



## Μια νέα θεώρηση του κόσμου των έμβιων όντων

Το φθινόπωρο του 2000 δημοσιεύτηκε από την αμερικανίδα φιλόσοφο Evelyn Fox Keller<sup>1</sup> ένα εγχειρίδιο με τίτλο *Ο αιώνας του γονιδίου*. Το κείμενο αυτό μας υπενθύμισε ότι ο κλάδος της Γενετικής γεννήθηκε πριν από έναν αιώνα, όταν ήρθαν στο φως τα αγνοημένα ευρήματα του Μέντελ. Το εγχειρίδιο αυτό είχε τον εξής στόχο: να μας κάνει γνωστό ότι ο εικοστός αιώνας θα παραμείνει στη σκέψη των μελλοντικών γενεών ως ο αιώνας που γνώρισε μια χωρίς προηγούμενο εκρηκτική ανάπτυξη στον τομέα των γνώσεων της Βιολογίας. Η πιο σημαντική προσφορά αυτών των γνώσεων είναι η αποκρυπτογράφηση των βασικότερων μοριακών μηχανισμών των οργανισμών, αυτών που είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά της γενετικής πληροφορίας από γενεά σε γενεά και για την έκφρασή της, δηλαδή για τη μετάφρασή της σε πρωτεΐνη μέσα σε όλα τα κύτταρα των ζώντων οργανισμών. Οι βιολόγοι εργάζονται ακόμη μέχρι σήμερα μέσα στο πλαίσιο αυτού του «μοριακού παραδείγματος» που οικοδομήθηκε στις δεκαετίες μεταξύ 1940 και 1960.

Ο Μονό στα 1970 υποστήριζε ότι η μοριακή θεωρία του κώδικα συνιστούσε «μια γενικευμένη θεωρία των συστημάτων της ζωής». Στο ίδιο κείμενο, κάποιες γραμμές παρακάτω, ο Μονό υπογράμμισε ότι το μυστικό της ζωής, που κάποτε μας φαινόταν απρόσιτο, «σήμερα είχε αποκαλυφθεί κατά το μεγαλύτερο μέρος του»<sup>2</sup>.

Η ανάδυση του επιστημονικού κλάδου της Μοριακής Βιολογίας οφείλεται στη σύγκλιση πολλών κλάδων, όπως: της Βιοχημείας, που μελετά τη δομή των μορίων της ζωής, της Γενετικής, της Μικροβιολογίας, αλλά σημαντικό ρόλο έπαιξαν και κάμποι επιστήμονες που ανήκαν στον κλάδο της Φυσικής. Οι φυσικοί ήταν κυρίως εκείνοι που κατάφεραν να πείσουν πολλούς νέους ερευνητές βιολόγους και φυσικούς ότι η «διερεύνηση» των ερωτημάτων που αφορούν τη ζωή δεν είναι πέραν των δυνατοτήτων της επιστήμης τους και ότι, αντίθετα, εκείνοι ήταν οι μόνοι που θα μπορούσαν να ασχοληθούν με αυτά τα ερωτήματα, χάρη στην ουσιαστική πρόοδο που είχε επέλθει στους κλάδους της Φυσικής και της Χημείας. Το βιβλίο του Erwin Schrödinger με τον τίτλο *Τι είναι η ζωή;*, που δημοσιεύτηκε στα 1944, καθρεφτίζει πολύ καθαρά τις ελπίδες αυτών των ερευνητών και το επιστημονικό υπόβαθρο αυτής της επιστημονικής ομάδας<sup>3</sup>.

Ωστόσο, η σημαντικότερη συνεισφορά των επιστημόνων που προέρχονταν από τη Φυσική έγκειται στο γεγονός της συμμετοχής τους στην ανάπτυξη των νέων τεχνολογιών, αυτών που επέτρεψαν τη μελέτη των βιολογικών μακρομορίων και την έρευνα του «κόσμου των αγνοημένων διαστάσεων», όπως αποκαλεί ο φυσικός Wolfgang Ostwald το χώρο αυτόν

Ο Michel Morange είναι Βιολόγος, καθηγητής στην Ecole Normale Supérieure του Παρισιού.

που εκτείνεται μεταξύ των γνωστών στους οργανικούς χημικούς μορίων και στις ορατές στο οπτικό μικροσκόπιο υποκυτταρικές δομές<sup>4</sup>. Ο κατάλογος αυτών των τεχνολογιών είναι πολύ μακρύς, όπως η σπεκτροφωτομετρία, η ηλεκτροφόρηση, η υπερφρυγοκέντρωση, η ηλεκτρονική μικροσκόπηση, η διάθλαση των ακτίνων Χ κ.λπ. Η απλότητα στην πρακτική εφαρμογή πολλών από αυτές τις τεχνολογίες δεν πρέπει να μας κάνει να ξεχάσουμε το γεγονός ότι αρχικά ήταν πολύπλοκες και ότι αυτή τους η απλότητα είναι τελικά το αποτέλεσμα της εργασίας των ερευνητών που οι ίδιοι οι φυσικοί είχαν υλοποιήσει.

