

emberklónozást,¹⁰ Severino Antinori és Panos Zavos pedig minél nagyobb médianyilvánosságra törekedve dédelgetnek hasonló ambíciókat. Az emberklónozás megvalósítása előtt álló akadályok lényegesen kisebbek, mint amelyek a preimplantációs diagnosztizálást vagy a gésebészetet illetően fennállnak, és jobbára az emberkísérletek biztonsági és etikai problémáival kapcsolatosak.

A CSECSEMŐK MEGTERVEZÉSÉHEZ VEZETŐ ÚT

A modern géntechnológia végső célja a „megtervezett csecsemők” előállítása lesz.¹¹ Más szóval, a genetikusok azonosítani fogják az intelligenciáért, a testmagasságért, a hajszínt, az agresszivitásért vagy az önbecsülésért „felelős géneket”, és e tudást arra használják fel, hogy „tökéletesebb” gyermekeket alkossanak. A kérdéses génnek nem is kell feltétlenül emberből származnia. A mezőgazdasági biotechnológia végső soron szolgáltatott már példát ilyesmire. A Ciba Seeds (ma Novartis Seeds) és a Mycogen Seeds által 1996-ban bemutatott Bt kukorica jellemzője, hogy DNS-ébe egy olyan, máshonnan származó gént ültettek, amely tartalmazza a különféle rovarkártévkre, például az európai kukoricafalóra mérgező hatású *Bacillus thuringiensis* baktérium egyik fehérjét (innen a Bt elnevezés). Az ily módon létrejött, genetikailag módosított növény önmagát védi meg a különféle kártevőktől, és e tulajdonságát ráadásul örökíti utódaira is.

Nagyon messze vagyunk még attól, hogy hasonló eljárás emberi lények esetében is megvalósítható legyen. Gésebészeti beavatkozásra kétféleképpen kerülhet sor; egyfelől a szomatikus génterápia, másfelől a csírvonal génmanipulációja révén. Az első módszer nagyszámú célsejt DNS-ének megváltoztatására irányul, rendszerint úgy, hogy egy vírus vagy „vektor” közvetítésével új, módosított genetikai állományt juttatnak a szervezetbe. Az utóbbi években nemegy kísérlet zajlott a szomatikus génterápiával kapcsolatban, viszonylag csekély sikerrel. A fő problémát az jelenti, hogy a szervezet sokbillió sejtéből épül fel, és a terápia

hatékonyságához többmillió sejt genetikai állományát szükséges megváltoztatni. A kérdéses szomatikus sejtek a páciens halálával (vagy már előbb) elpusztulnak, minek folytán a módszernek nincsenek az utódnemzedékeken is észlelhető következményei.

A csírvonalat érintő génmanipulációt viszont nap mint nap alkalmazzák a mezőgazdasági biotechnológiában, és már számos állat esetében is sikeresen megvalósították. A csírvonal módosításához, legalábbis elméletben, elegendő akár a DNS egyetlen molekuláját megváltoztatni a megtermékenyített petesejtben, amely végül majd osztódásnak indul és emberi lényvé fejlődik. Miközben a szomatikus génterápia csupán a szomatikus sejtek DNS-ét módosítja, és ezért csupán arra a személyre hat, aki a kezelésben részesül, a csírvonalon végrehajtott beavatkozások következményei az utódokon is megmutatkoznak. Ez nyilvánvalóan vonzóvá teszi az eljárást olyan örökletes rendellenességek esetében, mint például a cukorbetegség.¹²

A jelenleg zajló új kutatások egy részének középpontjában a mesterséges kromoszómák állnak, amelyeket a negyvenhat természetes kromoszóma mellé ültetnek be. Effele kísérletek csak olyan személyeken végezhetők, akik elég idősök ahhoz, hogy a szükséges tudnivalókat megfontolva adják beleegyezésüket, ami pedig a beültetett kromoszómát illeti, az nem öröklődik az utódokra.¹³ Az eljárás nem teszi szükségessé a meglévő kromoszómák géneinek módosítását vagy eltávolítását. A mesterséges kromoszómák így összekötő hidat képezhetnek a preimplantációs szelekció és a csírvonal maradandó megváltoztatása között.

