



### Η βιοτεχνολογική επέμβαση στο ανθρώπινο γένωμα – Μια προοπτική θεώρηση

Σε προηγούμενο σχόλιο<sup>1</sup> ασχοληθήκαμε με τους βιολογικούς κινδύνους που συνεπάγεται η υιοθέτηση της Βιοτεχνολογίας σαν αναπτυξιακού στόχου μέσα στα πλαίσια της σύγχρονης πολιτικής για τον τεχνολογικό μετασχηματισμό των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών. Ή-

ταν μια προσπάθεια να εντοπισθούν, σε γενικές γραμμές, οι ανησυχίες της παγκόσμιας κοινής γνώμης γύρω από τους βιολογικούς κινδύνους που εγκυμονεί η συνειδητή επέμβαση πάνω στο γενετικό υλικό, οι ευρύτερες διαστάσεις της αντιμέτωπής τους από τους μοριακούς βιολόγους, και οι παράγοντες που έχουν επηρεάσει τη διαμόρφωση της εθνικής πολιτικής των βιομηχανικά αναπτυγμένων χωρών πάνω στο θέμα του ελέγχου της έρευνας και της μεταφοράς των αποτελε-

σμάτων της από το εργαστήριο στην παραγωγή.

Τρία βασικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν, στα πλαίσια της σφαιρικής αυτής διάταξης του γενικότερου προβλήματος των βιολογικών κινδύνων που πηγάζουν από την εξέλιξη της Βιοτεχνολογίας σε τεχνολογικό υπόβαθρο της μεταβιομηχανικής κοινωνίας, για τη σημερινή αντιμετώπισή του:

α. Στο πολιτικό επίπεδο, είναι πια γενικά αποδεκτό ότι τόσο η ερευνητική προσπάθεια στην Βιοτεχνολογία, όσο και οι εφαρμογές της, δεν στερούνται κινδύνων. Ακόμη, ότι ουσιαστικά λείπει η αξιοπιστία από τα συμπεράσματα των εμπειρογνομόνων για τις πιθανές επιπτώσεις των βιοτεχνολογικών χειρισμών, ιδιαίτερα στις εφαρμογές μεγάλης έκτασης και στις διεργασίες ανοιχτών συστημάτων (π.χ. γεωργικές εφαρμογές, επεξεργασία αποβλήτων, επαναπρόσληψη σπάνιων χημικών ενώσεων ή μετάλλων από το περιβάλλον). Ωστόσο, η υπόσχεση μιας δραματικά μεγάλης αύξησης της παραγωγικότητας καθιερώνει τη βιοτεχνολογική θεώρηση και σε συνέργεια με την ανταγωνιστική φύση του παγκόσμιου οικονομικού συστήματος οδηγούν, αργά αλλά σταθερά, στην καθιέρωση ενός πλαισίου ανάπτυξης του βιοτεχνολογικού ανταγωνισμού σε παγκόσμια κλίμακα.

β. Η αντιμετώπιση που επικρατεί στο επιστημονικό επίπεδο είναι ότι η Βιοτεχνολογία, στα μέχρι σήμερα βήματά της, δεν αποτελεί παρά τη φυσιολογική επέκταση μεθόδων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα από την εποχή της εμφάνισης της γεωργίας, τόσο στον πρωτογενή τομέα της οικονομίας (π.χ. διασταυρώσεις, εισαγωγή νέων ειδών σε ξεναγι' αυτά οικοσυστήματα), όσο και στη μεταποίηση (π.χ. ζυμώσεις). Η Βιοτεχνολογία θεωρείται ως η εξελικτική μορφή της Βιομηχανικής Μικροβιολογίας, μιας από χρόνια εδραιωμένης τεχνολογίας, που μετασχηματίζεται κάτω από την επίδραση των νέων επιστημονικών δεδομένων της Μοριακής Βιολογίας, ή, ακόμα, της μηχανοποιημένης γεωργίας, που στην πιο επιστημονικά εξελιγμένη μορφή της είναι γνωστή σαν «πράσινη επανάσταση». Ωστόσο, μέχρι σήμερα, οι μόνιμοι οργανισμοί που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τον άνθρωπο, γεωργικά ή βιομηχανικά, ήταν οργανισμοί που τροποποιήθηκαν με μια διεργασία φυσικής ή