Η μοριακή θεώρηση της ζωής, που αναδύθηκε στη δεκαετία του 1960, λόγω της συμμετοχής στην επεξεργασία της των ερευνητών του κλάδου της Φυσικής, είναι σαφώς αναγωγιστική: σύμφωνα με αυτή τη θεώρηση, τα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των οργανισμών εξαρτώνται από τις ιδιότητες των συστατικών τους μορίων. Στη δεκαετία του 1960, η Μοριακή Βιολογία δεν κατάφερε να υπερβεί τις υπερβολές του αναγωγισμού, αφού θέλησε να ερμηνεύσει τα πολύπλοκότερα χαρακτηριστικά των οργανισμών από τις ιδιότητες ορισμένων μακρομορίων. Ένα παράδειγμα αναγωγιστικής αντίληψης στο χώρο της Βιολογίας είναι αυτό της λειτουργίας της μνήμης, που θεωρήθηκε ότι θα μπορούσε να «ερμηνευτεί» από την ύπαρξη «ειδικών μορίων για τη μνήμη», τα οποία υποτίθεται ότι περιέχουν κωδικοευμένες τις αναμνήσεις και τις συμπεριφορές.

Αν και η μοριακή θεώρηση της ζωής έχει ήδη οικοδομηθεί και επικρατήσει προ πολλού –στα 2003 θα γιορταστούν ήδη τα πενήντα γενέθλια από την ανακάλυψη της διπλής έλικας του DNA–, ωστόσο η τελευταία εικοσαετία συνιστά μια από τις πιο εποικοδομητικές φάσεις της ιστορίας της Βιολογίας.

Το παράδοξο εν προκειμένω είναι φανερό: παρά το ότι οι βάσεις της νέας μοριακής θεώρησης της ζωής είχαν οικοδομηθεί από τις αρχές της δεκαετίας του 1960, ωστόσο, κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών μέχρι τις αρχές του 1980, δυστυχώς οι βιολόγοι δεν διέθεταν εργαλεία που να τους επιτρέπουν να προωθήσουν πιο εντατικά την έρευνά τους στη μελέτη των ανώτερων οργανισμών και του ανθρώπου, όντας έτσι υποχρεωμένοι να περιορίζονται στη μελέτη του βακτηρίου *E. coli* και, συνελπώς, στην επέκταση των πειραματικών ευρημάτων από αυτόν τον οργανισμό στο σύνολο των έμβιων όντων.

Αυτά τα εργαλεία, που κατατάσσονται συνολικά κάτω από την αιγίδα του κλάδου της Γενετικής Μηχανικής, οικοδομήθηκαν προοδευτικά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1970 και γνώρισαν εντυπωσιακή διάδοση σε όλα τα βιολογικά εργαστήρια μετά το 1980 λόγω της εύκολης χρήσης τους.

Η Βιολογία λοιπόν εισήλθε σε μία περίοδο κατά την οποία συσσωρεύτηκαν γνώσεις χωρίς προηγούμενο στην ιστορία της, μια περίοδο που διαρκεί μέχρι σήμερα. Οι νέες γνώσεις, που προέκυψαν σε αυτή την περίοδο, δεν αμφισβητούν το μοριακό παράδειγμα και τη θεωρία του γενετικού κώδικα. Ωστόσο, η συσσώρευση αυτών των γνώσεων είχε ως επακόλουθο τον ποσοτικό αλλά και τον ποιοτικό μετασχηματισμό του μοριακού παραδείγματος και της θεωρίας του γενετικού κώδικα, τις τρεις εκδοχές του οποίου θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε στη συνέχεια.

Ο πρώτος και σημαντικότερος μετασχηματισμός, με επιστημονικές και φιλοσοφικές προεκτάσεις, είναι η αμφισβήτηση του ρόλου που είχε αποδοθεί στα γονίδια.

Για να κατανοήσουμε τη νέα κατάσταση, χρειάζεται να ανατρέξουμε πίσω στην ιστορία της Βιολογίας. Οι γενετιστές, κατά τη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του 20ού αιώνα, είχαν αποδείξει ότι τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των έμβιων όντων ελέγχονται από σωματίδια που αυτοί τα ονόμασαν γονίδια, τα οποία εντόπισαν στα χρωμοσώματα του πυρήνα των κυττάρων. Οι μοριακοί βιολόγοι, στη συνέχεια, απέδειξαν ότι το βασικό συστατικό των γονιδίων είναι το DNA και προσδιόρισαν τη σχέση ανάμεσα στα γονίδια και στις ιδιότητες των οργανισμών με τον εξής τρόπο: τα γονίδια κωδικοποιούν πρωτεΐνες που η δράση τους συμβάλλει στην έκφραση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων των οργανισμών. Ωστόσο, παρέμενε μυστηριώδης για τους μοριακούς βιολόγους ο μηχανισμός με τον οποίο δρουν οι πρωτεΐνες για να εκφραστούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των ατόμων, όπως και για τους γενετιστές η σχέση γονιδίων και χαρακτηριστικών.