Mielőtt azonban emberen hajtánának végre ilyesfajta génmanipulációt, számos komoly akadályt kell leküzdeni. Az első akadály a probléma rendkívül összetett voltából következik, és nem kevesen vélik úgy, hogy a magasabb rendű viselkedésformák befolyásolása gésebészeti úton egyszerűen lehetetlen. Korábban már utaltunk rá, hogy sok betegséget rengeteg gén egymással való interakciója okoz; és az is elmondható, hogy egy-egy génnek

korántsem csupán egyetlen hatása lehet. A kutatók egy időben úgy vélték, hogy minden egyes gén egy hírvivő RNS-t állít elő, utóbbi pedig egy fehérjével teszi ugyanezt. Ha azonban az emberi génkészletben lévő gének száma közelebb van a 30 000-hez, mint a 100 000-hez, ez az elképzelés tarthatatlan, ugyanis testünket 30 000-nél jóval több fehérje építi fel. Ebből az következik, hogy a gének többfunkciósak, azaz egy-egy gén sokféle fehérje keletkezésében játszik szerepet. A sarlósejtes vérszegénységért felelős génallélnak köszönhető például a maláriával szembeni ellenálló képesség, ami általánosan jellemző a feketékre, azon egyszerű oknál fogva, hogy Afrikában a malária az egyik leghétköznapiabb betegség volt. A sarlósejtes vérszegénységet okozó gén megjavítása ezért aztán növelheti a maláriára való érzékenységet, ami Észak-Amerikában csak keveseket érintene, ám komolyan veszélyeztetné az új gén hordozóit Afrikában. A gének az ökoszisztémához hasonlíthatók, amennyiben mindegyikük összefüggésben áll mindegyikükkel: Edward O. Wilson szavaival, „az öröklődésben, akár csak a környezetben, nem lehet csak egyetlen dolgot csinálni. Ha egy gént mutációval megváltoztatnak vagy kicserélik egy másik génnel, az alkalmasint kiszámíthatatlan és esetleg nemkívánatos mellékhatásokkal jár.”¹⁴

Az emberen végrehajtott génmanipuláció második fontos akadálya az emberkísérletek etikai vonatkozásaiból fakad. Az Országos Bioetikai Tanácsadó Bizottság mindenekelőtt az emberkísérletek veszélyére hivatkozott, amikor az ember közeli jövőben való klónozásának megtiltására tett indítványt. Ahhoz, hogy Dolly megszülessen, hozzávetőlegesen 270 sikertelen próbálkozásra volt szükség.¹⁵ Jóllehet a kudarcok jelentős hányada még az implantációs szakasz során következett be, az azóta klónozott állatok mintegy harminc százaléka súlyos rendellenességekkel jött a világra. Mint korábban utaltunk rá, Dolly megrövidült telomerekkel született, és valószínűleg rövidebb ideig fog élni, mint egy normális módon fogant bárány. Vélhetően senki nem akar embert klónozni addig, amíg nincs a mostaninál jóval nagyobb esély a

sikerre, ráadásul nem várt problémák évekkal azután is jelentkezhetnek, hogy sor került az első eredményes próbálkozásra.

A klónozás veszélyeivel még fokozottabban kell számolni génsébeszeti beavatkozás esetén, tekintettel arra a rendkívül szerteágazó és bonyolult kapcsolatrendszerre, amely a gének és a fenotípusra gyakorolt hatásuk között fennáll.¹⁶ A szándékolatlan következményekre vonatkozó törvény itt még inkább érvényesül: egy bizonyos betegségre való érzékenységet felelős gén rendelkezhet másodlagos, sőt harmadlagos hatásokkal is, amelyek a génmanipuláció végrehajtásának idején nem ismeretek, évekkal később vagy esetleg az utódokban azonban felszínre kerülhetnek.

Az emberi természet módosítása előtt egy harmadik akadály is tornyosul. Még ha a génsébeszet meg tudna is birkózni a két említett problémával (jelesül azzal, amit a gének rendkívül bonyolult kölcsönhatásai, illetve az emberkísérletek veszélyei jelentenek), és sikerülne előre megtervezett csecsemőt előállítani, az „emberi természet” csak abban az esetben változna, ha a módosítások statisztikailag szignifikáns módon a népesség egészét érintenék. Az Európa Tanács ajánlást tett a csíravonal-kísérletek tiltására, azon az alapon, hogy e kísérletek érinthetik „az emberiség genetikai örökségét”. Mint azt számosan észrevételezték, ez az aggodalom nem igazán megalapozott: „az emberiség genetikai öröksége” óriási génállományt és benne még több különböző allélt jelent. Ezen allélok módosítása, eltüntetése vagy újakkal való gyarapítása, amíg csak szórványosan fordul elő, nem az egész emberi faj, csupán egy-egy személy örökségére gyakorol hatást. Az, hogy egy maroknyi tehetős ember génmanipuláció által akarja elérni, hogy magasabb vagy okosabb legyen a gyermeke, semmilyen befolyással nem lesz a fajunk egyedeit általában jellemző magasságra és intelligenciára. Fred Iklé szerint az emberi faj eugenikai eszközökkel való nemesítését célzó próbálkozások mindegyikét igen gyorsan közömbösíteni fogja a természetes népességnövekedés.¹⁷

Azt jelenti-e vajon mindez, hogy az előre látható jövőben nem lesz lehetséges az emberi természet érdemi módosítása? Számos okból helyénvaló tartózkodni egy ilyen elhamarkodott ítélet kimondásától.

