

Βιολογικός ντετερμινισμός, άτομο και κοινωνίες ισότητας

Οι επιστήμες που αναπτύσσουν οι κοινωνίες, οι κοσμοθεωρίες που επιλέγουν και οι τεχνολογίες που δημιουργούν και χρησιμοποιούν ως αποτέλεσμα αυτών των επιστημών δεν μπορούν να διαχωριστούν από το πολιτικοκοινωνικό πλαίσιο εντός του οποίου δημιουργούνται, τους σκοπούς αυτών που αποφασίζουν για τη χρηματοδότησή τους και τα κοσμοείδωλα μέσω των οποίων οι κοινωνίες αναζητούν τις απαντήσεις για τα μεγάλα ερωτήματα του ανθρώπου. Αυτό το είχε επισημάνει και ο Αριστοτέλης πριν περίπου 2.360 χρόνια όταν διαπίστωνε ότι «[...] η πολιτική [...] είναι αυτή που επιτάσσει ποια από τις επιστήμες θα μελετάται σε ένα κράτος και ποια από τις κοινωνικές τάξεις πρέπει να μορφώνεται και σε ποιο βαθμό θα πρέπει να τις μελετά [...]»¹. Οι επιστήμες επομένως δεν είναι «ουδέτερες» και η αντικειμενικότητά τους είναι μόνο επιδεσμική, κάτι που βέβαια ισχύει και για τη σύγχρονη βιολογία ιδιαίτερα λόγω των ιδεολογικών και πολιτικοκοινωνικών προεκτάσεων που αποκτούν οι σκόπιμες ή μη παρερμηνείες των ανακαλύψεών της.

Οι οικονομικοί μετασχηματισμοί που έλαβαν χώρα στη Δύση τον 19ο αιώνα άφησαν τα αποτυπώματά τους μέχρι σήμερα στο πώς μελετούν οι βιολόγοι τους οργανισμούς, τα κυτταρικά και τα χημικά συστατικά τους. Στα βιοχημικά συγγράμματα του 1930 (και έως τα τέλη της δεκαετίας του '50) τα κύτταρα θεωρούνταν μικρά «εργοστάσια» εφοδιασμένα με «ηλεκτρικούς σταθμούς» (τα ενδοκυτταρικά οργανίδια μιτοχόνδρια) και συστήματα ροής ενέργειας (το βιολογικό καύσιμο των κυττάρων ATP), που η βασική τους λειτουργία ήταν η διατήρηση του ενεργειακού ισοζυγίου. Παράλληλα, στη μελέτη των οργανισμών θα εισαχθούν οι έννοιες των διαδικασιών ελέγχου και ροής της πληροφορίας, με το γενετικό υλικό (το DNA και δευτερευόντως το RNA) να ονομάζεται «μακρομόριο πληροφορίας», ενώ ο ανθρώπινος εγκέφαλος θα θεωρηθεί ένας υπερυπολογιστής με εξέχουσα τροχιά στη βιολογική υπερλεωφόρο της πληροφορίας. Θα συμπορευθούν με την ανάπτυξη της

* Ο Χ. Γεωργίου είναι Καθηγητής Βιοχημείας στο Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών.

βιομηχανίας της πληροφορικής και της βιοτεχνολογίας. Η τελευταία αυτή οικονομική δυνατότητα βασίστηκε σε μια βιολογική επανάσταση (της δεκαετίας του '70), την τεχνική του ανασυνδυασμού του DNA, που δίνει τη δυνατότητα τροποποίησης των οργανισμών με την εισαγωγή εντός τους μικρών τμημάτων DNA (γονιδίων) από άλλους οργανισμούς.

Η χρονική σύμπτωση αυτών των θεωρήσεων με την οικονομία της «κοινωνίας της πληροφορίας» είναι πολύ εντυπωσιακή για να την παραβλέψουμε, όταν μάλιστα έχει και προϊστορία. Η δεκαετία του 1970 θα χαρακτηριστεί από την ανάδυση μιας σχολής μονεταριστών οικονομολόγων με έδρα το Σικάγο. Ο μονεταρισμός είναι κάτι περισσότερο από μια οικονομική θεωρία. Μάλιστα, αποτέλεσε τον θεμέλιο λίθο του Θατσερισμού και του Ρηγκανισμού της δεκαετίας του 1980. Είναι κυρίως μια αναγωγιστική θεώρηση της κοινωνίας που συνταιριάζει τα μονεταριστικά μαθηματικά μοντέλα με ντετερμινιστικές βιολογικές αναλύσεις της κοινωνικής συμπεριφοράς του ανθρώπου, που επωάστηκαν στο νέο ιδεολογικό ρεύμα της κοινωνιοβιολογίας στη δεκαετία του 1970. Η κοινωνιοβιολογία είχε ως βάση τα βιβλία *Κοινωνιοβιολογία* (1975) του Έντουαρντ Γουίλσον² και *Εγωιστικό γονίδιο* (1976) του Ρίτσαρντ Ντόκινς³, τα οποία θα επικριθούν έντονα από τον Ρίτσαρντ Λιουόντιν⁴ και από άλλους εξέχοντες βιολόγους συναδέλφους του Γουίλσον στο Πανεπιστήμιο του Χάρβαρντ, όπως οι Στίβεν Τζέι Γκουλντ (Stephen Jay Gould), Ρίτσαρντ Λέβινς (Richard Levins) και Ερνστ Μάιρ (Ernst Mayr). Οι οικονομολόγοι, μάλιστα, ανταπέδωσαν τη φιλοφρόνηση του Γουίλσον δημιουργώντας έναν καινούργιο κλάδο οικονομίας, την Εξελικτική Οικονομία⁵.

Το ιδεολογικό ρεύμα της κοινωνιοβιολογίας θα ωσσωθεί με την κυρίαρχη σήμερα ιδεολογία της νεωτερικότητας (για την οποία η αυτοδιάθεση του ατόμου και η κοινωνικά προσδιοριζόμενη ταυτότητά του γίνονται μέσω αλληλεπίδρασης με την ετερότητα), που εξάλλου εξέθρεψε τις εκ του εξάδελφου του Δαρβίνου σεφ Φράνσις Γκάλτον εκπορευόμενες ευγονικές ρίζες της κοινωνιοβιολογίας. Θα διατηρήσει όμως και θα θεοποιήσει τον επιστημονισμό της νεωτερικότητας αλλά, ως ντετερμινιστική ιδεολογία, θα απορρίψει την άλλη αρχή της ότι το άτομο διαμορφώνεται βασικά από το κοινωνικό περιβάλλον.

Οι «εργοστασιακές» μεταφορές της βιολογίας στην οικονομία θα αντικατασταθούν, στη δεκαετία του 1990, με άλλες μορφές που θα τις επηρεάσουν αμφότερες. Για παράδειγμα, η Θεωρία του Χάους, που θα εφαρμοστεί για την πρόβλεψη των χρηματιστηριακών διακυμάνσεων και των κύκλων και ισορροπιών της οικονομίας⁶, θα υιοθετηθεί και για τη μελέτη της δυναμικής πληθυσμών στα πολύπλοκα οικοσυστήματα⁷.

Φυσικοχημικοί και βιολογικοί ντετερμινισμοί

Η κοινωνιοβιολογία αποτελεί τη σύγχρονη εκδοχή του βιολογικού ντετερμινισμού ή αλλιώς της βιολογικής αιτιοκρατίας. Ο κοινωνιοβιολογικός ντετερμινισμός έχει ως αφετηρία του τον γενετικό (γονιδιακό) ντετερμινισμό, με βάση τον οποίο δίνει βιολογικές εξηγήσεις για τις περισσότερες, αν όχι όλες, τις πλευρές της ανθρώπινης κοινωνικής κατάστασης· από τις κοινωνικές ανισότητες μεταξύ ανδρών και γυναικών, τις ατομικές τάσεις όπως οι σεξουαλικές προτιμήσεις, η χρήση ναρκωτικών και η κατάχρηση αλκοόλ, μέχρι τις ανισότητες μεταξύ κοινωνικών τάξεων, «φυλών» και εθνών, έως και την αδυναμία π.χ. των αστέγων και των ψυχικά ασταθών ατόμων να επιβιώσουν στη σύγχρονη κοινωνία. Η κοινωνιοβιολογία είναι μια συνάθροιση θεωριών και υποθέσεων για τον άνθρωπο και την κοινωνία με σκοπό να στηριχθεί η θέση ότι η θεωρία της βιολογικής γενετικής εξέλιξης του ανθρώπου (και των υπόλοιπων οργανισμών) μπορεί, καλύτερα από την επιστήμη της κοινωνιολογίας, να εξηγήσει τις οικονομικές και πολιτικές επιστήμες και τον ανθρώπινο ψυχισμό⁸, προκειμένου να νομιμοποιήσει επιστημονικά τις ιεραρχικές καπιταλιστικές κοινωνίες ως απόλυτα συμβατές με την υποτιθέμενα ζωώδη κοινωνική φύση του ανθρώπου. Με την κοινωνιοβιολογία, το πεπρωμένο απεκδύεται τη μεσαιωνική μεταφυσική μορφή του και ενδύεται τον τεχνοκρατικό χιτώνα της γενετικής, υπό τον οποίο ο άνθρωπος του μέλλοντος δεν θα είναι προϊόν κοινωνικών και οικονομικοπολιτικών ανατροπών αλλά επιστημονικών εργαστηρίων.