Οι πολυάριθμες μελέτες, που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία είκοσι χρόνια, έδωσαν τη δυνατότητα να διαλευκανθούν οι σχέσεις των πρωτεϊνών και των ιδιοτήτων των οργανισμών και να εξαχθούν ορισμένες αρχές μακρομοριακής οργάνωσης για τους οργανισμούς. Θέλω να επισημάνω ορισμένες από αυτές τις ερευνητικές κατευθύνσεις για να δούμε, αφ' ενός, πόσο πολύ διαφέρουν μεταξύ τους και, αφ' ετέρου, για να διαπιστώσουμε ότι τα πειραματικά τους ευρήματα συγκλίνουν προς τη νέα θεώρηση της ζωής.

Η πρώτη ερευνητική κατεύθυνση έχει τις καταβολές της στο ερευνητικό πρόγραμμα του Seymour Benzer, ο οποίος, στη δεκαετία του 1960, προσπαθούσε να αποκαλύψει τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για την έκφραση των συμπεριφορών της μικρής μύγας, της Δροσόφιλας<sup>5</sup>. Για να ξεκινήσει αυτή η έρευνα, χρειάστηκε πολύς χρόνος: έπρεπε πρώτα να διαλευκανθούν κάποιες ιδιαίτερες συμπεριφορές –όπως ο γαμήλιος περίπατος της Δροσόφιλας– και να επινοηθούν οι μέθοδοι που θα επιτρέψουν την πρόσβαση στη μελέτη τους. Τα ενεχόμενα υπεύθυνα γονίδια απομονώθηκαν από μεταλλάξεις που αλλοιώνουν τις συγκεκριμένες συμπεριφορές. Μπορούμε να συνοψίσουμε τα ευρήματα, από τις έρευνες που διεξήχθησαν κατά τη διάρκεια της εικοσαετίας, σε δύο συμπεράσματα. Το πρώτο συμπέρασμα καταλήγει στο ότι δεν υπάρχουν υπεύθυνα γονίδια για μια συγκεκριμένη συμπεριφορά, αλλά ότι υπάρχουν πολλά γονίδια που η δυσλειτουργία τους μπορεί να αλλοιώσει τις συμπεριφορές. Το δεύτερο συμπέρασμα, που εξάγεται από αυτές τις έρευνες, είναι ότι τα γονίδια που αναφέραμε πριν είναι ήδη γνωστά «κοινά» γονίδια, τα οποία συμμετέχουν παράλληλα και στην ολοκλήρωση και άλλων λειτουργιών του οργανισμού. Ορισμένα γονίδια, παραδείγματος χάριν, που ενέχονται στην εκμάθηση και στη λειτουργία της μνήμης, συμμετέχουν ταυτόχρονα και στο μεταβολισμό των σακχάρων.

Η δεύτερη ερευνητική κατεύθυνση είναι ίσως και η πιο γνωστή στο ευρύ κοινό. Πρόκειται ουσιαστικά για τις έρευνες που στόχευαν στο να προσδιορίσουν το γονίδιο που είναι υπεύθυνο για ένα γενετικό νόσημα και, στη συνέχεια, στον προσδιορισμό της αντίστοιχης πρωτεΐνης. Αυτή η προσέγγιση, που ονομάζεται μοριακή κλωνοποίηση, ήταν αδύνατον να επιτευχθεί πριν από μία εικοσαετία, λόγω της απουσίας των κατάλληλων μοριακών μεθόδων και συγκεκριμένης γονιδιακής χαρτογράφησης. Σήμερα, η προσέγγιση αυτή, αν και δεν είναι πάντα εύκολη, ωστόσο είναι δυνατή και συνεχώς και πιο σύντομη η διαδικασία της υλοποίησής της. Από τη συσσώρευση των ευρημάτων, που προέρχονται από πλήθος παρόμοιων ερευνών, αποκαλύπτεται η πολυπλοκότητα των σχέσεων ανάμεσα στο αρχικό γενο-

νός, στο οποίο έχει την καταγωγή του το συγκεκριμένο νόσημα, τη μετάλλαξη της αντίστοιχης πρωτεΐνης που συχνά είναι πολύ μικρή και τα ενδεχόμενα συμπτώματα που εκδηλώνει ο οργανισμός. Το νόσημα είναι το επακόλουθο, ορισμένες φορές υποχρεωτικό, αλλά συχνά έμμεσο του αρχικού γεγονότος.