τεχνητής επιλογής. Η επιλογή, όμως, είναι μια βιολογικά αυτοπεριοριζόμενη διαδικασία, που μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε γονίδια ή ομάδες γονιδίων που προϋπάρχουν σε έναν πληθυσμό. Το τελικό αποτέλεσμα μιας διεργασίας επιλογής είναι ο εμπλουτισμός του πληθυσμού σε γονίδια που η φαινοτυπική έκφρασή τους συμφωνεί με την κατεύθυνση της επιλογής. Είναι μία διαδικασία «συμπύκνωσης» και σαν τέτοια δεν έχει τη δυνατότητα να εμπλουτίσει το γένωμα, δηλ. τη γενετική υπόσταση του οργανισμού, με νέες πληροφορίες. Αντίθετα, οι βιοτεχνολογικοί χειρισμοί παρέχουν τη δυνατότητα της άμεσης επέμβασης στο γενετικό υλικό. Έτσι, ένα νέο γονίδιο μπορεί να προστεθεί, ή ένα γονίδιο που προϋπάρχει μπορεί να επαναληφθεί (αύξηση του γενετικού υλικού). Ακόμη ένα γονίδιο μπορεί να αφαιρεθεί (μείωση του γενετικού υλικού) ή, τέλος, να αντικατασταθεί με ένα άλλο. Κάτω από αυτό το πρίσμα, οι βιοτεχνολογικοί χειρισμοί του γενώματος θα μπορούσαν να θεωρηθούν σαν μία γενικότερη διεργασία μετάλλαξης (δηλ. αλλαγής της γενετικής πληροφορίας). Η διαφορά τους όμως από τις μεταλλάξεις που παρατηρούνται στη φύση είναι θεμελιακή. Οι φυσιολογικές μεταλλάξεις χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι κάθε πληροφορία που προστίθεται στο γένωμα, στη μεγάλη πλειοψηφία των περιπτώσεων, αντικαθιστά κάποια άλλη πληροφορία που προϋπάρχει. Τα όσα είναι γνωστά για τους μηχανισμούς που κατευθύνουν τις φυσιολογικές μεταλλάξεις, υπογραμμίζουν το γεγονός ότι στη φύση υπάρχουν πολύ μικρά περιθώρια για μία συνολική επαύξηση της γενετικής πληροφορίας σαν συνέπεια μιας μετάλλαξης. Αντίθετα, μπορεί να υποστηριχθεί, ότι, οι φυσιολογικές μεταλλακτικές διαδικασίες τείνουν να ελαττώνουν τη συνολική γενετική πληροφορία, τάση που είναι αποτέλεσμα του ότι η φυσιολογική μεταλλακτική διεργασία είναι στην πραγματικότητα ένα «τυφλό» και ταυτόχρονα λιγότερο ή περισσότερο «καταστροφικό» στατιστικό φαινόμενο. Η ρήση «ουδέν κακόν αμιγές καλού» έχει πολύ περιορισμένη εφαρμογή στη μεταλλαγή του γενετικού υλικού.

