meyer, J. Lotz i wsp., *Intracoronary autologous bone-marrow cell transfer after myocardial infarction: the BOOST randomised controlled clinical trial*, Lancet, 2004; 364.

¹⁸ R. Lanza, M.A.S. Moore, T. Wakayama i wsp., *Regeneration of the infarcted heart with stem cells derived by nuclear transplantation*, Circ. Res. 2004; 94.

Tym większe nadzieje budzą próby leczenia zarodkowymi komórkami macierzystymi, które poza kardiomiocytami i układem przewodzącym odtworzyły, w modelu mysim, w pełni funkcjonalne krążenie wieńcowe. Naukowcy już przeprowadzali próby kliniczne na pacjentach po ataku serca i zawale, którzy otrzymywali serie zastrzyków w uszkodzoną tkankę z ich własnych komórek macierzystych pobranych ze szpiku kostnego. Pacjenci podlegający tej terapii wykazywali znaczną poprawę, ich rekonwalescencja trwała krócej, a ich serca były kilkakrotnie bardziej wydajne w pompowaniu krwi¹⁹.

Inne doświadczenia udowodniły możliwość generacji komórek mięśniowych szkieletowych z komórek szpiku, a także wykazały dobroczynne działanie transplantu z komórek szpiku w leczeniu dystrofii mięśniowej u myszy. Co ciekawe, do eksperymentu użyto samczych komórek, a organizmem docelowym była samica²⁰.

Okazuje się także, że komórki skórne — fibroblasty biorą udział w formowaniu nowych włókien mięśniowych, po transplantacji do regenerującego się mięśnia²¹.

Pojawia się również coraz więcej sygnałów, że komórki szpiku kostnego potrafią również generować komórki wątrobowe w odpowiedzi na uszkodzenia, jak i również brać czynny udział w fizjologicznej wymianie komórek w tej tkance. Takie hepatocyty dostarczone przez komórki szpiku kostnego zaobserwowano podczas doświadczeń na myszach²². Co więcej, o takich procesach u ludzi przekonano się analizując komórki wątroby u pacjentek, które otrzymały przeszczep szpiku kostnego od mężczyzn. Można było u nich znaleźć hepatocyty z chromosomem Y^{23, 24}.

Do uznanych zastosowań komórek macierzystych zaliczają się przeszczepy komórek hemopoetycznych. Dobre wyniki dotyczą przeszczepów allogenicznych zarówno komórek macierzystych z krwi obwodowej od dawców stymulowanych filgrastimem (G-CSF), jak i komórek macierzystych krwi pępowinowej²⁵.

Ponadto szpikowa generacja komórek mezenchymalnych jest zdolna do tworzenia *in vitro* adipocytów, chondrocytów i osteocytów wchodzących w skład układu kostnego — komórki takie, przeszczepione dzieciom z wrodzoną łamliwością kości wykazują pozytywne działanie i duży potencjał kliniczny. Istnieją pewne dowody, że omawiane komórki mogą również generować nie tylko mezenchymalne tkanki — są również zdolne do wytwarzania astrocytów (komórek pomocniczych układu nerwowego) i najprawdopodobniej neuronów (komórek przekazujących sygnały

¹⁹ J.K. Fraser i wsp., *Adult stem cell therapy for the heart*, Int. J. Biochem. & Cell Biol. 36(2004).

²⁰ E. Gussoni i wsp., *Dystrophin expression in the mdx mouse restored by stem cell transplantation*, Nature 1999.

²¹ V.E. Petersen i wsp., *Bone marrow as a potential source of hepatic oval cells*, Science 1999.

²² J. Salij, *Doświadczenia z ludzkimi embrionami w świetle normy personalistycznej*, Medycyna Wieku Rozwojowego, 2001, V, Supl. I do nr 1.

²³ M.R. Alison i wsp., *Hepatocytes from non-hepatic adult stem cells*, Nature 2000, 406:257.

²⁴ N.D. Theise i wsp., *Liver from bone marrow in humans*, Hepatology 2000, 32:11–16.

²⁵ Y. Coher, A. Nagler, *Umbilical cord blood transplantation — how, when and for whom*, Blood Rev., 2004; 18.

nerwowe) po wstrzyknięciu do noworodkowej tkanki mózgowej²⁶. Stosunkowo niedawno dwa zespoły odkryły niezależnie oznakowane neurony w mózгах myszy, które uprzednio otrzymały przeszczep szpiku kostnego^{27, 28}, co zwróciło uwagę naukowców na tę część komórek szpiku.