Η τρίτη ερευνητική κατεύθυνση ακολουθεί κατά κάποιον τρόπο την αντίθετη διαδρομή: πρόκειται για έρευνες που στοχεύουν στο να προσδιορίσουν τι θα συμβεί σε ολόκληρο τον οργανισμό από τη μετάλλαξη μιας ήδη γνωστής και καλά μελετημένης πρωτεΐνης ή από την αδρανοποίησή της. Από αυτή την προσέγγιση, που θα μπορούσαμε να την αποκαλέσουμε απλώς γονιδιακή ακύρωση, προέκυψαν πολλές εκπλήξεις: σε ορισμένες από αυτές τις έρευνες, στις οποίες αδρανοποιήθηκε ένα γονίδιο που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη που τη θεωρούσαμε ως απαραίτητη, δεν υπήρξε κανένα κλινικό σύμπτωμα στον οργανισμό<sup>6</sup>. Σε άλλες έρευνες αυτής της κατεύθυνσης, οι συνέπειες από την αδρανοποίηση του γονιδίου δεν ήταν οι αναμενόμενες, αλλά εντελώς διαφορετικές, από τις οποίες μάλιστα προέκυπτε το συμπέρασμα ότι το συγκεκριμένο γονίδιο συμμετείχε σε λειτουργίες του οργανισμού που είχαν μέχρι τώρα αγνοηθεί.

Ένα από τα πιο εντυπωσιακά και ταυτόχρονα από τα πιο ενοχλητικά ευρήματα ήταν αυτό που αφορούσε στο γονίδιο *fosB*. Το γονίδιο αυτό κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη που είχε θεωρηθεί πριν εντελώς απαραίτητη για την κυτταρική διαίρεση. Η αδρανοποίηση ωστόσο αυτού του γονιδίου είχε σαφώς πολύ λίγες συνέπειες στον οργανισμό, όπως παραδείγματός χάριν την... απώλεια του μητρικού ενστίχου. Τα θηλυκά ποντίκια, στα οποία και οι δύο κόπιες του γονιδίου είχαν αδρανοποιηθεί, δεν ασχολούνταν καθόλου με τα μικρά τους, εγκαταλείποντάς τα να πεθάνουν από αστία. Πίσω από αυτές τις εκπλήξεις κρύβονται πολλοί μηχανισμοί, που εξαιτίας τους ήρθαν στο φως. Η πρώτη έκπληξη είναι αυτή του γονιδιακού πλεονασμού. Είναι σπάνιο για ένα ζωντανό πολύπλοκο οργανισμό ένα μόνο γονίδιο να εκτελεί μια μοριακή λειτουργία. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η λειτουργία εξασφαλίζεται από πολλά γονίδια με συγγενική δομή, ώστε να παρέχεται στο σύστημα «σταθερότητα», με τη σημασία που αποδίδουν στον όρο οι μηχανικοί. Οι γενετιστές δεν είχαν προβλέψει τη σημασία και γιατί όχι και την ύπαρξη του φαινομένου του γονιδιακού πλεονασμού. Ο δεύτερος μηχανισμός είναι αυτός της πλειτροπίας, δηλαδή το γεγονός, που έχουμε ήδη προαναφέρει, ότι το προϊόν του γονιδίου συμμετέχει στη διεξαγωγή πολλών και διαφορετικών λειτουργικών διαδικασιών ενός οργανισμού. Η πλειτροπία ήταν γνωστή από πριν στους γενετιστές, αλλά είχε υποτιμηθεί η σημασία της. Επιπλέον, τα αίτια της πλειτροπίας, ότι οι λειτουργίες των οργανισμών ελέγχονται από τη δράση πολύπλοκων επικοινωνιακών οδών και δικτύων, που δρουν σε όλα τα κύτταρα των έμβιων όντων, έγιναν κατανοητά μόνο μετά τις τελευταίες μελέτες. Έγινε επίσης κατανοητό ότι αυτές οι οδοί και αυτά τα δίκτυα δεν ενέχονται μόνο σε μια λειτουργική διαδικασία, αλλά συμμετέχουν μερικά ή συνολικά σε πολλές και διαφορετικές λειτουργικές καταστάσεις των κυττάρων. Η ύπαρξη αυτών των οδών και δικτύων αποκαλύφθηκε από τη μελέτη των μηχανισμών δράσης των ορμονών ή των παραγόντων αύξησης και από την ανάλυση των μηχανισμών της εμβρυϊκής ανάπτυξης, στην οποία παίζουν ουσιαστικά μεγάλο ρόλο.

Θα προσθέσουμε μια ακόμη επισήμανση για αυτή τη νέα μακρομοριακή θεώρηση που αναδύθηκε προσφάτως για την οργάνωση της ζωής<sup>7</sup>: τη δυνατότητα συντήρησης των στοιχει-

ωδών συστατικών αυτών των οδών και δικτύων κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του κόσμου των έμβιων όντων. Αυτό που ξεχωρίζει δύο οργανισμούς δεν είναι τόσο η φύση των συστατικών τους, όσο ο τρόπος που αυτά τα συστατικά συνδέονται μεταξύ τους στον καθέναν από αυτούς. Αυτή η νέα αντίληψη για τη λειτουργία των έμβιων όντων διατυπώθηκε και περιγράφηκε από τον F. Jacob από το 1977<sup>8</sup> με τη μεταφορική έννοια του μαστορέματος και, στη συνέχεια, αναπτύχθηκε και στα γραπτά του: «το σύνολο των έμβιων όντων μοιάζει τελικά με ένα τεράστιο Μέκανο. Τα ίδια πάντα κομμάτια αποδομούνται και αναδομούνται με διαφορετικό τρόπο. Στην ουσία όμως είναι πάντα τα ίδια στοιχεία αυτά που χρησιμοποιούνται»<sup>9</sup>.