Οι σύγχρονες επιστημονικές γνώσεις μας για τη βιολογία και τον άνθρωπο αντικρούουν την κυρίαρχουσα αντίληψη ότι είναι έρμαιο του γενετικού ντετερμινισμού των γονιδίων του. Εμείς και οι υπόλοιποι οργανισμοί έχουμε κοινό υλικό υπόβαθρο γιατί δομούμαστε από τα ίδια χημικά συστατικά της ύλης (τα χημικά στοιχεία ή άτομα, και από τις ενώσεις τους, τα χημικά μόρια). Από τα 117 διαφορετικά χημικά στοιχεία που συνθέτουν το γνωστό μας σύμπαν, όλοι οι οργανισμοί είναι κατασκευασμένοι μόνο με 16 απ' αυτά (κυρίως άνθρακα, οξυγόνο, άζωτο, υδρογόνο, φώσφορο, θείο).

Από ποικίλους συνδυασμούς αυτών των 16 χημικών στοιχείων προκύπτουν τα βασικά δομικά χημικά υλικά όλων των οργανισμών και του ανθρώπου. Είναι οι πρωτεΐνες (με τα χημικά συστατικά τους, τα αμινοξέα), το γενετικό μας υλικό (το DNA, με τα χημικά συστατικά του, τα νουκλεοτίδια), οι υδατάνθρακες (ή αλλιώς ζάχαρα, που είναι οι πηγές ενέργειας του σώματός μας), και τα λίπη από τα οποία δομείται το περιβλήμα (η μεμβράνη) των κυττάρων και των εσωτερικών οργανιδίων τους (όπως ο πυρήνας με το DNA που περιέχει, και τα μιτοχόνδρια με την ενέργεια που παράγουν για τους οργανισμούς).

Η σύνθεση των χημικών συστατικών όλων των οργανισμών γίνεται μέσα από αδιάλειπτες αλληλεπιδράσεις και χημικές συνδέσεις μεταξύ τους, που απορρέουν

από τις φυσικοχημικές ιδιότητες της ύλης και είναι κοινές σε όλους τους οργανισμούς. Επομένως, όλοι οι οργανισμοί, και ο άνθρωπος, είναι υλικά ισοδύναμοι λόγω της κοινής υλικοχημικής καταγωγής τους. Κι αυτό οφείλεται στον απόλυτο ντετερμινισμό των φυσικών νόμων, λόγω της υφιστάμενης καθολικής ισχύος τους τουλάχιστον για το γνωστό μας σύμπαν.

Η χημική ύλη της ζωής βρίσκεται σε διαρκή μετασχηματισμό γνωστό ως μεταβολισμό. Είναι το σύνολο των αλληλεπιδράσεων, αντιδράσεων, συνδυασμών, αποικοδομήσεων, συνθέσεων που λαμβάνουν χώρα μεταξύ των χημικών συστατικών ενός οργανισμού προκειμένου αυτός να διατηρηθεί εν ζωή, να αυξηθεί και να αναπαραχθεί. Αυτές οι μεταβολικές βιοχημικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χημικών βιομορίων γίνονται με βιοχημικές αντιδράσεις κοινές για όλους τους οργανισμούς. Είναι οι ίδιες βιοχημικές αλληλεπιδράσεις που αποτελούν το μεταβολικό υπόβαθρο της ανθρώπινης νόησης.

Αυτές οι βιοχημικές αντιδράσεις πραγματοποιούνται (καταλύονται) από ορισμένα είδη βιολογικών χημικών μορίων (πρωτεΐνες) που ονομάζονται ένζυμα, σε ορισμένη θέση των οποίων συναντώνται τυχαία τα διάφορα χημικά συστατικά του κυττάρου και μετατρέπονται σε άλλα χημικά μόρια απαραίτητα για κάθε οργανισμό. Η δημιουργία των ενζύμων (όπως εξάλλου και όλων των πρωτεϊνών) γίνεται (κωδικοποιείται) από αρχέγονα γονίδια και νεότερους συνδυασμούς τους, που έχουν δοκιμαστεί ως χημικά συστατικά του DNA αρχέγονων οργανισμών για την καλύτερη προσαρμογή τους στο περιβάλλον. Έχουν δε συσσωρευθεί, σε συγκεκριμένους συνδυασμούς, σε κάθε ένα από τα σημερινά είδη οργανισμών, και τον άνθρωπο, και έχουν προκύψει εξελικτικά από προγενέστερους οργανισμούς σε απόκριση στον περιβαλλοντικά μεταβαλλόμενο και εξελισσόμενο πλανήτη μας. Δηλαδή, σε βάθος δισεκατομμυρίων χρόνων δημιουργούνται νέα γονίδια με εξαιρετικά αργούς ρυθμούς και διατηρούνται κυρίως όταν κωδικοποιούν νέα ένζυμα που εμπλουτίζουν το μεταβολισμό για να προσφέρουν πλεονεκτήματα επιβίωσης και επικράτησης στα νέα είδη οργανισμών.

Ο μεταβολισμός ενός εξελικτικά ταπεινού βακτηρίου που ενδημεί στο έντερό μας (της *Escherichia coli*) είναι κατά βάση ίδιος με το μεταβολισμό καθενός από τα 50-100 τρισεκατομμύρια κύτταρα που δομούν το ανθρώπινο σώμα. Αυτό σημαίνει ότι οι βιοχημικές αντιδράσεις του μεταβολισμού είναι σε γενικές γραμμές κοινές για όλους τους οργανισμούς. Δηλαδή όλοι οι οργανισμοί υπόκεινται σε έναν κοινό μεταβολικό ντετερμινισμό, προέκταση του ντετερμινισμού των φυσικών νόμων της ύλης, διότι προήλθαν από έναν αρχέγονο οργανισμό ως αποτέλεσμα της μετέπειτα γενετικής εξέλιξής του. Επομένως, στο μεταβολικό επίπεδο υπάρχει μια δυναμική ισοδυναμία μεταξύ διαφορετικών οργανισμών, κάτι που ισχύει πολύ περισσότερο μεταξύ των ατόμων του ίδιου είδους οργανισμού, και ιδιαίτερα του ανθρώπου.

Ο βιολογικός ή γενετικός ντετερμινισμός υφίσταται για να διατηρεί σχετικά σταθερή μόνο τη διαφορετικότητα μεταξύ των διαφόρων ειδών οργανισμών και όχι μεταξύ των μελών εκάστου είδους. Αλλά ακόμα κι αυτή η περιορισμένη ντετερμινιστική ισχύς του έχει πεπερασμένη χρονική διάρκεια επειδή βρίσκεται υπό τον ασφυκτικό έλεγχο του περιβάλλοντος. Σε βάθος χιλιάδων έως εκατομμυρίων χρόνων αυτή η ισχύς εξαφανίζεται αδυνατώντας να διατηρήσει τα διάφορα είδη οργανισμών εσαεί εν ζωή, με συνέπεια την εξαφάνιση τους και τη δημιουργία νέων ειδών. Επομένως, ο φερόμενος βιολογικός ντετερμινισμός ανάγεται, στην ουσία, σε έναν απρόβλεπτο βιολογικό εξελικτισμό, που κινείται στο περιθώριο των ντετερμινιστικών παγκόσμιων νόμων της ύλης ως απόλυτα εξαρτώμενος από τις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες του πλανήτη μας.