W Europie prowadzi się już próby kliniczne regeneracji ludzkiego rdzenia kręgowego po urazach. Komórki macierzyste pobierane są z komory nosowej i przeszczepiane w region uszkodzonego rdzenia podczas jednego zabiegu chirurgicznego. Terapia wydaje się obiecująca w rekonwalescencji niedawnych urazów.

Zwolennicy **klonowania**, zarówno reprodukcyjnego, jak i niereprodukcyjnego, wykazują największe perspektywy tej metody na gruncie medycznym czy też medyczno-ekonomicznym. Klonowanie daje bowiem możliwość leczenia chorób, zwłaszcza nowotworowych, chorób serca, choroby Alzheimera, choroby Parkinsona, powstrzymanie starzenia się. Niektóre źródła podają klonowanie jako najbardziej wysublimowaną technikę leczenia niepłodności. Stwarza ono też duże szanse na dokonanie przełomu w chirurgii plastycznej czy też w zakresie autotransplantacji narządów. Należy także wspomnieć o podnoszonych perspektywach natury psychologicznej czy socjologicznej, w odniesieniu do klonowania reprodukcyjnego, które daje możliwość stworzenie własnego kлона, ale także „zastąpienia” bliskiej osoby, która zmarła.

Klonowanie jest także elementem realizacji marzenia wielu wybitnych naukowców i wizjonerów o nowym, doskonalszym gatunku. Pragnienie pokierowania dalszą ewolucją i osiągnięcie doczesnej nieśmiertelności, wydaje się głębszą przyczyną tak wielkiego zainteresowania klonowaniem organizmu człowieka.

ZAGROŻENIA

Rozwój inżynierii genetycznej niesie za sobą również zagrożenia. Używane w terapii genowej wirusy mogą dokonać zmian w złym miejscu, uszkadzając prawidłowy gen. Terapia genu ma już pierwszą ofiarę — Jesse Gelsinger miał mieć wyleczoną wątrobę, jednak po podaniu wirusów, organizm podjął silną walkę z nimi, przez co chłopak zmarł.

Zagrożeniem są także niedawne ataki bioterrorystyczne w USA i innych krajach. Szybki rozwój biotechnologii ułatwia terrorystom dostęp do nowych materiałów, mogą modyfikować wirusy i bakterie tak, aby nie działały na nie szczepionki czy farmakologiczna terapia celowana. Takie choroby, to np. wąglik, dżuma, ospa prawdziwa, wirusy gorączek krwotocznych (ebola, marburg i inne).

Niebezpieczne może być zaatakowanie upraw roślin lub hodowli zwierząt. Taka operacja jest obecnie ułatwiona, ponieważ populacje hodowane są z reguły mało

²⁶ G.C. Kopen, *Marrow stromal cells migrate throughout forebrain and cerebellum, and they differentiate into astrocytes after injection into neonatal mouse brains*, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 1999.

²⁷ T.R. Brazelton i wsp., *From marrow to brain: expression of neuronal phenotypes in adult mice*, Science 2000.

²⁸ E. Mezey i wsp., *Turning blood into brain: cells bearing neuronal antigens generated in vivo from bone marrow*, Science 2000, 290.

zróznicowane genetycznie, więc wszystkie osobniki mogą być nieodporne na dany czynnik chorobotwórczy.

Należy się także poważnie obawiać ewentualnych praktyk modyfikowania genotypu, czyli wprowadzania zmian przekazywanych dziedzicznie, ponieważ nieusuwalnych²⁹.

Inżynieria genetyczna jest bardzo obiecującą technologią, jednak trzeba stworzyć normy prawne i społeczne regulujące jej badania. Należy na nią uważać, ponieważ użyta w celu zdobycia szybkiego zysku, jest krótką drogą do stworzenia i pogłębienia „cywilizacji śmierci”.