Για να αποκτήσει κανείς μια πλήρη περίπου εικόνα αυτών των νέων αντιλήψεων για τη ζωή, θα αναφέρουμε εν συντομία δύο πρόσφατες μετατροπές που έχουν προκύψει στο χώρο της Βιολογίας. Η πρώτη αφορά την καταπληκτική πρόοδο που έχει επέλθει στο χώρο της Κυτταρικής Βιολογίας από τις αρχές του 1970 και μετά και την αυξανόμενη σημασία που έχει πάρει αυτός ο κλάδος της Βιολογίας. Η επιστροφή του κυττάρου στο προσκήνιο για την ερμηνεία των βιολογικών φαινομένων ήταν απροσδόκητη καθώς, στη δεκαετία του 1960, το κύτταρο είχε καταστεί για ορισμένους μοριακούς βιολόγους ένα ενδιάμεσο άχρηστο και παραμελημένο αντικείμενο, στη διαδρομή από τα μακρομόρια προς τα πολύπλοκα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των έμβιων όντων. Σήμερα το κύτταρο συνιστά το κυρίαρχο επίπεδο, αυτό μέσα στο οποίο περιγράφονται τα βιολογικά φαινόμενα. Η μοριακή ερμηνεία, που στοχεύει πολλές έρευνες, δεν μπορεί να αντικαταστήσει την ερμηνεία στο ίδιο το κυτταρικό επίπεδο. Το κύτταρο είναι το πλαίσιο της ολοκλήρωσης των μοριακών φαινομένων που είναι υπό εξέλιξη.

Τέλος, όπως έχει ήδη συζητηθεί σε πολλά άρθρα, η πλειοψηφία των βιολόγων συμφωνεί ότι από τον κόσμο των έμβιων όντων που γνωρίζουμε σήμερα –στον οποίο τα δύο μακρομόρια, το DNA και οι πρωτεΐνες, εκπληρώνουν το καθένα τις λειτουργίες εκείνες που είναι συνδεδεμένες με τη ζωή, δηλαδή αυτή της αποθήκευσης της γενετικής πληροφορίας και της μεταφοράς της από γενεά σε γενεά και την άλλη της χημικής μετατροπής, δηλαδή του μεταβολισμού– προηγήθηκε ένας κόσμος του RNA, που ως μοναδικό μόριο εξασφάλιζε και τις δύο ανωτέρω λειτουργίες. Ανεξάρτητα από τη σπουδαιότητα που περικλείει αυτή η αντίληψη για το σχεδιασμό των σεναρίων που ερμηνεύουν τις καταβολές της ζωής, συνιστά ωστόσο και ένα είδος αμφισβήτησης του ρόλου και της σημασίας των γονιδίων. Παρά το ότι τα γονίδια είναι οι παράγοντες που σήμερα εκπληρώνουν το ρόλο της αποθήκευσης της αναγκαίας πληροφορίας για τη ζωή, ωστόσο τα ίδια δεν αποτελούσαν ειθύς εξαρχής τις καταβολές αυτού του ρόλου, καθώς συνιστούν ένα «καθυστερημένο» προϊόν στην εξέλιξη της ζωής. Τα γονίδια συνιστούν τη λύση που επινόησαν οι οργανισμοί για να αναπαράγουν με μεγαλύτερη ευκολία και πιστότητα τις πρωτεΐνες από γενεά σε γενεά, δηλαδή τα απαραίτητα συστατικά τους. Τα γονίδια δεν συνιστούν λοιπόν ένα πρόγραμμα, αλλά μια μνήμη. Οφείλουμε να αναγνωρίσουμε ότι ο Henri Atlan, από τις αρχές της ανάπτυξης της Μοριακής Βιολογίας, πολέμησε με επιμονή «καθetti το γενετικό», καθώς και την έννοια του γενετικού προγράμματος<sup>10</sup>.

Οι συνέπειες από αυτή τη νέα θεώρηση για τη ζωή, που αναδύθηκε προοδευτικά κατά την τελευταία δεκαετία, είναι πολλαπλές. Θα προσπαθήσουμε να εξετάσουμε στη συνέχεια τις επιστημονικές<sup>11</sup>, επιστημολογικές, φιλοσοφικές και ηθικές συνέπειες.