Ο βιολογικός ντετερμινισμός στη σύγχρονη κοινωνιοβιολογική μετεξέλιξη του στην Εξελικτική Ψυχολογία⁹ θεωρεί ότι το ατομικό και το κοινωνικό πεπρωμένο είναι εξελικτικά (μέσω της Φυσικής Επιλογής του Δαρβίνου) γραμμένο στο γενετικό μας υλικό (τα γονίδια). Ισχύει κάτι τέτοιο; Η απάντηση σε αυτό το επίμαχο ερώτημα έχει τεράστιες κοινωνικές, πολιτικές και οικονομικές επιπτώσεις τόσο στο άτομο όσο και στις δομές της κοινωνικής του οργάνωσης, παρούσες και μελλοντικές. Κι αυτό διότι ο βιολογικός ντετερμινισμός είναι αντίθετος με τις κοινωνικές ισοτίμιες μελών. Κατακερματίζει και εξειδικεύει τα κοινωνικά δικαιώματα ανάλογα με την παραγωγικά αξιακή «ποιότητα» του γενετικού υλικού στο ατομικό και εθνολογικό επίπεδο, η οποία ορίζεται κατά το ωφελμιστικό δοκούν των εκάστοτε κυρίαρχων οικονομικοπολιτικών ελίτ. Με την «επιστημονική» συνδρομή των κοινωνιοβιολόγων, ο βιολογικός ντετερμινισμός έχει πλέον γίνει άρρηκτα η επίσημη ιδεολογία του κρατούντος διεθνούς πολιτικοοικονομικού συστήματος. Αντλώντας επιχειρήματα από τις βιολογικές επιστήμες, το παρόν δοκίμιο θα επιχειρήσει να δείξει ότι δεν υφίσταται ο βιολογικός ντετερμινισμός της κοινωνιοβιολογίας.

Υπάρχει βιολογική μοναδικότητα και ατομικότητα;

Είμαστε δομημένοι από ιστούς που συγκροτούν τα διάφορα όργανα του σώματός μας. Κάθε ιστός είναι μια μάζα διακριτών μεταξύ τους κυττάρων, και κάθε κύτταρο είναι μια συνάθροιση χημικών μορίων. Στη διάρκεια της ενήλικης ζωής μας κάθε κύτταρο του σώματός μας θα έχει πεθάνει και αντικατασταθεί πολλές εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές (αυτό συμβαίνει σε μικρότερο βαθμό και στα νευρικά κύτταρα του εγκεφάλου μας, με αυτά του εγκεφαλικού φλοιού, όπου εδράζεται η νόηση, να μπορούν να αναγεννώνται και να πολλαπλασιάζονται σε απόκριση στα εξωτερικά ερεθίσματα). Επίσης, κάθε ένα από τα βασικά βιομόρια του σώματός

μας (πρωτεΐνες, γενετικό υλικό, λίπη) θα έχει συντεθεί με κόπο, παραμένοντας στον οργανισμό επί μερικές ώρες, ημέρες ή μήνες, για να αποδομηθεί κατόπιν και να αντικατασταθεί από ένα διάδοχο μόριο, λίγο πολύ ακριβές αντίγραφο του. Για παράδειγμα, ο μέσος όρος ζωής ενός μορίου πρωτεΐνης στα θηλαστικά είναι περίπου 15 ημέρες. Με δεδομένο ότι οι πρωτεΐνες αποτελούν το 10% του ανθρώπινου σωματικού βάρους, γύρω στα 24 γραμμάρια πρωτεΐνης διασπώνται και παράγονται ανά ώρα κάθε ημέρα¹⁰. Δηλαδή, η χημεία του σώματός μας βρίσκεται σε συνεχή ροή και μας κάνει να μην έχουμε ως άτομα ούτε ένα χημικό μόριο μόνιμο και αναλλοίωτο επάνω μας που να μας ξεχωρίζει από τους άλλους ανθρώπους. Ακόμα και το πιο σταθερό από τα χημικά μόριά μας, το γενετικό μας υλικό (το DNA), όπως θα δούμε πιο κάτω, δέχεται και υφίσταται διαρκείς χημικές επιθέσεις (και υπόκειται σε αλλαγές) από το περιβάλλον (γνωστές ως επιγένεση).

Αλλά ούτε τα σωματικά μας όρια είναι στεγανά από άλλους οργανισμούς. Λόγου χάριν, το έντερό μας φιλοξενεί εκατοντάδες εκατομμύρια μικροοργανισμούς με τους οποίους συμβιώνουμε ή που δρουν ως παράσιτα. Πολύ περισσότεροι μικροοργανισμοί κατοικούν στην επιφάνεια του σώματός μας, στο δέρμα και τα μαλλιά. Φιλοξενούμε πάνω από 500 διαφορετικά είδη μικροβίων στην εκπληκτική αναλογία 10 βακτηρίων για κάθε 1 κύτταρο του σώματός μας¹¹. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν τα αντιλαμβανόμαστε ούτε θεωρούμε ότι συνεισφέρουν στην αίσθηση της ατομικότητας που έχουμε για τον εαυτό μας. Ωστόσο, χωρίς αυτούς τους μικροοργανισμούς πολύ πιθανόν δεν θα επιβιώναμε.

Επομένως, απ' όπου κι αν προέρχεται η αίσθηση της ατομικότητας στο χώρο και το χρόνο δεν μπορεί να οφείλεται στο αναλλοίωτο των χημικών μορίων που δομούν το σώμα μας. Η αίσθηση του εαυτού γεννιέται στον καθένα μας μέσω της ταυτότητας που προκύπτει από την τροχιά που διαγράφουμε στη ζωή μας σε συνδυασμό με τα αισθητήρια όργανά μας. Δεν οφείλεται σε κανένα βιολογικό ντετερμινισμό που να εκπορεύεται από την «ενδελέχεια» κάποιων αναλλοίωτων ιδιαίτερων χημικών μορίων (σαν το DNA μας) και των κυττάρων μας ούτε και στις ιδιαίτερες σωματικές δομές μας (που είναι επίσης παροδικές). Όπως θα δούμε, η ατομική μοναδικότητα ξεκινά στο εν εξελίξει ανθρώπινο έμβρυο και κορυφώνεται στην ηλικία μεταξύ 18-24 μηνών, όταν αρχίζει να διαμορφώνει την εικόνα του εαυτού και την ατομική ταυτότητά του. Αυτό οφείλεται στη χαρτογραφημένη δυνατότητα του εγκεφαλικού φλοιού (κυρίως του δεξιού ημισφαιρίου) να κωδικοποιεί και να αναγνωρίζει ως ατομικά τα ερεθίσματα που προέρχονται από το ίδιο το σώμα του, όπως από το άγγιγμα του δέρματός του, από τον πόνο που του προκαλεί ένα χτύπημα σε κάποιο σημείο του σώματός του¹². Στη συνέχεια, η μοναδικότητα οφείλεται στις ξεχωριστές για τον καθένα μας διαδικασίες της κοινωνικής ζωής στις οποίες υποκειμέθα και οι οποίες συνεχίζονται δυναμικά καθ' όλη τη διάρκεια της ύπαρξής μας.

Μη ντετερμινιστική επίδραση του περιβάλλοντος σε κύτταρα και οργανισμούς

Τα κύτταρα και οι οργανισμοί από τα οποία δομούνται δεν νοούνται χώρια από το περιβάλλον τους. Τα κύτταρα περιβάλλονται από ημιδιαπερατές μεμβράνες κατασκευασμένες από πρωτεΐνες και λίπη, οι οποίες λειτουργούν σαν εμπόδια και σημεία επικοινωνίας με το περιβάλλον (εξωτερικό και εσωτερικό) μέσω της αδιάλειπτης κυκλοφορίας χημικών μορίων. Για τη διατήρηση στη ζωή και την αναπαραγωγή των κυττάρων και την αλληλεπίδραση τους με το περιβάλλον απαιτείται συνεχής κατανάλωση ενέργειας που οι οργανισμοί την προσλαμβάνουν από τα χημικά συστατικά (ζάχαρα, πρωτεΐνες, λίπη) της τροφής τους, την οποία όμως πρέπει να μεταφέρουν σε κάθε κύτταρο τους μέσα από τη μεμβράνη του, ενώ τα άχρηστα μόρια του μεταβολισμού τους θα πρέπει να αποβληθούν στο περιβάλλον (πάλι μέσα από τη μεμβράνη κάθε κυττάρου).

Για τους μονοκύτταρους οργανισμούς το περιβάλλον τους ταυτίζεται με τον συνεχώς μεταβαλλόμενο και ανομοιογενή εξωτερικό κόσμο. Οι μεμβράνες πολλών τέτοιων οργανισμών είναι εφοδιασμένες με χημικά μόρια-αισθητήρες που «ανιχνεύουν» περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις τροφών (π.χ. σακχάρων), και ενεργοποιούν μοριακές ουρές (μαστίγια) που τους δίνουν τη δυνατότητα να κινούνται προς τέτοιες περιοχές πλούσιες σε τροφή. Αν απουσιάζει ένα είδος τροφής και υπάρχει κάποιο άλλο, οι μονοκύτταροι οργανισμοί μπορούν και ενεργοποιούν μέσω του νέου είδους τροφής γονίδια για να παράγουν τα κατάλληλα ένζυμα προκειμένου να τη μεταβολίσουν (βλέπε ειδική ενότητα για γονίδια και ένζυμα πιο κάτω). Επομένως, η αλληλεπίδραση του οργανισμού με το περιβάλλον καθορίζει ποια από τα γονίδιά του θα ενεργοποιηθούν σε κάθε περίπτωση.