Zagrożenia spowodowane rozwojem i użyciem na szerszą skalę techniki klonowania można podzielić na 4 grupy:

Grupa 1 — to zagrożenia medyczne:

a) Odsetek odległych niepowodzeń w technice transferu jądra komórki somatycznej jest nadal duży. U tak uzyskanego bydła zwraca uwagę na przykład duża częstość występowania śmierci okołoporodowej spowodowanej wadami wrodzonymi serca i płuc³⁰, a podczas kilkuletniej obserwacji nawet u 80% zwierząt rozwija się nadciśnienie płucne i kardiomiopatia zastoinowa³¹. Stwierdzono także przyspieszenie procesów katabolizmu i tym samym biologicznego starzenia się organizmów.

b) Technika przenoszenia jądra komórki somatycznej wyklucza skuteczność leczenia chorób mitochondrialnych u dawcy, gdyż jego własna populacja tych organelli przeważałaby w tkankach krytycznych dla choroby.

c) Trudne do przewidzenia są konsekwencje medyczno-populacyjne rozmnażania bezpłciowego.

d) Niebezpieczeństwa związane z brakiem wiedzy na temat horyzontalnego przepływu genów i wirusów zwierzęcych zdolnych do przenoszenia zwierzęcego DNA, gdyby w klonowaniu uczestniczyły zwierzęta.

e) Brak wiedzy na temat procesów starzenia i płodności klonów ludzkich.

f) Największym chyba zagrożeniem biologicznym jest zagrożenie bytu gatunku ludzkiego — nieodwracalnymi zmianami genetycznymi i wszelkimi innymi konsekwencjami związanymi z taką manipulacją.

Grupa 2 — zagrożenia prawne.

a) Klony ludzkie zmieniają zasady prawa. Życie klonów może w wielu kodeksach nie być nowym życiem człowieka. Powstaje zasadnicze pytanie — kto podejmie decyzję, czy klon jest pełnoprawną formą życia (zwłaszcza w kontekście klonowania terapeutycznego).

b) Ogromny problem dotyczy także kwestii rodzicielstwa: co z dawcą materiału genetycznego, co z dawcą komórki jajowej (której wprawdzie pozbawiono jądra z materiałem genetycznym ale pozostawiono np. geny mitochondrialne) a co z kobietą, w której macicy zostanie zagnieżdżony sklonowany zarodek³²?

²⁹ S. Li, Y. Li, W. Du i wsp., *Aberrant gene expression in cloned bovine of neonatal death*, Biol. Reprod, 2004.

³⁰ J.R. Hill, A.J. Roussel, J.B. Cibelli i wsp., *Clinical and pathologic features of cloned transgenic calves and fetuses (13 case studies)*, Theriogenology, 1999.

³¹ K. Berger, *Protecting the unborn clone: can law and science evolve together?*, Med. Law. 2005 Sept; 24(3).

³² Ustawa o zawodzie lekarza.

Grupa 3 — zagrożenia ekonomiczne.

a) Klonowanie reprodukcyjne człowieka wiąże się z wysokimi nakładami inwestycyjnymi i ogromnym ryzykiem gospodarczym.

b) Można się obawiać, że wykorzystanie genów służyć będzie celom przynoszącym korzyści przede wszystkim bogatym, uprzemysłowionym krajom.

c) Powszechne wprowadzenie technik genetycznych może znacznie zubożyć naturalne zasoby mikroorganizmów, których uzyskiwanie, nie tylko dla celów np. klonowania, stanie się niezwykle kosztowne.

Grupa 4 — zagrożenia religijne, etyczne, moralne i psychologiczne.

a) Klonowanie jest sprzeczne z prawem do życia i rozwoju, godnością człowieka, prawem do poszanowania życia małżeńskiego i rodzinnego, jest moralnie niegodziwe, niszczy fundamenty życia społecznego, wiąże się z niebezpieczeństwem manipulacji socjotechnicznych, gdzie człowiek jest tylko instrumentem.

b) Bardzo niebezpieczne jest stworzenie embrionu, który ma jedynie przedłużyć życie kogoś, bez swojej zgody poświęcając dla niego życie.

c) Sprowadzanie embrionu ludzkiego do statusu komórek somatycznych naszego organizmu, które bez zastrzeżeń etycznych wykorzystuje się w badaniach naukowych czy w terapii.

Negatywna ocena etyczna klonowania embrionów ludzkich jest związana z ich potencjałem rozwojowym umożliwiającym wykształcenie kompletnego organizmu. Niemożliwe jest dokonanie rozgraniczenia między zarodkiem uzyskanym techniką transferu jądra komórki somatycznej a zapłodnieniem *in vitro* lub naturalnym zapłodnieniem komórki jajowej. Bez względu na potrzeby i okoliczności poczęcia wszystkie one charakteryzują się — jakkolwiek z różnym prawdopodobieństwem — rozwojem prowadzącym do urodzenia się dziecka.