γ. Το επίπεδο πληροφόρησης της κοινής γνώμης και η διάθεση με την οποία αντιμετωπίζει το κοινό μια ερευνητική προσπάθεια, μπορούν να χαρακτηρισθούν σαν σοβαροί παράγοντες για τη

δημόσια χρηματοδότηση της έρευνας στις ΗΠΑ. Αυτό είναι αποτέλεσμα της ιδιαιτερότητας του πολιτικού πλαισίου μέσα στο οποίο διαμορφώνονται οι αποφάσεις, αλλά και της διάθεσης που διακρίνει τους αμερικανούς δικαστικούς λειτουργούς, σαν σώμα, να παρεμβαίνουν στη νομοθετική αρμοδιότητα όπου και όταν εμφανίζονται νομοθετικά κενά ή αντισυνταγματικές πλευρές στη νομοθεσία. Ακόμα ο λαϊκιστικός (populist) χαρακτήρας της αμερικανικής πολιτικής επεκτείνει αυτή την επιρροή και στον τομέα της ιδιωτικά χρηματοδοτούμενης έρευνας, μέχρι ένα βαθμό. Αντίστροφα, δημιουργείται μια επιτακτική ανάγκη, τόσο για τα κρατικά όργανα όσο και για το ιδιωτικό κεφάλαιο, να διατηρούν μία συνεχή εκστρατεία δημόσιων σχέσεων στα θέματα της ερευνητικής πολιτικής και εξέλιξων.

Το επίπεδο πληροφόρησης της ευρωπαϊκής κοινής γνώμης είναι εξαιρετικά αναπτυγμένο. Ωστόσο, οι ευρωπαϊκές αντιδράσεις σε θέματα βιολογικής ασφάλειας γενικότερα, και της δυνατότητας επέμβασης στο ανθρώπινο γένωμα ειδικότερα, έχουν διατηρήσει έναν ηπιότερο χαρακτήρα από τις αντίστοιχες αντιδράσεις στις Η.Π.Α., πράγμα που φαινομενικά έρχεται σε αντίθεση με τον σύγχρονο βαθμό πολιτικοποίησης της κοινής γνώμης των βορειοευρωπαϊκών χωρών στα οικολογικά ζητήματα. Πρέπει όμως να υπογραμμισθεί<sup>2</sup> ότι η γενικότερη ευρωπαϊκή προσπάθεια στη Βιοτεχνολογία είναι σχετικά πρόσφατη υπόθεση, το μεγαλύτερο ίσως μέρος της προσπάθειας εξελίσσεται μέσα στα πλαίσια δημόσιων φορέων, δεν έχει ακόμα διατυπωθεί μία συντονισμένη πολιτική και τέλος τα ευρωπαϊκά επιτεύγματα στη μοριακή βιολογία ποτέ δεν διατυμπανίστηκαν σαν πιθανά αντικείμενα έντονης οικονομικής εκμετάλλευσης. Πρέπει ακόμα να αναφερθεί η έλλειψη διεργασιών λαϊκιστικής μορφής από τη σημερινή ευρωπαϊκή πολιτική σκηνή, αντίθετα με την πολιτική πραγματικότητα στις Η.Π.Α.

Στο σημείο αυτό αξίζει να παρατηρηθεί ότι η ανησυχία της κοινής γνώμης στις ΗΠΑ, σχετικά με τη Βιοτεχνολογία γενικότερα και τη δυνατότητα βιοτεχνολογικών επεμβάσεων πάνω στο ανθρώπινο γένωμα, εμφανίστηκε όταν διαφάνηκε πως η σχεδόν παγκόσμια ομοιομορφία του γενετικού κώδικα, ανάμεσα στα έμβια όντα, προοιωνίζε τη στιγμή που η

γνώση θα ήταν δυνατό να μεταφερθεί όχι μόνο από το εργαστήριο στην παραγωγή αλλά και στις κλινικές επιστήμες.

Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι ήταν το καλοκαίρι του 1980, δηλ. μερικούς μήνες πριν από τις αμερικανικές προεδρικές εκλογές, όταν η αμερικανική θρησκευτική ηγεσία (η γεν. γραμματεία του Εθνικού Συμβουλίου Εκκλησιών, το Συνταγματικό Συμβούλιο της Αμερικής, και το Καθολικό Συνέδριο των Η.Π.Α.), με την επιμονή της να διερευνηθεί το όλο θέμα της γενετικής μηχανικής του ανθρώπινου γενώματος με σκοπό τον περιορισμό των πειραματισμών ή ακόμα την απαγόρευσή τους, προκάλεσε τη σύγκλιση της προεδρικής συμβουλευτικής επιτροπής «για τη μελέτη των Ηθικών Προβλημάτων στην Ιατρική Έρευνα, τη Βιοϊατρική και την έρευνα της Συμπεριφοράς».<sup>3</sup>

Δύο χρόνια αργότερα, το τέλος του 1982, μία παρόμοιας φύσης επιτροπή, που είχε ανεξάρτητα συγκληθεί από το Εθνικό Συμβούλιο Εκκλησιών, παρουσίαζε τις παρακάτω θέσεις: «Λέξεις που πάντα αποτελούσαν μέρος της εκκλησιαστικής ορολογίας σήμερα αποτελούν μέρος του λεξιλόγιου της σύγχρονης βιολογικής επανάστασης. Ζωή, Θάνατος, Γένεση, Νέα Ζωή, Νέα Μέρα, Νέα Γη ανήκαν πια στα λεξιλόγια των βιολογικών επιστημών, της βιοτεχνολογίας και της βιο-επιχειρήσης».

Οι εντυπώσεις της κοινής γνώμης για το αντικείμενο της γενετικής μηχανικής πέρασαν από πολλές μεταπτώσεις, που κάλυψαν ολόκληρο το φάσμα των αντιδράσεων ανάμεσα στην απλή περιέργεια και την έντονη ανησυχία, από τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Το 1970 μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα χρονολογικό ορόσημο. Ήταν η εποχή που η μοριακή βιολογία κατόρθωσε να ολοκληρώσει σε αδρές γραμμές το λογικό διάγραμμα των μηχανισμών ελέγχου του κυτταρικού μεταβολισμού από τη γενετική πληροφορία που είναι κωδικοποιημένη μέσα στο μακρομόριο του δεοξυριβονουκλεϊκού οξέος (DNA).

Η ανάπτυξη της μοριακής βιολογίας στην εικοσιπενταετία 1945-1970, είχε στηριχθεί πάνω στη χρησιμοποίηση των μονοκύτταρων οργανισμών (κύρια των βακτηρίων) και των ιών, σαν το κύριο πειραματικό της υπόστρωμα. Το μεγάλο πλεονέκτημα που πρόσφερε ένα τέτοιο πειραματικό υπόστρωμα ήταν η ταχύτη-

τα αναπαραγωγής (τυπικό παράδειγμα: τα βακτήρια αναπαράγονται κάθε 30 λεπτά της ώρας) πράγμα που επέτρεπε την παρακολούθηση της τύχης των προκαλούμενων γενετικών αλλαγών επί πολλές γενεές. Ακόμα, οι μονοκύτταροι οργανισμοί περιέχουν, στην τυπική τους μορφή, έναν μικρό αριθμό γονιδίων σε σύγκριση με πιο εξελιγμένους οργανισμούς, πράγμα που έκανε τους χειρισμούς του γενετικού τους υλικού ευκολότερους. Τέλος, τα γονίδια των βακτηρίων είναι γραμμικά διατεταγμένα πάνω στο βιοχημικό τους υπόστρωμα, δηλ. το δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ.

Εκμεταλλεμένοι την ιδιότητα της σύζευξης των βακτηρίων, όπου το γενετικό υλικό μεταφέρεται από το ένα βακτηρίδιο στο άλλο, και εκλεκτικά διακόπτοντας τη σύζευξη σε καθορισμένες χρονικές στιγμές, οι μοριακοί βιολόγοι κατόρθωσαν να μεταφέρουν προκαθορισμένα τμήματα του μικροδιακού χρωματοσώματος από κύτταρα ενός μικροδιακού είδους σε κύτταρα άλλου. Το αποτέλεσμα ήταν η ανάπτυξη μιας πολύ εντυπωσιακής τεχνικής για τη μελέτη της έκφρασης των μεταφερομένων γονιδίων. Έτσι, τα κύτταρα-δέκτες αποκτούν ιδιότητες που περιέχονται κωδικοποιημένες στα μεταφερόμενα γονίδια, πράγμα που επιτρέπει τη χαρτογράφηση του χρωματοσώματος του κύτταρου-δότη. Η τεχνική αυτή επεκτάθηκε με τη χρησιμοποίηση των ιών για την απόληψη γονιδίων από ένα κύτταρο και τη μεταφορά τους σε άλλο.