Για τους πολυκύτταρους οργανισμούς, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των κυττάρων τους και του περιβάλλοντος είναι πιο σύνθετες¹³. Το κάθε κύτταρο περικλείεται στο δικό του μικροπεριβάλλον που είναι εξωτερικό για το ίδιο αλλά εσωτερικό για τον οργανισμό, μεταθέτοντας την ευθύνη της απόκρισης στην ετερογένεια του εξωτερικού περιβάλλοντος στον οργανισμό ως σύνολο. Εδώ, τα κύτταρα είναι προφυλαγμένα από τις διακυμάνσεις του αφιλόξενου εξωτερικού περιβάλλοντος και έχουν εξασφαλισμένη την τροφή τους από το εξωκυτταρικό υγρό που τα περιβάλλει και τον καθαρισμό τους προς αυτό. Έτσι, δεν χρειάζεται να έχουν σε επιφυλακή όλα τα γονίδιά τους για την ικανοποίηση των απλούστερων και προβλέψιμων αναγκών τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χάσουν την αυτονομία τους μέσα στην ενότητα του οργανισμού τόσο για ανεξάρτητη και απεριορίστη αναπαραγωγή όσο και για να ασκούν όποιες λειτουργίες επιθυμούν, οπότε αναγκάζονται να εξειδικεύονται π.χ. ως μυϊκά και νευρικά κύτταρα, κύτταρα φύλων και ριζών κ.λπ.

Καθώς προχωρεί η οντογένεση και τα κύτταρα αρχίζουν να εξειδικεύονται, συγκεκριμένα γονίδια ενεργοποιούνται ή απενεργοποιούνται εντός τους με καθορισμένη χρονική σειρά. Εδραιώνονται ομάδες κυττάρων με κατάλληλη δομή και σχήμα, καθώς και ομάδες ενζύμων ώστε όλα να μπορούν να λειτουργήσουν ως μέρος ενός συγκεκριμένου οργάνου. Για να διασφαλιστεί η μεταβολική αρμονία στο πολυκυτταρικό επίπεδο, κάθε κύτταρο πρέπει να έχει την ικανότητα να αποκρίνεται στην παρουσία των γειτονικών του κυττάρων και σε όσα σήματα φθάνουν στην επιφάνεια της μεμβράνης του από μακρινά σημεία του οργανισμού με την ίδια ευαισθησία που τα γονίδια αποκρίνονται σε πρωτεϊνικά σήματα μέσα σε κάθε κύτταρο. Οι εξωτερικές μεμβράνες όλων των κυττάρων ενός πολυκύτταρου οργανισμού είναι εξοπλισμένες με πλειάδα εξειδικευμένων μορίων-υποδοχέων που μπορούν να αποκρίθουν σε χημικά μόρια-σηματοδότες (όπως π.χ. οι ορμόνες που κυκλοφορούν στο αίμα) και είναι εφοδιασμένες με διάσπαρτα κανάλια που επιτρέπουν την είσοδο και την έξοδο των ενδεδειγμένων ουσιών και μόνο.

Επομένως, το περιβάλλον είναι πολύπλοκο και πολυεπίπεδο. Για το κύτταρο, είναι το ρυθμιστικό εξωκυτταρικό υγρό μέσα στο οποίο κολυμπά. Για τον οργανισμό, είναι το εξωτερικό φυσικό, έμβιο και κοινωνικό περιβάλλον. Για τα γονίδια, όπως θα δούμε πιο κάτω, το περιβάλλον είναι τα υπόλοιπα γονίδια και το χημικό εσωτερικό περιβάλλον του κυττάρου, που όμως επηρεάζεται από το εξωτερικό περιβάλλον του οργανισμού. Κάθε οργανισμός έχει ένα περιβάλλον στα μέτρα του. Εξελίσσεται ώστε να προσαρμόζεται στο περιβάλλον του, και τα περιβάλλοντα εξελίσσονται ώστε να προσαρμόζονται στους οργανισμούς που τα κατοικούν. Κανένα περιβάλλον δεν παραμένει σταθερό στο χρόνο και γι' αυτό το λόγο η επίδρασή του στους οργανισμούς δεν είναι ντετερμινιστική.

Ένα άλλο συμπέρασμα που συνάγεται από τα παραπάνω είναι ότι τα όρια μεταξύ των οργανισμών και του περιβάλλοντος τους δεν είναι σταθερά διότι απορροφούν συνεχώς μέρος του ως τροφή και ταυτόχρονα το τροποποιούν με τις λειτουργίες τους π.χ. απεκκρίνοντας τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού τους ή αλλάζοντάς το ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες τους (π.χ. η κατασκευή φωλιάς από τα πουλιά). Δηλαδή, οι οργανισμοί και τα περιβάλλοντά τους διεισδύουν το ένα στο άλλο, βρίσκονται σε διαλεκτική σχέση. Επομένως, οι οργανισμοί δεν αποτελούν παθητικούς δέκτες των ερεθισμάτων του περιβάλλοντός τους αλλά επιλέγουν ενεργά να το αλλάξουν και ενεργούν προς αυτόν το σκοπό. Η εκχυδαϊσμένη από τους κοινωνιοβιολόγους φυσική επιλογή του Δαρβίνου θέλει τους οργανισμούς και τον άνθρωπο μαριονέτες εγκλωβισμένες μεταξύ των γονιδίων τους και ενός περιβάλλοντος επάνω στο οποίο δεν μπορούν να ασκήσουν τον παραμικρό έλεγχο.

Μη ντετερμινιστική βιοχημική ευπλαστικότητα των οργανισμών

Οι μονοκύτταροι οργανισμοί περιβάλλονται από ένα εξωτερικό περιβάλλον και διακινούν χημικά μόρια εντός και εκτός τους μέσω ανοίγματος και κλεισίματος ειδικών πόρων που φέρουν στην κυτταρική μεμβράνη τους. Οι περισσότεροι πολυκύτταροι οργανισμοί προστατεύουν τα περισσότερα κύτταρά τους από το εξωτερικό περιβάλλον με ένα υδάτινο εσωτερικό περιβάλλον που όμως επικοινωνεί με το εξωτερικό. Αυτό το εσωτερικό περιβάλλον πρέπει να διατηρείται σε τέτοια κατάσταση ώστε να επιτρέπει τη μέγιστη λειτουργική αποτελεσματικότητα των εσωτερικών κυττάρων. Στον άνθρωπο και σε άλλους πολύπλοκους οργανισμούς το εσωτερικό περιβάλλον αποτελείται αφενός από το υγρό που περιβάλλει τα εσωτερικά κύτταρα και αφετέρου από το υγρό που περιβάλλει τα κύτταρα του αίματος δηλαδή το επονομαζόμενο πλάσμα, που είναι το «λεωφορείο» με το οποίο ταξιδεύουν τα υπόλοιπα συστατικά του αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα. Το εξωτερικό περιβάλλον επιβάλλει στο εσωτερικό περιβάλλον του ανθρώπου μια εσωτερική ομοιοστασία, τα συστατικά στοιχεία της οποίας είναι λίγο πολύ γνωστά: είναι η συγκέντρωση του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα, η οξύτητα του εσωτερικού περιβάλλοντος, η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών και των χημικών απόβλητων, η συγκέντρωση των ηλεκτρολυτών (όπως κάλιο, νάτριο κ.λπ.), και ο όγκος και η πίεση του υγρού που περιβάλλει τα εσωτερικά κύτταρα.