Először is az étellel foglalkozó tudományok ismeretanyagának és technológiájának terén figyelemre méltó és nem várt sebességű fejlődés tapasztalható. Az 1980-as évek végén határozott egyetértés mutatkozott a genetikusok között abban, hogy felnőtt emlős szomatikus sejtjéből nem hozható létre klón, márpedig ezt a nézetet Dolly születése 1997-ben megcáfolta.¹⁸ Nem is olyan régen, az 1990-es évek elején, a szakemberek úgy vélték, hogy a Humán Genom Projekt befejezésére valamikor 2010 és 2020 között fog sor kerülni, mármint a tulajdonképpeni dátum, amikor az új, számítógépes eljárások alkalmazásával a munka befejeződött, 2000 júliusa volt. Semmiképpen nem jósolható meg előre, hogy az eljövendő években miféle újítások születnek majd, melyekkel áthidalható lesz a feladat komplexitása. Példának okáért, az agy nem más, mint az úgynevezett komplex alkalmazkodó rendszerek archetípusa – olyan rendszer, amely számos alkotórészből áll (az adott esetben neuronokból és más agysejtekből), az alkotórészek viszonylag egyszerű szabályok szerint működnek, ám e szabályok rendkívül összetett viselkedéseket eredményeznek. Azok a kísérletek, amelyek az agy működésének kezdetleges számítási módszerekkel való modellezésére irányulnak – például oly módon, hogy megpróbálják lemásolni a sokmilliárd neuronkapcsolatot –, szinte bizonyosan kudarcra vannak ítélve. Egy komplex adaptív modell használatával azonban, ami éppen a rendszerszintű komplexitást igyekszik megragadni, már jóval nagyobb esély mutatkozhat a sikerre. Ugyanez mondható el a gének kölcsönhatásait illetően is.

A gének és génkölcsönhatások rendkívül összetett, sokfunkciós voltából nem következik az, hogy csak akkor kerülhet sor génmanipulációra, amikor már minden lényeges információnak birtokában leszünk. A tudomány fejlődését soha nem ez jelle-

mezte. A gyógyszergyárak nap mint nap fejlesztenek ki, tesztelnek és engedélyeztetnek új termékeket anélkül, hogy pontosan tudnák róluk, miképpen fejtik ki a hatásukat. A farmakológiában gyakorta megesik, hogy egy-egy újdonság mellékhatásai sokáig, esetleg évekig ismeretlenek maradnak, illetve hogy egy gyógyszer más gyógyszerekkel együtt vagy megváltozott körülmények között alkalmazva olyan hatást fejt ki, amilyenre senki sem számított. A génsebészet először egyszerűbb problémákkal fog megbirkózni, hogy azután egyre összetettebb feladatokat oldjon meg. Valószínű ugyan, hogy a magasabb rendű viselkedések sokféle gén kölcsönhatásának következtében jönnek létre, de nem tudjuk, hogy ez minden esetben így van-e. Akár véletlenül is elkövethetünk olyan, viszonylag egyszerű genetikai beavatkozásokat, amelyek drámai viselkedésváltozásokat eredményeznek.

A nehézségek, amelyekbe az emberkísérletek ütköznek, komolyan hátráltatják a génsebészet fejlődését, ám semmiképpen sem leküzdhetetlenek. Akárcsak a gyógyszeresztetek esetében, eleinte állatok fogják viselni a kockázatok java részét. Az, hogy mely kockázatok lesznek elfogadhatók az ember számára, attól függ majd, hogy milyen előnyök várhatók a beavatkozástól: egy olyan betegség, mint a Huntington-kór, ami az esetek ötven százalékában előbb-utóbb halált okoz, ráadásul a benne szenvedők utódaira is örökíthetik a hibás allélt, más elbírálás alá fog esni, mint az izomtónus vagy a kebelméret módosítása. A pusztán tény, hogy egy beavatkozásnak nem várt vagy csak hosszú távon megmutatkozó mellékhatásai lehetnek, nem fogja visszaretteníteni a genetikai gyógy-módban reménykedő embereket, vagy legalábbis a fenntartások nem lesznek nagyobbak, mint az orvostudomány történetének korábbi szakaszaiban voltak más terápiákkal szemben.