Stąd też najwięcej wątpliwości budzi status embrionu — czy to jest człowiek? Współczesne poglądy odpowiedzi etyczne na to pytanie są dwojakie: albo definiują zarodek od początku jako istotę ludzką albo wskazują moment późniejszy w jego rozwoju, od którego „zaczyna się” człowieczeństwo (np. stadium zygoty, moment implantacji, rozwój układu nerwowego, teoretyczna zdolność do samodzielnego życia czy też narodziny).

Ciekawym wydają się także badania ankietowe w niektórych krajach Unii Europejskiej (tylko tzw. „starych” członków), z których wynika, że 31% społeczeństwa popiera klonowanie ludzkich komórek, 49% akceptuje klonowanie pod warunkiem zachowania określonych zasad, 15% zdecydowanie je odrzuca.

UREGULOWANIA PRAWNE

Polska

Można ze wstydem stwierdzić, że uwarunkowania prawne dotyczące manipulacji genetycznej, a zwłaszcza najbardziej jej zaawansowanych technik, jak klonowanie człowieka, w polskim prawodawstwie są jedynie szątkowe.

Ustawa o zawodzie lekarza z 5 grudnia 1996 roku zapewnia lekarzowi wolność sumienia w swoich działaniach. Jej art. 39 stwierdza, że lekarz może się powstrzymać od „wykonania świadczeń zdrowotnych niezgodnych z jego sumieniem”³³.

Wydaje się, że największą potrzebę prawnych, szczegółowych uregulowań w sprawie ochrony genomu ludzkiego widzi same środowisko lekarskie. Naczelna Rada Lekarska w swoim stanowisku (21/21/00/III) z dnia 15 września 2000 r. stwierdza, że genom ludzki powinien podlegać ochronie. W szczególności niedopuszczalne jest wywoływanie dziedzicznych zmian genetycznych u ludzi, klonowanie ludzi, eksperymentowanie na ludzkich embrionach, niedopuszczalne są działania eugeniczne, zwłaszcza selekcja istot ludzkich według kryteriów genetycznych. Naczelna Rada Lekarska zwraca się do Parlamentu RP o podjęcie działań legislacyjnych w celu stworzenia w Polsce prawa gwarantującego ochronę genomu ludzkiego uwzględniającego powyższe stanowisko — jednak do dnia dzisiejszego jednoznacznych uregulowań we wskazanym zakresie nie doczekaliśmy się.

Europa

Aktem najpełniej odnoszącym się do opisywanych zagadnień jest „Konwencja o prawach człowieka i biomedycynie” przyjęta przez Komitet Ministrów 4.04.1997 r. oraz Protokół dodatkowy w sprawie zakazu klonowania istot ludzkich z 12 I 1998 r.

Z ciekawszych zapisów można prześledzić art. 3:

Art. 3.1 Gwarancja poszanowania integracji fizycznej i psychicznej;

Art. 3.2 — swobodna i świadoma zgoda osoby zainteresowanej;

— zakaz praktyk eugenicznych (szczególnie selekcja osób);

— zakaz wykorzystywania ciała i jego części jako kopii fizycznych.

Protokół o klonowaniu zakazuje klonowania reprodukcyjnego ludzi jako takich. Nie staje natomiast na przeszkodzie (z zastrzeżeniem art. 18 regulującego bardzo ogólnie kwestię badań na embrionach *in vitro*) klonowaniu komórek czy tkanek, ani klonowaniu dla celów diagnostycznych czy terapeutycznych (art. 13 Konwencji). Nie reguluje też sytuacji, gdy naturalne klonowanie jest rezultatem leczenia hormonalnego niepłodności u kobiet — wszystko to uzależnia od rozwiązań krajowych