Οι αναπόφευκτες διακυμάνσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος του οργανισμού (π.χ. θερμοκρασία, διαθέσιμη τροφή κ.ά.) μετριάζονται και αντισταθμίζονται ώστε να διατηρηθεί η σταθερότητα του εσωτερικού περιβάλλοντός του. Η αύξηση της εξωτερικής θερμοκρασίας προκαλεί εφίδρωση και μείωση της κυκλοφορίας του αίματος στο δέρμα για να κρατηθεί η εσωτερική θερμοκρασία στους 36,5 βαθμούς. Η έλλειψη τροφής απελευθερώνει τη γλυκόζη (το βασικό χημικό καύσιμο των οργανισμών) που είναι αποθηκευμένη στο συκώτι σαν γλυκογόνο ή προκαλεί τη διάσπαση του αποθηκευμένου λίπους προκειμένου να αυξηθεί η γλυκόζη στο αίμα. Επίσης, η πείνα αλλάζει τη συμπεριφορά του οργανισμού στην αναζήτηση τροφής (που φθάνει μέχρι και στην κλοπή της). Το ίδιο συμβαίνει και με πολλά άλλα χημικά συστατικά του εσωτερικού περιβάλλοντος προκειμένου να διατηρείται σταθερό, δηλαδή «ομοιοστατικό», το επίπεδο τους, ονομαζόμενο και σημείο ισορροπίας. Όμως αυτό το σημείο δεν παραμένει σταθερό στη διάρκεια της ζωής των οργανισμών, όπως θα αξίωνε μια ντετερμινιστική γονιδιακή θεώρησή τους, αλλά οι βιοχημικές του συνιστώσες διακυμαίνονται και τροποποιούνται, κι επομένως είναι ομοιοστατικές για διάστημα ολίγων ωρών αλλά «ομοιοδυναμικές» για μεγαλύτερες χρονικές περιόδους¹⁴. Για παράδειγμα, οι γυναίκες (το 52% του ανθρώπινου πληθυσμού) από τα 13 έως τα 50 έτη περι-

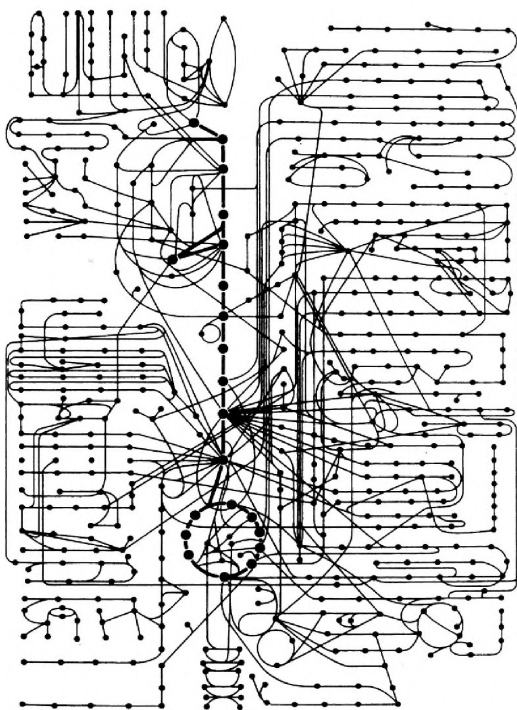
που βιώνουν μηνιαίους ορμονικούς κύκλους που επηρεάζουν σημαντικά το πρόγραμμα της ζωής τους.

Ο έλεγχος της ομοιοδυναμικής είναι κυρίως εξωτερικός. Δηλαδή, ελέγχεται από το εξωτερικό περιβάλλον και εξαρτάται από τη δράση και την αλληλεπίδραση μεταξύ των βασικών συστημάτων του σώματος (μυϊκό, σκελετικό, δερματικό, αναπνευστικό, πεπτικό, κυκλοφορικό, ανοσοποιητικό, νευρικό, ενδοκρινικό, αναπαραγωγικό). Ο έλεγχος της ομοιοδυναμικής στον άνθρωπο γίνεται μέσω του μηχανισμού της ανάδρασης, αρνητικής ή θετικής. Η αρνητική ανάδραση χρησιμοποιείται από τα περισσότερα συστήματα του σώματος και είναι ένας μηχανισμός ελέγχου μιας απόκρισης κατά την οποία η πληροφορία που προέκυψε από κάποιο ερέθισμα (υπό τη μορφή κάποιων χημικών μορίων-αγγελιαφόρων μέσω βιοχημικών αντιδράσεων που καταλήγουν π.χ. στη βιοσύνθεση, αποικοδόμησή ή μεταφορά του μέσω της μεμβράνης ενός κυττάρου) επιφέρει τη διακοπή, αντιστροφή ή σταθεροποίηση της απόκρισης. Με αυτόν το μηχανισμό ρυθμίζεται η έκκριση των περισσότερων ορμονών. Με τη θετική ανάδραση, που χρησιμοποιείται σε περιορισμένες περιπτώσεις, το ίδιο το ερέθισμα ενισχύει ή επιταχύνει την απόκριση. Για παράδειγμα, οι συσπάσεις της μήτρας κατά τον τοκετό παράγουν την ορμόνη οξυτοσίνη η οποία, με τη σειρά της, αυξάνει τη συχνότητα και την ένταση αυτών των συσπάσεων.

Τα κύρια συστήματα ομοιοδυναμικού ελέγχου στον άνθρωπο είναι το νευρικό και το ενδοκρινικό. Το νευρικό σύστημα βασίζεται σε αισθητήρες του δέρματος και σε αισθητήρια όργανα (μάτια, μύτη, αυτιά) προκειμένου να ανιχνεύσει ένα εξωτερικό ερέθισμα και να μεταβιβάσει ένα μήνυμα στον νωτιαίο μυελό της σπονδυλικής στήλης ή στον εγκέφαλο. Το ερέθισμα αυτό αναλύεται και αποστέλλεται ως σήμα σε κάποιο δέκτη (effector, τελεστή ή επηρεαστή) ενός οργάνου του σώματος (π.χ. μύες, αδένες) που αποκρίνεται στο ερέθισμα. Για παράδειγμα, στον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος συμμετέχουν δέρμα, μυϊκό, νευρικό και κυκλοφορικό σύστημα. Το ενδοκρινικό σύστημα είναι ο δεύτερος τύπος εξωτερικού ελέγχου και αποτελείται από επτά κύριους αδένες του σώματος (υπόφυση, θυρεοειδής, παραθυρεοειδείς, επινεφρίδια, πάγκρεας, ωοθήκες, όρχεις). Αισθητήρες ανιχνεύουν αλλαγές εντός του σώματος και στέλνουν μήνυμα στους αντίστοιχους αδένες-δέκτες που εκκρίνουν χημικούς αγγελιοφόρους, τις ορμόνες, οι οποίες ρυθμίζουν πολλές σημαντικές οργανικές διαδικασίες και λειτουργίες, όπως μεταβολισμό, ανάπτυξη, αναπαραγωγή κ.ά. Η ομοιοδυναμική ελέγχεται και από εσωτερικά ερεθίσματα που συνήθως προέρχονται από ένα μόνο όργανο ή ιστό. Για παράδειγμα, όταν οι μύες χρησιμοποιούν πολύ οξυγόνο και παράγουν πολύ διοξείδιο του άνθρακα από κάποια έντονη δραστηριότητα, ενεργοποιούνται εσωτερικοί έλεγχοι που προκαλούν διαστολή των αιμοφόρων αγγείων ώστε να επιτρέπουν σε περισσότερο οξυγονωμένο αίμα να φθάσει στις ενεργοποιημένες περιοχές του μυός.

Όταν η ομοιοδυναμική σε έναν εν εξελίξει και σε έναν ενήλικα οργανισμό διαταράσσεται, καταλήγει σε οργανικές δυσλειτουργίες. Για παράδειγμα, το 95% των καρκίνων θεωρείται σήμερα ότι οφείλεται σε επιγενετικούς (βλέπε ειδική ενότητα πιο κάτω) περιβαλλοντικούς παράγοντες (υλικούς και πνευματικούς), ενώ η γενετική προδιάθεση του υπόλοιπου 5% δεν έχει ακόμα επιβεβαιωθεί. Η διαταραχή της ομοιοστασίας κατά την κύηση (λόγω διαταραχής της ομοιοστασίας της μητέρας από βλαπτικούς εξωτερικούς παράγοντες όπως κάπνισμα κ.ά.) ή κατά την ανάπτυξη του εμβρύου μετά τη γέννηση έχει τεράστιες επιπτώσεις όχι μόνο στη φυσιολογική ολοκλήρωση του φαινότυπου (ύψος, ομαλά άκρα και χαρακτηριστικά προσώπου, ομαλή ανάπτυξη εσωτερικών οργάνων κ.λπ.) και του γονότυπου (αλλοιώσεις του γενετικού υλικού) του ενήλικα, αλλά κυρίως στον εγκέφαλο και ειδικότερα στην ομαλή τοπογραφία των διαφόρων περιοχών του (όπως το αριστερό και το δεξιό ημισφαίριο κ.λπ.) και στη δικτύωση των νευρικών κυττάρων του, που και τα δύο είναι κρίσιμα για τη φυσιολογική ανάπτυξη της ανθρώπινης νοημοσύνης. Οι επιπτώσεις της διαταραχής της χημικής ομοιοδυναμικής από το εξωτερικό περιβάλλον γίνονται ακόμα πιο φανερές αν λάβει κανείς υπ' όψιν την ύπαρξη χιλιάδων γονιδίων (βλέπε αντίστοιχη ενότητα) που ενεργοποιούνται από εξωτερικά ερεθίσματα. Επειδή τα πρώτα και τα μεθεπόμενα στάδια ανάπτυξης κάθε ατόμου επηρεάζονται από γονείς που ως ενήλικες αναπτύχθηκαν ανισομερώς σε κοινωνίες που δεν ικανοποιούν πλήρως τις διατροφικές, ιατροφαρμακευτικές, εργασιακές, μορφωτικές και πνευματικές ανάγκες των μελών τους, η γενική ομοιοδυναμική μεταξύ των ατόμων είναι διαφορετική (και ως αποτέλεσμα των άνισων οικογενειακών μικροπεριβαλλόντων τους), με συνέπεια ακόμα και η νοητική και πνευματική ανάπτυξή τους να είναι ανισοεπίπεδη.