Hasonlóképpen nyitott az a kérdés, hogy valaha is eléggé nagy létszámú populáción mutatkoznak-e majd a génsebészet pozitív vagy negatív következményei ahhoz, hogy maga az

emberi természet megváltozzék. Nyilvánvaló, hogy nagy tömegeket csak olyan gésebészeti beavatkozások érinthetnek, amelyek kívánatos hatásúnak, biztonságosnak és viszonylag olcsónak ígérkeznek. A gyermekek megtervezése eleinte annyira drága lesz, hogy csak a gazdagok engedhetik meg maguknak. Hogy a gyermektervezés valaha is olcsó és elterjedt eljárás lesz-e, azon múlik, hogy milyen gyorsan csökken az ára az olyan eljárásoknak, mint például a preimplantációs diagnosztizálás.

Mindazonáltal léteznek már példák arra, hogy az orvostudomány fejlődése sok millió ember egyéni döntése következtében populációsztintű változásokat eredményez. Elég a jelenlegi ázsiai gyakorlatra utalnunk: az olcsó ultrahangos vizsgálat és az egyszerűen megoldható abortusz miatt drámai mértékben megváltozott a nemek aránya. Koreában például az 1990-es évek elején 122 fiú jutott 100 leánygyermekre, miközben a normális arány 105 a 100-hoz. A Kínai Népköztársaságban az eltérés valamivel alacsonyabb, amennyiben 100 leányra 117 fiú jut, miközben Észak-India egyes részein még aszimmetrikusabbak a számok.¹⁹ A közgazdász Amartya Sen szerint Ázsiában a művi vetélések miatt 100 millióval kevesebb lány van annál, mint amennyi természetes módon lenne.²⁰ Mindezen társadalmakban törvénytelen a szexuális szelekció céljával abortuszt végezni, de a kormányzati tilalom ellenére a szülők fiú örökös utáni vágya máris komoly elmozdulást eredményezett a nemek arányában.

A férfiak és a nők arányának lényeges megváltozása fontos társadalmi következményekkel járhat. A XXI. század második felére Kínában olyan helyzet alakulhat ki, hogy a házasodókorban lévő férfi lakosság egyötöde nem lesz képes párt találni magának. Súlyos bajok előidézésére keresve sem lehet ennél jobb receptet találni, tekintetbe véve az egyedülálló fiatal férfiak hajlamát a kockázatvállalásra, a lázadásra és a bűnözésre.²¹ Egy ilyen szituációból előnyök is származnak majd: a nőknek, mivel kevesebben lesznek, lehetőségük nyílik hatékonyabb érdekérvényesítésre a

párválasztás terén, és kiegyensúlyozottabb kapcsolatban élhetnek azzal a férfival, aki feleségül veszi őket.

Senki sem tudja, lesz-e olyan idő, amikor a gésebészeti beavatkozások annyira olcsók és könnyen elérhetőek lesznek, mint az ultrahangos vizsgálat vagy az abortusz. Sok függ attól, hogy milyen előnyökkel fog kecsegtetni egy ilyen beavatkozás. Napjaink bioetikusai leginkább azon félelmüket hangoztatják, hogy ilyesfajta génmanipulációt csupán a gazdagok engedhetnek majd meg maguknak. Ha azonban a jövőben a biotechnológiája biztonságos és hatékony eljárást fejleszt ki például a gyermekek intelligenciájának növelésére, a tét mindjárt sokkal nagyobb lesz a jelenleginél. Egy ilyen forgatókönyv megvalósulása esetén nagyon is elképzelhető, hogy egyes fejlett, demokratikus jóléti államok ismét az eugenika mezejére lépnek, ezúttal nem azért, hogy megakadályozzák az alacsony intelligenciájú emberek szaporodását, hanem azért, hogy segítsék a genetikai okok miatt kevésbé intelligens embereket saját IQ-juk, valamint utódaik IQ-jának emelésében.²² Ilyen körülmények között az állam gondoskodna arról, hogy az eljárás olcsó és mindenki által igénybe vehető legyen. Márpedig igen valószínű, hogy egy efféle intézkedés hatásai az egész populáció szintjén érvényesülnének.

Az, hogy a génmanipuláció nem kívánt következményekkel járhat és hogy esetleg soha nem hoz olyan eredményeket, mint amilyenekben némelyek reménykednek, nem jelent biztosítékot arra, hogy soha senki nem fog megpróbálkozni vele. A tudományos-technikai fejlődés történetéből számtalan példát ismerünk olyan eljárásokra, amelyeket hosszú távon érvényre jutó hatásaik miatt módosítottak, vagy egyáltalán nem is alkalmaztak többé. Eleendő arra gondolnunk, hogy a fejlett világban a legutóbbi

¹⁹ Marcia Guttentag és Paul Secord szerint a szexuális forradalom és a hagyományos családmodell válsága az Egyesült Államokban részben annak következménye volt, hogy az 1960-as és 1970-es években a férfiak javára változott meg a nemek aránya. Lásd Marcia Guttentag – Paul Secord: *Too Many Women? The Sex Ratio Question* (Newbury Park, Calif., Sage Publications, 1983).