Χρησιμοποιώντας τέτοιες μεθόδους, η μοριακή βιολογία κατόρθωσε μέσα σε είκοσιπέντε χρόνια:

α) να διαλευκάνει τους μηχανισμούς με τους οποίους τα κύτταρα δημιουργούν αντίγραφα της γενετικής τους πληροφορίας, για να τη μεταδώσουν στις επόμενες γενεές·

β) να αποκρυπτογραφήσει τον γενετικό κώδικα·

γ) να περιγράψει τους μηχανισμούς με τους οποίους η γενετική πληροφορία που περιέχεται στο δεοξυριβονουκλεϊκό οξύ «μεταφράζεται» στις χιλιάδες λευκώματα που αποτελούν τον μοριακό «σκελετό» του κυττάρου·

δ) να περιγράψει τους μηχανισμούς που καθορίζουν τη χρονική στιγμή, και κατευθύνουν την ταχύτητα της μετάφρασης της γενετικής πληροφορίας σε λευκώματα·

ε) να διερευνήσει τους μηχανισμούς με τους οποίους τα λευκώματα που παράγονται αλληλοεπιδρούν, έτσι ώστε να προσδιορίζεται η ανάπτυξη του κυττάρου, η βιοχημική του δραστηριότητα και η γενική φυσιολογία του·

στ) να εξηγήσει τις βασικές αρχές των μεταλλάξεων·

ζ) να περιγράψει μια σειρά αρχών που διέπουν τους μηχανισμούς ελέγχου της έκφρασης των γονιδίων.

Η περίοδος 1970-1984 γνώρισε ένα ακόμα ποιοτικό άλμα της μεθοδολογίας της μοριακής γενετικής. Την ανακάλυψη και εφαρμογή των «περιοριστικών ενζύμων» (restriction enzymes). Αυτό έχει επιτρέψει την «ανάγνωση» του γενετικού κώδικα στο μοριακό επίπεδο σε αντιπαράθεση με τη χαρτογράφηση της γενετικής πληροφορίας στο επίπεδο του γονιδίου. Η «ανάγνωση» γίνεται με τη χρησιμοποίηση περιοριστικών ενζύμων για το «κόψιμο» του μακρομορίου του δεοξυριβονουκλεϊκού οξέως. Τα κομμάτια που προκύπτουν, σε επόμενη φάση, «ξανακόβονται», αυτή τη φορά με χημικές διεργασίες που παρέχουν τη δυνατότητα του «κοψιματός» τους σε προκαθορισμένες χημικά θέσεις. Έτσι με τη σύγκριση του μήκους των προϊόντων αυτής της διαδικασίας, είναι δυνατό να αποκρυπτογραφηθεί η ακριβής χημική σύσταση του γονιδίου. Οποσδήποτε, αυτή είναι μια επίπονη διεργασία, και μέχρι σήμερα λιγότερα από 50 ανθρώπινα γονίδια έχουν χαρτογραφηθεί. Όμως όταν αναλογίζεται κανείς την αντίστοιχη εποχή της χαρτογράφησης του γενώματος στο επίπεδο του γονιδίου, τότε πρέπει να παραδεχθούμε ότι οι προοπτικές φαίνονται πραγματικά απεριόριστες.