Η ζωή κάθε οργανισμού, και του ανθρώπου, είναι λοιπόν εγγενώς ομοιοδυναμική, και η βιολογική ύπαρξή του είναι ανεξάρτητη από τη ζωή και το θάνατο των χημικών μορίων που τον απαρτίζουν, τα οποία διασπώνται και συνεχώς αντικαθίστανται από άλλα λίγο πολύ πανομοιότυπα. Για ποιον όμως λόγο υπάρχει αυτή η ακατάπαυστη ροή χημικών μορίων, και τι είναι αυτό που τους προσδίδει ζωή; Πρώτον, τα χημικά μόρια υπόκεινται συνεχώς σε αντιδράσεις σύνθεσης και αποσύνθεσης με τη βοήθεια ορισμένων πρωτεϊνών (των ενζύμων). Παρότι στους οργανισμούς οι αντιδράσεις καταλύονται από ένζυμα, πολλές από αυτές χρειάζονται ενέργεια για να συμβούν. Συνεπώς, τα κύτταρα χρειάζονται ενέργεια για να διατηρηθούν στη ζωή πριν ακόμα αρχίσουν να επιδρούν στο περιβάλλον, και η αρχική πηγή της για όλους τους οργανισμούς είναι ο Ήλιος – χωρίς αυτόν λόγου χάριν δεν θα υπήρχαν τα φυτά. Κατά δεύτερον, οι χιλιάδες χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κάθε στιγμή μέσα στο κύτταρο δεν συμβαίνουν ανεξάρτητα η μια της άλλης αλλά συγκροτούν ένα πολύπλοκο βιοχημικό δίκτυο αλληλεπιδράσεων, ονομα-



Εικόνα 1. Μεταβολικό βιοχημικό δίκτυο ενός τυπικού κυττάρου του ανθρώπου αποτελούμενο από περίπου 700 αλληλεπιδρώντα χημικά μόρια (παρουσιαζόμενα ως τελείες) ονομαζόμενα μεταβολίτες. Κάθε τμήμα γραμμής μεταξύ δύο τελειών-μεταβολιτών αντιπροσωπεύει τη βιοχημική αντίδραση μετατροπής ενός μεταβολίτη προς έναν άλλο μεταβολίτη-προϊόν μέσω ενός ειδικού γι' αυτό το σκοπό ενζύμου, και κάθε γραμμή με πολλές τελείες μια μεταβολική οδό αποτελούμενη από μια αλληλουχία πολλών βιοχημικών αντιδράσεων (Rose, S., Μονοπάτια της ζωής: Βιολογία, ελευθερία, ντετερμινισμός, Κάτοπτρο, 2005).

ζόμενο μεταβολικό δίκτυο (εικ. 1). Οι βιοχημικές αντιδράσεις συνήθως δεν έχουν ιδιαίτερη λειτουργική αξία ως απομονωμένα νήματα του μεταβολικού δικτύου. Απεναντίας, αφ' ης στιγμής το μεταβολικό δίκτυο προσεγγίσει έναν δεδομένο βαθμό πολυπλοκότητας (και αναδραστικού ελέγχου) καθίσταται ισχυρό, σταθερό και ικανό να ανθίσταται σε αλλαγές. Μπορεί και αναπληρώνει την απώλεια οποιασδήποτε μεμονωμένης βιοχημικής αντίδρασης π.χ. ως αποτέλεσμα έλλειψης του ενζύμου που την καταλύει λόγω κάποιας γενετικής ανωμαλίας.

Η ύπαρξη και η σταθερότητα του μεταβολικού δικτύου δεν εξαρτώνται πλέον από τα επιμέρους χημικά συστατικά του αλλά από τη συνδυαστική ολότητα του. Όσο περισσότερες διασυνδέσεις υπάρχουν στο δίκτυο τόσο μεγαλύτερη είναι η σταθερότητα και μικρότερη η εξάρτησή του από κάποιο μεμονωμένο συστατικό¹⁵. Δηλαδή, μπορούμε να μιλάμε για μια δικτυακή μεταβολική δημοκρατία χημικών μορίων που όλα μαζί και όχι ως μεμονωμένες οντότητες έχουν ισοδύναμο ρόλο στη διατήρηση της ζωής. Επιπλέον,

ο κυτταρικός ιστός έχει κι αυτός αρκετό βαθμό ευελιξίας που του επιτρέπει να αναδιοργανώνεται, αποκρινόμενος σε τραύματα ή βλάβες. Η αυτοοργάνωση και η αυτοεπιδιόρθωση είναι βασικές αυτοποιητικές ιδιότητες της ζωής.

Αν υπήρχε μια υλιστική καταβολή της ισότητας, δηλαδή βασισμένη στους φυσικοχημικούς νόμους της ύλης, αυτή θα μπορούσε να συσχετιστεί με τη «δημοκρατική» λειτουργία των βιοχημικών μεταβολικών δικτύων. Ως δίκτυα, όσο περισσό-

τερα είναι τα συστατικά μέρη τους τόσο αρμονικότερα (δημοκρατικότερα) λειτουργούν λόγω των περισσότερων λειτουργικών επιλογών που τους εξασφαλίζονται. Τα συστατικά μέρη χάνουν την αξία χρήσης εκτός μεταβολικών δικτύων ενώ εντός τους αποκτούν ισότιμη αξία. Διακινδυνεύοντας μια αναγωγική αντιστοίχιση των μεταβολικών δικτύων με το δίκτυο των ατόμων μιας κοινωνίας, οι πολίτες αποκτούν αξία μόνο ως αρμονικά συνεργαζόμενες οντότητες ίσης κοινωνικής αξίας. Ως μεμονωμένη οντότητα, το άτομο χάνει την αξία ύπαρξης του, ακόμα και τη βιολογική, διότι η βιοχημική κατασκευή του δεν του επιτρέπει να επιβιώσει έξω από την κοινωνία. Επιπροσθέτως, τα άτομα καθίστανται ισότιμα ως έχοντα τις ίδιες βιολογικές (υλικές) ανάγκες να ικανοποιηθούν για να επιβιώσουν, και από αυτή τη σκοπιά η κοινωνική ισότητα αποκτά και βιολογική αιτιολόγηση.

Αξία ύπαρξης αποκτά το άτομο μόνον όταν η κοινωνική του ένταξη είναι ισότιμη με των άλλων μελών. Όταν η ένταξη σκοπεύει στην εξυπηρέτηση της ατομικότητας, αυτή αναγκαστικά θα καταχραστεί (εκμεταλλευθεί) τη συνισταμένη αξιακή συνεισφορά των υπόλοιπων μελών της κοινωνίας. Αυτού του είδους οι ατομικές συμμετοχές είναι από βιολογική (και κοινωνική) σκοπιά παρασιτικές, και μπορούν να δικαιολογηθούν μόνο στο πλαίσιο ελιτιστικών ιδεολογιών. Εξάλλου ο Αριστοτέλης, παρότι ταξινομούσε τους ανθρώπους σε μια κλίμακα διαβαθμισμένης νοημοσύνης («βουλευτικού»), είχε μια δημοκρατική άποψη για τα άτομα ως πλήθος, που εν πολλοίς θα μπορούσε να αποτελέσει ιστορική αναφορά στο εφικτό της αυτοδιαχείρισής τους σε μελλοντικές κοινωνίες ισότητας που δεν βασίζονται στον πρωταγωνιστικό ρόλο κάποιων ελίτ. Πίστευε ότι «[...] το πλήθος, αν και αποτελείται από συνήθη άτομα, άμα μαζευτούν μπορούν να είναι ανώτερα από τους λίγους με αξία [τους κρείττονες], όχι σαν άτομα αλλά σαν σύνολο [...]. Γιατί κάθε άτομο μεταξύ του πλήθους έχει το δικό του μερίδιο αρετής και σοφίας που κατά κάποιο τρόπο μετατρέπει το σύνολό τους σ' ένα ον, με πολλά πόδια, χέρια και αισθήσεις· δηλαδή πλούσιο σε μορφές ευφυΐας και χαρακτήρα»¹⁶.