Η νέα θεώρηση για τη ζωή επικεντρώνει το ενδιαφέρον της στις οδούς και στα δίκτυα που οργανώνονται στο εσωτερικό του κυττάρου και στην ολοκληρωμένη λειτουργία τους. Απαιτεί

την επινόηση νέων τεχνολογικών μεθόδων, κατάλληλων να υπερβούν τις «σημειακές» προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται επί του παρόντος και να δώσουν στο κύτταρο και στη λειτουργία του μια ολοκληρωμένη εικόνα. Αυτές οι νέες προσεγγίσεις συνοψίζονται κάτω από τον τίτλο των μετα-γονιδιακών προσεγγίσεων. Πρόκειται για προσεγγίσεις που έχουν μεγάλη ποιότητα, όπως: περιγραφή του συνόλου των αντιδράσεων πρωτεΐνης-πρωτεΐνης στο εσωτερικό ενός κυττάρου, ενός οργάνου, ενός οργανισμού, ή ποσοτικό προσδιορισμό του συνόλου των γονιδίων σε ένα συγκεκριμένο ιστό και σε μια συγκεκριμένη φυσιολογική κατάσταση.

Η ολοκλήρωση του προσδιορισμού των αλληλουχιών του ανθρώπινου γονιδιώματος και η ανακάλυψη ότι ο αριθμός των γονιδίων που περιέχονται στο είδος μας είναι μόλις μεγαλύτερος από αυτόν της μικρής μύγας της δροσόφιλας ή και του νηματώδους γαιοσκώληκα, αποτέλεσε ένα είδος ηλεκτροσόκ για τους βιολόγους και έπεισε πολλούς από αυτούς ότι η πολυπλοκότητα της ζωής και ιδιαίτερα του ανθρώπου δεν πρέπει να ερευνηθεί στο επίπεδο της φύσης των στοιχειωδών συστατικών της, αλλά στον τρόπο που αυτά τα συστατικά αλληλοαντιδρούν.

Η νέα θεώρηση για τα έμβια όντα, που προέκυψε από τα πρόσφατα ερευνητικά προγράμματα και από την επινόηση των νέων τεχνολογικών μεθόδων, δεν συνιστά μόνο μια «μίνι-επιστημονική επανάσταση», αλλά κυρίως μια σημαντική επιστημολογική επανάσταση. Διότι αντιπροσωπεύει το τέλος μιας από τις μορφές του αναγωγισμού. Αυτό δεν σημαίνει ότι αμφισβητείται ο οντολογικός αναγωγισμός της Μοριακής Βιολογίας: τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των οργανισμών, όσο πολύπλοκοι και να είναι αυτοί οι οργανισμοί, εξαρτώνται πάντα από τις ιδιότητες των συστατικών τους μορίων. Όμως έχει καταστεί πλέον αδύνατον να «αναχθούν» οι πολύπλοκες ιδιότητες των οργανισμών στις ιδιότητες μιας ή ορισμένων πρωτεϊνών, στη δράση ενός ή ορισμένων γονιδίων. Αυτές οι πολύπλοκες ιδιότητες δεν περιέχονται στη δομή των μορίων που τις προκαλούν και δεν εκδηλώνονται παρά μόνο μετά από την ολοκληρωμένη λειτουργικότητα αυτών των στοιχειωδών συστατικών τους. Κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα θα μας επιτρέψουν να σκιαγραφήσουμε αυτό το σημείο. Οι έρευνες του Seymour Benzer, που περιγράφηκαν πριν, έδωσαν τη δυνατότητα να απομονωθούν τα γονίδια που συμμετέχουν στη δημιουργία του κερκαδικού ρυθμού. Ωστόσο τα προϊόντα αυτών των γονιδίων δεν είναι καθόλου ρυθμικά. Ο ρυθμός δεν μπορεί να αναχθεί στις ιδιότητες κανενός από αυτά τα στοιχειώδη συστατικά μόρια, ακόμη και αν αυτές είναι απαραίτητες όσον αφορά τη δημιουργία αυτορυθμιστικών κύκλων από τους οποίους προκύπτει ο ρυθμός. Η δημιουργία των ρυθμών είναι σαφώς μια ιδιότητα που αναδύεται από το μοριακό σύστημα.

Ας επανέλθουμε στο παράδειγμα που αναφέραμε πριν για το γονίδιο *fosB*, που «θεωρείται» υπεύθυνο για το μητρικό ένστικτο: μια πιο εμπειριστατωμένη περιγραφή μάς φανερώνει ότι όντως υπάρχει σχέση ανάμεσα στο γονίδιο και στο μητρικό ένστικτο, αλλά η σχέση αυτή είναι έμμεση. Η πρωτεΐνη του γονιδίου *fosB* είναι σημαντική για την κύτταρική διαίρεση και για τη λειτουργικότητα πολλών νευρικών κυττάρων και κυρίως εκείνων των κυττάρων που είναι παρόντα στην εγκεφαλική δομή που ονομάζουμε υποθάλαμο, η οποία συμμετέχει στην εκδήλωση πολλών συμπεριφορών, όπως της διατροφικής ή της σεξουαλικής συμπεριφοράς ή αυτής του μητρικού συναισθήματος. Ενδεχομένως, στα ζώα εκείνα που είναι αδρανοποιημένο το γονίδιο *fosB*, να έχει αλλοιωθεί η οργάνωση και η λειτουργικότητα των κυττάρων που σχηματίζουν ορισμένα κέντρα του υποθαλάμου, με συνέπεια να