Για την αμερικανική κοινή γνώμη, που σήμερα αντιμετωπίζει διλήμματα που της κληροδότησε η υπερβολική αισιοδοξία της δεκαετίας του 1960-1970 για τις δυνατότητες της πυρηνικής τεχνολογίας, τόσο σε ενεργειακά όσο και σε αμυντικά θέματα, η αντίδραση του προέδρου της επιτροπής της Βουλής των αντιπροσώπων, που εξετάσε το γενικότερο πρόβλημα της Βιοτεχνολογίας και των κινδύνων που συνεπάγεται η ανάπτυξη της, Albert Gore Jr. δεν απέχει πολύ από το να εκφράζει την ανάγκη προσεκτικών βημάτων στην κατεύθυνση αυτή, ιδιαίτερα στη διατύπωση πολιτικών κατευθύνσεων: «Αν είχαμε προσέξει τις επιπτώσεις των πυρηνικών εξοπλισμών εκείνη

την εποχή, σίγουρα θα αποφασίζαμε να αποφύγουμε τα αδιέξοδα στα οποία βρισκόμαστε σήμερα».<sup>4</sup>

Όμως ο αντίλογος σε μία τέτοια τοποθέτηση είναι ότι «όπως έχουν σήμερα τα πράγματα, κανείς νομοθέτης και κανένα εκλογικό σώμα οπουδήποτε δεν θα αφήσει να χαθεί η ευκαιρία να απαλειφθούν οι γενετικές ανωμαλίες, να προληφθεί ο καρκίνος ή να αναγεννηθούν ακρωτηριασμένα άκρα...».<sup>5</sup> Είναι μία τοποθέτηση δυνατή μόνο μέσα στα πλαίσια μιας κατανάλωτικής κοινωνίας, όπου η διαφήμιση αποτελεί ένα ουσιαστικό μέρος της τελικής αξίας του προϊόντος. Μέσα στο πλαίσιο αυτό δεν είναι παράξενο το γεγονός ότι μέχρι σήμερα πάνω από 2 δισεκατομμύρια δολάρια έχουν επενδυθεί στη βιοτεχνολογική έρευνα στις ΗΠΑ<sup>6</sup> και δεν είναι παράξενο το γεγονός ότι οι ιατρικές εφαρμογές είναι το αναμενόμενο αποτέλεσμα που τροφοδοτεί τη δημοσιότητα. Το πρόβλημα της διατροφής του αμερικανικού λαού είναι λυμένο από πολλά χρόνια.

Τα ιατρικά προβλήματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν με τεχνικές ανασυνδυασμένου DNA διακρίνονται σε:

α) Προβλήματα αιτιοπαθογένειας μιας νόσου (δηλ. ποια είναι η διαταραχή στο μοριακό επίπεδο).

β) Διαγνωστικά προβλήματα.

γ) Προβλήματα θεραπευτικής αντιμετώπισης νοσημάτων.

Στις δυο τελευταίες περιπτώσεις προϋποτίθεται ότι γνωρίζουμε σε κάποιο βαθμό το βιοχημικό υπόστρωμα της διαταραχής που προκαλεί τη νόσο.

Η ανάλυση της δομής και λειτουργίας των ευκαρυωτικών γονιδίων σημείωσε τα τελευταία χρόνια πολύ σημαντικές προόδους. Έτσι σήμερα είμαστε σε θέση να μιλάμε για γενετική χαρτογράφηση στο επίπεδο βιολογικά εξελιγμένων οργανισμών. Το πρόβλημα όμως που έχει ανακύψει είναι ότι αν και υπάρχει η τεχνική δυνατότητα εισαγωγής γονιδίων μέσα στα κύτταρα, δεν έχει ακόμα κατορθωθεί να γίνεται αυτή η εισαγωγή σε μια συγκεκριμένη θέση ενός χρωματοσώματος έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι τα εισαγόμενα γονίδια μπορούν να εκφραστούν (δηλ. να πάρουν τη θέση τους στις κυτταρικές λειτουργίες) την κατάλληλη στιγμή και στην κατάλληλη ποσότητα.