Γιατί δεν υφίσταται γονιδιακός ντετερμινισμός

Καθορίζουν τα γονίδια αυτό που καταλήγουν να γίνονται τα άτομα στις σύγχρονες κοινωνίες, λόγω χάριν άνεργοι ή εργαζόμενοι, φτωχοί ή πλούσιοι, μορφωμένοι ή αμόρφωτοι, βιομήχανοι ή χειρωνακτες εργάτες; Οι γενετικές πληροφορίες που μας κάνουν διαφορετικούς από τους υπόλοιπους οργανισμούς του πλανήτη μας βρίσκονται διάσπαρτες στο DNA μας ως μικροσκοπικά τμήματα που ονομάζονται γονίδια. Μάλιστα, το σύνολό τους (είναι περίπου 30.000 γονίδια) αποτελεί περίπου το 5% του DNA μας. Τα γονίδια είναι μικρές περιοχές του γενετικού μας υλικού, του DNA, που υπάρχει μέσα στον πυρήνα κάθε κυττάρου μας σε 23 ζευγά-

για αλυσίδων (τα χρωμοσώματα). Το μισό ζευγάρι το κληρονομούμε από τον πατέρα και το άλλο μισό από τη μητέρα. Αν ενώναμε τις 46 αλυσίδες του DNA μας σε μια αλυσίδα, θα είχε μήκος ένα μέτρο και θα αποτελούνταν από περίπου 6 δισεκατομμύρια χημικούς κρίκους. Το DNA μας είναι κατασκευασμένο από τέσσερις διαφορετικούς χημικούς κρίκους, τις βάσεις *A* (αδενίνη), *T* (θυμίνη), *G* (γουανίνη) και *C* (κυτοσίνη), οι οποίες ενώνονται σε αυτό το ινώδες μόριο σε σειρά (αλληλουχία) με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς.

Όταν η αλληλουχία των βάσεων (κρίκων) του ανθρώπινου DNA πρωτοδημοσιεύθηκε τον Απρίλιο του 2003, πολλοί υποστήριξαν ότι αποτελεί τη Βίβλο της κληρονομικότητας, τον πρωτογενή κώδικα όλων των κυττάρων, το αρχιτεκτονικό σχέδιο της ζωής. Επί μισό αιώνα τα γονίδια είχαν ανακηρυχτεί από την κυρίαρχη τάση της μοριακής βιολογίας ως ο χώρος φύλαξης όλων των κληρονομούμενων χαρακτηριστικών. Απ' αυτό προέκυψε και η αντίληψη του γονιδιώματος, δηλαδή του συνόλου των γονιδίων, ως του αρχιτεκτονικού σχεδίου που καθορίζει την ανθρώπινη φύση. Στην πραγματικότητα όμως όλες αυτές οι μεταφορές είναι παραπλανητικές.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα γονίδια είναι μόνο το ένα από τα τρία γνωστά επίπεδα πληροφοριών που περιέχει το DNA μας. Το δεύτερο επίπεδο πληροφοριών, ήδη γνωστό από τη δεκαετία του 1960, βρίσκεται στο υπόλοιπο 95% του DNA μας (το λεγόμενο «άχρηστο DNA»), και ελέγχει τις πληροφορίες των γονιδίων. Περιέχει εκατοντάδες, πιθανόν χιλιάδες, μικροσκοπικά γονίδια των οποίων οι πληροφορίες μεταγράφονται σε μικρά (μήκους 21-23 βάσεων) μόρια RNA (μια άλλη μορφή ύπαρξης του γενετικού μας υλικού), που με τη σειρά τους ρυθμίζουν άλλα γονίδια σημαντικά για την παραγωγή πρωτεϊνών και τη διαφοροποίηση των κυττάρων. Η τελευταία δεκαετία θα αναδείξει την ύπαρξη ενός τρίτου, πολύ πιο ευμετάβλητου, επιπέδου πληροφοριών αποθηκευμένων τόσο μέσα στις πρωτεΐνες που περιβάλλουν το DNA όσο και στις χημικές ουσίες που προσκολλώνται επάνω του και το τροποποιούν. Δηλαδή, αυτό το επίπεδο πληροφοριών δεν είναι εγγενές αλλά προέρχεται από τροποποιήσεις που προκαλούν στο DNA τα χημικά μόρια του εσωτερικού περιβάλλοντος του κυττάρου και γενικότερα του εξωτερικού περιβάλλοντος, και ως τέτοιες ονομάζονται «επιγενετικές» πληροφορίες (ειδική αναφορά σε αυτό το θέμα γίνεται πιο κάτω). Σε αντίθεση με τα γονίδια, οι επιγενετικές τροποποιήσεις τους δημιουργούνται, διαγράφονται και ξαναγράφονται στη στιγμή σε απόκριση προς το περιβάλλον. Έτσι, μπορούν να αλλάξουν δραματικά την κατάσταση της υγείας, την ανάπτυξη του εγκεφάλου και γενικότερα όλα τα χαρακτηριστικά του ανθρώπου.

Το σύνολο των γονιδίων μας (το γονιδίωμα) δεν είναι λοιπόν ένα αιώνιο και αμετάβλητο γενετικό κείμενο που μεταφέρεται από γενιά σε γενιά. Είναι μια βιοχημική μηχανή φοβερής πολυπλοκότητας που λειτουργεί στον τρισδιάστατο εσωτερικό χώρο των κυττάρων και έχει ξεχωριστά και δυναμικά χημικά εξαρτήματα που αλ-

ληλεπιδρούν μεταξύ τους. Τα γονίδια είναι δομικά εξαιρετικά ασταθείς οντότητες διότι μπορούν να μετατίθενται σε διαφορετικά σημεία του DNA και διότι ορισμένα από αυτά είναι κατακερματισμένα (π.χ. γονίδιο που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη των μυϊκών κυττάρων διακόπτεται 177 φορές) και διάσπαρτα στο γενετικό μας υλικό, ενώ τμήματα ορισμένων αποτελούν και τμήματα άλλων διαφορετικών γονιδίων. Συνεπώς, σήμερα ομιλούμε περί ενός ρευστού γονιδιώματος που ως τέτοιο δεν μπορεί να αποτελεί τη βάση ενός γενετικού προκαθορισμού μεταξύ των μελών ενός είδους οργανισμού παρά μόνο μεταξύ οργανισμών διαφορετικού είδους.

Αυτό που δίνει λόγο ύπαρξης στο DNA και στα γονίδια του είναι το ενδοκυτταρικό χημικό περιβάλλον στο οποίο κολυμπάει. Το DNA ούτε καν αυτοπολλαπλασιάζεται. Για να γίνει αυτό απαιτούνται συγκεκριμένα περίπλοκα χημικά μόρια (οι πρωτεΐνες, και μια ειδική κατηγορία τους τα ένζυμα), οι 4 διαφορετικοί κρίκοι από τους οποίους δομείται (δηλαδή οι βάσεις A, C, G, T) και άφθονη χημική ενέργεια (γνωστή ως ATP), που έμμεσα προέρχονται από το εξωτερικό περιβάλλον.

Αλλά ούτε και τα γονίδια μπορούν να αξιοποιήσουν τις χημικές πληροφορίες τους από μόνα τους. Αλλά για τι είδους πληροφορίες των γονιδίων ομιλούμε; Μήπως για γενετικές εντολές του τύπου «φτιάξε μακριά χέρια, έξυπνο εγκέφαλο, όμορφο πρόσωπο», κάτι που θα επιβεβαίωνε την άποψη των κοινωνιοβιολόγων ότι η ύπαρξή μας, βιολογική και κοινωνική, υπόκειται σε γενετικό ντετερμινισμό; Τίποτε απ' όλα αυτά. Η μόνη κωδικοποιημένη πληροφορία που περιέχει κάθε γονίδιο είναι αυτή καθ' αυτή η αλληλουχία των χημικών κρίκων του (δηλαδή των βάσεων A, C, G, T), η οποία το μόνο που κωδικοποιεί είναι το είδος των μοριακών κρίκων και τη σειρά της μεταξύ τους σύνδεσης προκειμένου να συντεθεί (όχι από το γονίδιο) κάποιο αποκλειστικά σχετιζόμενο με το γονίδιο αλυσιδωτό βιολογικό χημικό μόριο που ονομάζεται πρωτεΐνη.