Większość państw członkowskich Wspólnoty podpisało Konwencję, lecz nie uczyniły tego Austria, Belgia, Irlandia, Niemcy i Wielka Brytania. Spośród członków UE Konwencję i Protokół o klonowaniu ratyfikowały jedynie Hiszpania i Grecja. Zarazem Holandia podpisując Protokół (29 IV 1998 r.) złożyła deklarację interpretacyjną co do art. 1, wyjaśniając, iż przez „istotę ludzką” będzie rozumiała wyłącznie jednostkę ludzką, tzn. istotę ludzką, która przyszła na świat. Można mieć wszakże w kontekście bezwzględного zakazu klonowania oraz ochrony godności i prawa do życia embrionu ludzkiego poważne wątpliwości co do dopuszczalności tego typu deklaracji, mimo iż w Sprawozdaniu wyjaśniającym

³³ T. Twardowski, A. Michalska, *Kontrowersje — klonowanie*, Medycyna Wieku Rozwojowego, 2001, V, Supl. I do nr 1.

wskazuje się (pkt 6), że zdefiniowanie zakresu wyrażenia „istota ludzka” pozostawione zostało prawodawstwu krajowemu.

Nie ma zatem jednolitych norm europejskich w zakresie klonowania człowieka. W aktualnym stanie prawnym Unii Europejskiej odnaleźć można, jedyną póki co, dyrektywę podejmującą problematykę biotechnologii w odniesieniu do człowieka. Jest nią dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej z 6 VII 1998 r. nr 98/44 o ochronie prawnej wynalazków biotechnologicznych. Harmonizacja wynalazków dokonana w dyrektywie nie ma charakteru pełnego. Objęła ona jedynie zasady ogólne. Dyrektywa nie zmierza przy tym ani do zastąpienia, ani do uczynienia zbędnym prawa krajowego, europejskiego i międzynarodowego, które zawierałoby ograniczenia lub zakazy bądź odnosiłoby się do kontroli badań oraz użycia lub komercjalizacji ich wyników. Państwa członkowskie zobowiązane są zapewnić skuteczność rozwiązaniom przyjętym w dyrektywie, w razie potrzeby także za pomocą sankcji karnych³⁴.

Aktem wykorzystanym w dziedzinie biotechnologii jest również decyzja. Posłużyła ona do wylansowania specyficznych programów naukowo-badawczych w sferze biotechnologii. Ich podstawą prawną są przepisy z zakresu badań i rozwoju technologicznego.

Z regulacyjnego punktu widzenia we Wspólnocie kluczowe znaczenie ma rozróżnienie klonowania reprodukcyjnego i niereprodukcyjnego. To drugie nie jest wszakże doprecyzowane na podobnej zasadzie, jak klonowanie reprodukcyjne.

Wspólnota Europejska plasuje się bliżej stanowiska przeciwników klonowania. Wyraźnie artykułuje przy tym swój sprzeciw wobec klonowania prowadzącego do powstania nowych istot ludzkich, godząc się na klonowanie niereprodukcyjne, dokonywane w celach terapeutycznych. Jej postawa jest motywowana głównie racjami etycznymi. Negatywne zdanie na temat klonowania reprodukcyjnego wyrażone zostało w postaci trzech zakazów: zakazu klonowania jako zasady ogólnej prawa, zakazu rejestracji patentów obejmujących klonowanie oraz zakazu finansowania z budżetu Wspólnoty Europejskiej projektów wiążących się z klonowaniem. Wspólnota nie jest przeciwna klonowaniu jako takiemu. Jest przeciwko klonowaniu reprodukcyjnemu ze względu na odpowiedzialność i konieczność ochrony przed instrumentalizacją człowieka, zwłaszcza w ramach tzw. eugeniki³⁵.

Świat

Kwestia zaawansowanych technik modyfikacji genetycznej, a zwłaszcza klonowania terapeutycznego podzieliła świat i końcowe decyzje o zakazie badań nad komórkami embrionalnymi zostały podjęte niedawno. Organizacja Narodów Zjednoczonych na 82. sesji plenarnej, 8 marca 2005 r. przyjęła Deklarację Narodów Zjednoczonych w sprawie absolutnego zakazu klonowania człowieka. Za deklaracją głosowało 71 krajów, przeciw 35 (w tym Polska!), wstrzymały się 43 kraje, nie

³⁴ C. Mik, *Europejskie prawo wspólnotowe...*

³⁵ A. Przyłuska-Fischer, *Etyczne problemy genetyki — zarys problematyki*, „Prawo i Medycyna” 1999, vol. 1, nr 4.

głosowały 42 kraje. Deklaracja jest bardzo ogólna i lakoniczna, chociaż w swoim brzmieniu jednoznaczna. Szczegółowe kwestie zostały powierzone poszczególnym państwom Organizacji Narodów Zjednoczonych. Wielka Brytania i Szwecja są jak na razie najbardziej radykalnymi państwami, które zalegalizowały klonowanie terapeutyczne.