Επίσης, δεν υπάρχει ακόμα η δυνατότητα επανεισαγωγής «επιδιορθωμένων»

κυττάρων σε έναν οργανισμό κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα κύτταρα αυτά να ανταγωνιστούν με επιτυχία τα ελλειμματικά κύτταρα.

Η ανακάλυψη σε χρωματοσώματα από κύτταρα θηλαστικών, γονιδίων με δομή ανάλογη με εκείνη των γονιδίων που απαντώνται στους ογκογόνους ιούς αποτελεί την πιο ελπιδοφόρα κατάκτηση για την κατανόηση, σε πρώτη φάση, του φαινομένου της καρκινικής εξαλλαγής.

Η εφαρμογή στην κλινική διαγνωστική τεχνικών ανασυνδυασμένου DNA και κλωνοποίησης είχε σαν αποτέλεσμα μεγάλες προόδους στο πεδίο της προγεννητικής διάγνωσης των γενετικών ασθενειών (συμφύτων διαταραχών του μεταβολισμού). Έχουν, συγκεκριμένα, μέχρι σήμερα, εντοπιστεί τοπογραφικά, αλλά και από πλευράς δομής, οι βλάβες στο DNA σε 15 περίπου νοσήματα συμφύτων διαταραχών του μεταβολισμού (π.χ. Μεσογειακή αναιμία, χορεία του Huntington, κυστική ίνωση κ.ά.) με απευθείας ανάλυση της δομής του αλλοιωμένου γονιδίου.

Πολλές γενετικές ασθένειες προκαλούνται από την έλλειψη ενός μόνο λευκώματος. Αν γίνει δυνατό τα ελλείποντα λευκώματα να παρασκευαστούν σε μαζικές ποσότητες μετά από ενσωμάτωση του σύστοιχου γονιδίου σε βακτήρια, τότε γίνεται αμέσως εφικτή, σε πολλές περιπτώσεις, η θεραπεία με αναπλήρωση της ουσίας που λείπει. Στον τομέα αυτό υπάρχουν οι πιο εντυπωσιακές ίσως επιτυχίες (π.χ. παραγωγή ινσουλίνης και αυξητικής ορμόνης).

Στον τομέα της παρασκευής εμβολίων, τα δυνατά ευεργετικά αποτελέσματα είναι πολλαπλά. Η παρασκευή επαρκών ποσοτήτων εμβολίου γίνεται, κατά περίπτωση, όχι μόνο δυνατή, ευκολότερη και φθηνότερη αλλά και ασφαλέστερη για τα άτομα που ασχολούνται στον κλάδο αυτό της φαρμακευτικής βιομηχανίας. Ακόμα, το γεγονός ότι δεν χρησιμοποιείται ο λοιμογόνος παράγων στην παρασκευή τους, κάνει τα νέα εμβόλια ασφαλέστερα και για τους λήπτες. Η παρασκευή εμβολίων κατά του αφθώδους πυρετού, της ηπατίτιδας καθώς και συνθετικής ιντερφερόνης, έχει βιομηχανικά καθιερώσει αυτή την τεχνική.

Τέλος πιο φιλόδοξες είναι οι προσπάθειες αιτιολογικής αντιμετώπισης νοσημάτων που βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο. Δοκιμάζεται η παραγωγή

ουσιών που θα ενεργοποιούν αδρανή γονίδια (π.χ. περίπτωση οικογενούς υπερχοληστερολαιμίας) ή αδελφών ιών οι οποίοι αφού ενσωματώσουν στο DNA τους υγιές γονίδια που υπολειπονται ή είναι αλλοιωμένα σε μία μεταβολική νόσο, μολύνουν κατόπιν τους ασθενείς που πάσχουν από αυτή τη μεταβολική νόσο.