καθίσταται αδύνατη η εκδήλωση του μητρικού συναισθήματος. Το γονίδιο *fosB* δεν είναι συνεπώς ο παράγοντας που είναι υπεύθυνος για το μητρικό ένστικτο: είναι απλώς ο απαραίτητος παράγοντας για τη λειτουργική εκδήλωση του ενστίκτου. Είναι πάρα πολλά τα γονίδια που επίσης είναι απαραίτητα –ορισμένα εκ των οποίων είναι ήδη γνωστά– και που κανένα από αυτά δεν είναι το «συγκεκριμένο» γονίδιο του μητρικού ενστίκτου: το μητρικό ένστικτο δεν προκαθορίζεται από τη δομή ορισμένων μόνο γονιδίων.

Το ίδιο εξάλλου συμβαίνει και με τον παράγοντα που μας προσφέρει την ιδιότητά μας της ανθρωπίνης υπόστασης. Πρέπει να αποτινάξουμε την αυταπάτη ότι με την απλή σύγκριση των γονιδιωμάτων του ανθρώπου και του χιμπαντζή θα ανακαλύψουμε γονίδια αποκλειστικά για τον άνθρωπο που δεν υπάρχουν στον χιμπαντζή, τα οποία να «ερμηνεύουν» την ανθρωπινή μας ιδιότητα. Οι διαφορές ανάμεσα στον άνθρωπο και στο χιμπαντζή δεν ανάγονται στις ιδιότητες κάποιων γονιδίων. Οι διαφορές αυτές αναδύονται από την ολοκληρωμένη λειτουργική διαδικασία του συνόλου των γονιδίων μας, διαμέσου της δομικής και λειτουργικής συστατικής ιεραρχίας – κύτταρο, ιστός, όργανο.

Αυτό που τελικά συνέβη αυτές τις δύο τελευταίες δεκαετίες είναι η ανατροπή στο σπηνικό που αφορά στην τάξη των έμβιων όντων. Ο Francois Jacob είχε από το 1970 αποδείξει ότι αυτή η τάξη θεμελιώνεται στην ύπαρξη διαφορετικών ιεραρχικών επιπέδων, που είναι καλά συναρθρωμένα μεταξύ τους<sup>12</sup>. Αλλά πολλοί βιολόγοι είχαν την τάση να θεωρούν το μοριακό επίπεδο ως το κυρίαρχο, από το οποίο θεωρούσαν ότι προέρχονταν λίγο πολύ άμεσα τα ανώτερα ιεραρχικά επίπεδα. Η τάξη λοιπόν ξεκινούσε από το κατώτερο επίπεδο και επεκτεινόταν προς το ανώτερο. Σήμερα, όμως, η τάξη στα έμβια όντα διερευνάται στο ανώτερο επίπεδο, στην ολοκληρωμένη λειτουργικότητα των μοριακών συστατικών, και όχι στη φύση αυτών των συστατικών.

Πέραν από την επιστημονική και επιστημολογική επανάσταση, τα πρόσφατα ευρήματα της Βιολογίας ενέχουν επίσης και φιλοσοφικές και ηθικές συνέπειες. Έρχονται να δονήσουν τις αντιλήψεις μας για την έννοια της λειτουργίας, που τόσο στενά συνδέεται με την ιστορία της Βιολογίας. Είναι προφανές ότι η έννοια αυτή δεν ταιριάζει πολύ καλά με τα στοιχειώδη συστατικά των ζώντων οργανισμών, δηλαδή με τις πρωτεΐνες. Πώς θα ορίσουμε τη λειτουργία μιας πρωτεΐνης, όταν αυτή συμμετέχει ταυτόχρονα σε πολλές βιολογικές διαδικασίες; Ορισμένοι φιλόσοφοι θεωρούν ότι πρέπει να εγκαταλείψουμε ή τουλάχιστον να μειώσουμε τη χρήση της έννοιας της λειτουργίας στη Βιολογία. Η έννοια αυτή συνιστά ένα ιστορικό κατάλοιπο και μόνο η εγκατάλειψή της θα επέτρεπε στη Βιολογία να φθάσει σε ένα επίπεδο επιστημονικότητας ανάλογο με αυτό της Φυσικής. Είναι ωστόσο πιθανό ότι η έννοια της λειτουργίας είναι ουσιαστικά συνδεδεμένη με αυτό που συνιστά ένα από τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ζωής: την ανάγκη για κάθε γενεά να περάσει μέσα από το κόσκινο της φυσικής επιλογής.

Εάν λοιπόν έχει καταστεί δύσκολο, ίσως και αδύνατον, να προσδιορίσουμε τις στοιχειώδεις λειτουργίες των γονιδίων, τότε είναι παράλογο να θέλουμε να προσδιορίσουμε τα γονίδια που είναι υπεύθυνα για μια συγκεκριμένη ανώτερη λειτουργία: διότι αυτή η συγκεκριμένη ανώτερη λειτουργία δεν περιέχεται στις στοιχειώδεις λειτουργίες των γονιδίων που είναι απαραίτητα για τη διεξαγωγή της και διότι αυτά τα γονίδια συμμετέχουν συχνά σε πάρα πολλές άλλες λειτουργίες. Η ιδέα που υπάρχει για συγκεκριμένα γονίδια των συμπεριφορών ή για γονίδια ευφυΐας είναι εντελώς εσφαλμένη.



Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι οι γονιδιακές αλλοιώσεις δεν έχουν πολύ συγκεκριμένες επιδράσεις στις συμπεριφορές και στις ανθρώπινες ικανότητες. Υπάρχει μια μορφή γενετικού ντετερμινισμού, αλλά δεν έχει την αστεία μορφή που συχνά του αποδίδουμε. Τα γονίδια είναι αυτά που οικοδομούν τις συνθήκες των δυνατοτήτων των οργανισμών. Στην περίπτωση κάποιας δυσλειτουργίας, ορισμένες από τις δυνατότητες αυτές θα εξαφανιστούν. Αλλά τα γονίδια δεν προκαθορίζουν το περιεχόμενο αυτού του χώρου των δυνατοτήτων για τη δημιουργία του οποίου συνέβαλαν.

Με την αποπεράτωση των μεγάλων προγραμμάτων της αποκρυπτογράφησης των αλληλουχιών του γονιδιώματος και την ταχεία ανάπτυξη των μετα-γονιδιακών τεχνολογικών μεθόδων, η Βιολογία βρίσκεται πλέον στη διασταύρωση πολλών δρόμων. Θα προσπαθήσει να εισέλθει, όπως η Φυσική, στον αιώνα της «Μεγάλης Επιστήμης»; Άραγε θα γίνει δυνατή η μοντελοποίηση των βιολογικών μηχανισμών, ώστε η βιολογία να καταστεί μια ποσοτική επιστήμη; Οι έρευνες της μετα-γονιδιακής εποχής θα αποκαλύψουν άραγε την ολοκληρωμένη τάξη της ζωής, που πολλοί οπαδοί της ευελπιστούν; Δεν θα διακινδυνεύσω να δώσω απαντήσεις σε τέτοιου είδους ερωτήματα. Προτιμώ ως συμπέρασμα να αναφέρω τη ρήση του F. Jacob: «Εάν μέσα στη φύση μας υπάρχει η τάση να θέλουμε να φτιάξουμε το μέλλον, το σύστημα είναι έτσι συναρμολογημένο, ώστε οι προβλέψεις μας να παραμένουν αβέβαιες. Δεν μπορούμε να σκεφθούμε για τους εαυτούς μας χωρίς μια επόμενη στιγμή, αλλά δεν μπορούμε να ξέρουμε τι θα είναι αυτή η στιγμή. Αυτό που μαντεύουμε σήμερα για το μέλλον μας δεν θα πραγματοποιηθεί. Εν πάση περιπτώσει, θα υπάρξουν αλλαγές, αλλά το μέλλον θα είναι διαφορετικό από αυτό που εμείς υπολογίσαμε»<sup>13</sup>.

**Μετάφραση: Λαοκρατία Λάκκα**

## Σημειώσεις

1. Evelyn Fox Keller (2000), *Ο αιώνας του γονιδίου*, Harvard University Press, Cambridge Mass.
2. J. Monod (1970), *Η τύχη και η αναγκαιότητα*, ελ. έκδ. Κέδρος.
3. Erwin Schrödinger (1944), *Τι είναι η ζωή*, ελληνική έκδοση Κωσταράκης.
4. Wolfgang Ostwald (1917), *Εισαγωγή στη θεωρητική και εφαρμοσμένη κολοϊδική επιστήμη. Ο κόσμος των αγνοημένων διαστάσεων*, New York.
5. Jonathan Weiner (1999), *Χρόνος, αγάπη, μνήμη: ένας μεγάλος βιολόγος και η έρευνά του για τη συμπεριφορά*, Alfred A. Knopf, New York.
6. Michel Morange (1998), *Το μερίδιο των γονιδίων*, εκδόσεις Καστανιώτης.
7. Michel Morange (2000), «Γονιδιακή λειτουργία», C.R. Acad. Sci. Paris, *Sciences de la vie*, 323, σσ. 1147-1153.
8. F. Jacob (1977), "Evolution and Tinkering", *Science*, 196, σσ. 1161-1166.
9. F. Jacob (1997), *Το ποντίκι, η μύγα και ο άνθρωπος*, Odile Jacob, ελ. έκδ. Κέδρος.
10. Henri Atlan (1999), *La fin du tout génétique? Vers de nouveaux paradigmes en biologie*, INRA ed. Paris.
11. Ralph J. Greenspan (2001), "The flexible genome", *Nature Reviews/genetics* 2, σσ. 383-387.
12. F. Jacob (1970), *Η λογική του ζώντος*, Gallimard, Paris, ελ. έκδ. Κέδρος.
13. F. Jacob (1981), *Το παιχνίδι της εξέλιξης*, Fayard, Paris.