Nad deklaracją Narodów Zjednoczonych duże piętno wywarła między innymi „Deklaracja powszechna w sprawie genomu ludzkiego i praw człowieka”, przyjęta przez Konferencję Generalną UNESCO 11 XI 1997 r.³⁶.

Deklaracja powszechna stwierdza, że u podstaw ochrony genomu ludzkiego znajduje się przekonanie o fundamentalnej jedności wszystkich członków rodziny ludzkiej oraz uznanie ich przyrodzonej godności i różnorodności (art. 1). Deklaruje ona prawo każdego człowieka do poszanowania jego godności i praw niezależnie od cech genetycznych. Godność ta sprzeciwia się redukcji człowieka do jego cech genetycznych oraz nakazuje poszanowanie jego unikalności i różnorodności ludzi (art. 2). W dokumencie tym uznaje się też, że genom ludzki, który z natury swej ewoluuje, podlega mutacjom. Zawiera potencjał, który znajduje różny wyraz, zależnie od środowiska naturalnego i społecznego jednostek, w tym stanu zdrowia, warunków życiowych, odżywienia oraz edukacji (art. 3). Deklaracja stanowi też, że żadne badania lub ich zastosowania dotyczące ludzkiego genomu, w szczególności w dziedzinach biologii, genetyki i medycyny, nie mogą przeważać nad poszanowaniem praw człowieka, podstawowych wolności oraz godności ludzkiej (art. 10). Jednoznacznie postanawia się: praktyki, które są sprzeczne z godnością ludzką, takie jak klonowanie reprodukcyjne istot ludzkich, są niedopuszczalne. Wzywa się państwa i organizacje międzynarodowe do współpracy w zakresie identyfikacji takich praktyk oraz podejmowania na szczeblu krajowym lub międzynarodowym środków koniecznych do zapewnienia poszanowania zasad ustanowionych w Deklaracji (art. 11). W art. 12 dodaje się również, że korzyści z biologii, genetyki i medycyny dotyczące genomu ludzkiego muszą być dostępne dla wszystkich, z należyty uwzględnieniem godności i praw człowieka każdej jednostki. Wolność badań, która jest konieczna dla postępu wiedzy, stanowi część wolności myśli. Zastosowania badań, w tym biologii, genetyki i medycyny dotyczące genomu ludzkiego powinny zapewniać ochronę przed cierpieniem i służyć poprawie zdrowia jednostek oraz ludzkości jako całości³⁷.

Większość naukowców jest zdania, że na obecnym etapie rozwój możliwości ingerencji genetycznych, do klonowania włącznie, powinien być przyjmowany na równi z entuzjazmem jak i sceptycyzmem. Nie jesteśmy obecnie w stanie stwierdzić, jak daleko możliwości techniczne mogą doprowadzić ale i jakie wyniknąć mogą z tego zagrożenia. Badania nad inżynierią komórkową czy terapią genową są obecnie jedną z najbardziej atrakcyjnych dziedzin w biologii eksperymentalnej i medycynie, możemy spodziewać się więc znacznych postępów

³⁶ A. Michalska, T. Twardowski, *Prawo człowieka do integralności genetycznej*, PiP 1999, nr 5.

³⁷ T. Twardowski, A. Michalska, *Kontrowersje — klonowanie*, Medycyna Wieku Rozwojowego, 2001, V, Supl. I do nr 1.

jeszcze w tej dekadzie. Naukowcy mają w swoim ręku potężne narzędzia jakie ofiaruje im biologia molekularna, należy się tylko zastanowić jak je użyć. Wydaje się, że problem etyczny związany z manipulacjami genetycznymi pozostanie przez jeszcze długi czas nierozwiązany, dlatego przełomowe odkrycia w kwestii dorosłych komórek macierzystych są bardzo pożądane i powinny pogodzić obie strony konfliktu, łącząc je w jeden cel: dobro ludzkości³⁸.

* Referat wygłoszony podczas Konferencji Naukowej „Ku rzeczom nowym naszych czasów — inspiracje Jana Pawła II dla społeczności” (Elbląg, 30 marca 2006).