Είναι εύκολο, από την παράθεση αυτή, να δικαιολογήσει κανείς τον αντίλογο στην τοποθέτηση του αντιπροσώπου Albert Gore Jr. Πέρα όμως από την όποια αισιοδοξία, πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα ότι το ανθρώπινο γένωμα διέπεται, μαζί με τα γενώματα των εξελιγμένων οργανισμών, από κανόνες πολύ πιο πολύπλοκους από τους κανόνες που διέπουν το μικροβιακό γένωμα. Οπωσδήποτε πρόοδοι θα υπάρξουν αλλά είναι αδύνατο αυτή τη στιγμή να προβλεφθεί το μέγεθος της προσπάθειας που θα απαιτηθεί. Ένας μικρός κατάλογος των διαφορών των προκαρυωτικών γενετικών λειτουργιών από τους ευκαρυωτικούς δείχνει ότι ανάμεσα στους δυνατούς μηχανισμούς που χαρακτηρίζουν τα ευκαρυωτικά κύτταρα συγκαταλέγονται:<sup>7</sup>

- α) Η διαφορεική ταχύτητα αντιγραφής γονιδίων.
- β) Ο έλεγχος της «ανάγνωσης» της γενετικής πληροφορίας από κυτταροπλασματικούς καταστολείς.
- γ) Ο έλεγχος της «ανάγνωσης» της γενετικής πληροφορίας από χρωματικούς μηχανισμούς, δηλ. από τα λευκώματα που αποτελούν δομικά στοιχεία του ευκαρυωτικού χρωματοσώματος
- δ) Ο έλεγχος της «μετάφρασης» του γενετικού κώδικα σε λευκώματα, στο επίπεδο των διαδικασιών της παρασκευής λευκωμάτων και όχι στο επίπεδο των διεργασιών «ανάγνωσης» του γενετικού κώδικα.

Τέλος πρέπει να τονισθεί ότι από τις προσπάθειες στο επίπεδο του ανθρώπινου γενώματος λείπουν οι ιδιότητες του πειραματικού υποστρώματος που έδωσαν τη δυνατότητα στους μοριακούς βιολόγους να ολοκληρώσουν το λογικό διάγραμμα των μηχανισμών ελέγχου του μικροβιακού μεταβολισμού από τη γενετική πληροφορία μέσα στο διάστημα μίας γενεάς. Ο άνθρωπος χρειάζεται 12 περίπου χρόνια για να φθάσει την αναπαραγωγική ιδιότητα. Ακόμα και οι απλούστεροι εξελιγμένοι οργανισμοί χρειάζονται χρόνους αναπαραγωγής αρκετές τάξεις μεγέθους μεγαλύτερους από τους

χρόνους αναπαραγωγής των βακτηρίων. Και είναι γνωστό ότι η πλευλοκόπηση ενός βιολογικού συστήματος αποτελεί εθνητική συνάρτηση του αριθμού των ενεργών γονιδίων που περιέχει. Έχει λεχθεί ότι όταν οι πρώτες πραγματικά επαναστατικές επεμβάσεις στο ανθρώπινο γένωμα γίνουν δυνατές, η Βιοτεχνολογία θα έχει χάσει την προμηθεϊκή της αίγλη.

1. Γιώργος Ανοργειανάκης & Jeffrey Levett: «Βιοτεχνολογία και Βιολογική ασφάλεια». Σύγχρονα Θέματα 20, Απρίλιος 1984.
2. Jeffrey Levett: «Development of Biotechnology in Greece». In Biotechnology in Greece: Opinions and developments. Commission of the European Communities F.A.S.T. No 63, October 1983.
3. Horace Freeland Judson: «Genetic engineering: Thumbprints in our clay». San Francisco Examiner 16/9/83.
4. «A Brave New World»: Newsweek 5/5/84.
5. Ted Roszak: «Banning the biologist» New Scientist 6/10/83.
6. «Hoping to clone some profits»: Time 27/2/84.
7. P.F. Smith - Keary: «Genetic structure and Function» Halsted Press 1975.

Γιώργος Ανοργειανάκης  
Δημήτρης Χριστοδούλου  
Jeffrey Levett