Οι πρωτεΐνες είναι φτιαγμένες από άλλου είδους μοριακούς κρίκους, τα αμινοξέα, και είναι από τα πιο σημαντικά χημικά συστατικά των κυττάρων και των οργανισμών. Μια κατηγορία των πρωτεϊνών μάλιστα, τα ένζυμα, αναλαμβάνουν να κάνουν όλες τις βιοχημικές δουλειές του κυττάρου και κατ' επέκταση και του οργανισμού προκειμένου να διατηρείται στη ζωή και να πολλαπλασιάζεται. Ωστόσο ακόμα κι αυτές οι κωδικοποιημένες πληροφορίες που μεταφέρει κάθε γονίδιο δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμες. Θα πρέπει πρώτα να μεταγραφούν ως κωδικοποιημένη αλληλουχία χημικών κρίκων υπό τη μορφή ενός άλλου μορίου, του mRNA (ή μεταφορικού RNA· είναι μια άλλη ειδική μορφή του DNA). Αυτή τη δουλειά όμως δεν την κάνει το γονίδιο από μόνο του. Την κάνουν ορισμένα ειδικά ένζυμα που ακουμπούν επάνω του και μεταγράφουν την πληροφορία του αρχικά ως μικρά τμήματα RNA (θυμηθείτε ότι το γονίδιο είναι διακοπτόμενο), τα οποία ενώνονται μετά σε ένα ενιαίο αλυσιδωτό μόριο, επιδιορθώνονται και υφίστανται περαιτέρω επεξεργασία εντός του πυρήνα του κυττάρου. Στη συνέχεια το mRNA, αφού πάρει μια βιοχημ-

κή «άδεια εξόδου» που «εκδίδουν» ορισμένες πρωτεΐνες της μεμβράνης του πυρήνα, εξέρχεται στο εσωτερικό υγρό χημικό περιβάλλον του κυττάρου που ονομάζεται κυτταρόπλασμα. Εκεί συναντά μια ειδική μηχανή μετάφρασης της πληροφορίας του, ένα μικροοργανίδιο που ονομάζεται ριβόσωμα. Είναι μια γιγαντιαία συνάθροιση 80 πρωτεϊνών μαζί με μόρια RNA (ονομαζόμενο ριβοσωμικό RNA), που αναλαμβάνει να μετατρέψει τις γονιδιακές πληροφορίες του mRNA σε συγκεκριμένη πρωτεΐνη, όχι όμως στην τελική μορφή της αλλά μόνο ως τεντωμένη αλυσίδα.

Ωστόσο οι πρωτεΐνες θα ήταν λειτουργικά άχρηστες αν παρέμεναν τεντωμένες αλυσίδες καθώς εξέρχονται από το ριβόσωμα. Θα πρέπει να περιελιχθούν και να αναδιπλωθούν με συγκεκριμένο τρόπο στο χώρο ώστε να αποκτήσουν τη λειτουργικά κατάλληλη δομή προκειμένου να υπηρετήσουν το μεταβολισμό του κυττάρου. Θεωρητικά, το τεντωμένο μόριο κάθε πρωτεΐνης μπορεί να περιελιχθεί και να αναδιπλωθεί με πολλούς τρόπους. Αλλά αυτό που το κάνει να αναδιπλωθεί με σωστό τρόπο καθώς εξέρχεται από το ριβόσωμα είναι το εσωτερικό χημικό περιβάλλον του κυττάρου (νερό, άλατα, οξύτητα, άλλες πρωτεΐνες κ.ά.), το οποίο με τη σειρά του εξαρτάται από το εξωτερικό περιβάλλον. Αλλά ακόμα κι αυτή η σωστή δομή είναι μόνο δυνητικά λειτουργική διότι δεν είναι από μόνη της αρκετή για να λειτουργήσει επωφελώς για το κύτταρο και τον οργανισμό. Κι αυτό διότι η δράση των πρωτεϊνών ελέγχεται από άλλα χημικά μόρια του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος των κυττάρων, που όταν κολλήσουν επάνω τους είτε τις ενεργοποιούν είτε τις εμποδίζουν να δράσουν σωστά και αποτελεσματικά.

Πέραν του ότι τα γονίδια δεν είναι αυτόνομα ούτε αυτοενεργοποιούμενα, η δραστηριότητά τους τροποποιείται σε διάφορα επίπεδα: επηρεάζεται από άλλα γονίδια του οργανισμού, από το εσωτερικό κυτταρικό τους περιβάλλον, από το εξωκυτταρικό περιβάλλον, και στην περίπτωση των πολυκύτταρων οργανισμών και του ανθρώπου από το εξωτερικό περιβάλλον. Αξίζει να σημειωθεί ότι έχουν ταυτιστεί πάνω από 8.500 γονίδια (σε διάφορους οργανισμούς) που ενεργοποιούνται απευθείας από εξωτερικά και εξωκυτταρικά ερεθίσματα (1.982 γονίδια απόκρισης σε βιοτικά ερεθίσματα, 421 γονίδια απόκρισης σε εξωκυτταρικά ερεθίσματα, 4.106 γονίδια σε εξωτερικά ερεθίσματα, 1.839 γονίδια απόκρισης στο στρες)¹⁷.

Το πώς, πότε και σε ποιο βαθμό μεταφράζεται η πληροφορία ενός γονιδίου σε μια λειτουργική πρωτεΐνη εξαρτάται από σήματα που λαμβάνει από το κύτταρο στον πυρήνα του οποίου είναι ενσωματωμένο. Υπάρχουν χημικοί εντολείς των γονιδίων που τα ενεργοποιούν (και άλλοι που τα απενεργοποιούν) για να συνθέσουν κάποιο ένζυμο ή γενικότερα κάποια χημική ουσία που χρειάζεται το κύτταρο και ο οργανισμός. Αυτοί οι εντολείς είναι χημικές ουσίες άμεσα ή έμμεσα προερχόμενες από το εξωτερικό περιβάλλον. Καθώς το κύτταρο υπόκειται και αποκρίνεται σε εξωτερικά και εσωτερικά σήματα, κάθε στιγμή που αυτά ενεργοποιούν κάποια γονίδια αυτά με τη σειρά τους παράγουν άλλα σήματα, με αποτέλεσμα η ενεργο-

ποίηση οποιουδήποτε μεμονωμένου γονιδίου να επηρεάζεται από μηνύματα άλλων γονιδίων και γενικότερα από ό,τι συμβαίνει συνολικά στο γονιδίωμα.

Παράδειγμα προσαρμοστικότητας των γονιδίων στο περιβάλλον είναι εκείνο του αμυντικού ανοσοποιητικού μας συστήματος. Η ποικιλότητα των διαφορετικών πρωτεϊνών (αντισωμάτων) που παράγει το ανοσοποιητικό σύστημα του ανθρώπου προκειμένου να αντιμετωπίσει τους αμέτρητους εξωτερικούς εισβολείς είναι τόσο μεγάλη που, αν οι πληροφορίες για τη σύνθεση της κάθε μίας ήταν αποθηκευμένες σε αντίστοιχα γονίδια θα χρειαζόταν πολύ περισσότερα γονίδια (περί τα 10 εκατομμύρια) από τις περίπου 30.000 που έχει το DNA του ανθρώπου. Κι όμως παράγεται ένας τόσο τεράστιος αριθμός διαφορετικών αντισωμάτων διότι τα γονίδια από τα οποία συντίθενται, παρότι δεν προϋπάρχουν στο DNA, προέρχονται από τον τυχαίο ανασυνδυασμό διαφόρων τμημάτων μόνο 500 γονιδίων¹⁸, με αποτέλεσμα τη δημιουργία 10 εκατομμυρίων διαφορετικών ειδών αντισωμάτων. Έτσι, το ανοσοποιητικό μας σύστημα έχει την ικανότητα να αποκρίνεται σε περίπου 10 εκατομμύρια διαφορετικούς χημικούς παράγοντες του εξωτερικού περιβάλλοντος (που ονομάζονται αντιγόνα, π.χ. διάφορες τοξικές χημικές ουσίες, παθογόνοι μικροοργανισμοί κ.ά.), έτσι ώστε, όταν κάποιο από αυτά τα αντιγόνα κολλήσει επάνω στο δικό του αντίσωμα που παράγεται από ένα μοναδικό ειδικό κύτταρο του αίματος (B κύτταρο) προκαλεί το κύτταρο να παράγει το συγκεκριμένο αντίσωμα σε μεγάλες ποσότητες για να εξουδετερώσει τον απειλητικό εξωτερικό παράγοντα. Συμπερασματικά, τα μη προϋπάρχοντα γονίδια του ανοσοποιητικού μας συστήματος δείχνουν πόσο απρόβλεπτες και ασαφείς οντότητες είναι τα γονίδια και ως εκ τούτου πόσο ρευστό και μη ντετερμινιστικό είναι το γονιδίωμα του ανθρώπου.

Ένα άλλο παράδειγμα του μη ντετερμινισμού των γονιδίων προέρχεται από ορισμένες αλλαγές στο DNA οργανισμών που προκαλούν τεχνητά οι επιστήμονες για πειραματικούς σκοπούς. Δημιουργούν μεταλλάξεις σε πειραματόζωα (π.χ. ποντίκια), ονομαζόμενες «θανατηφόρες μεταλλάξεις», αφαιρώντας τους γονίδια που κωδικοποιούν πρωτεΐνες ζωτικής σημασίας για την επιβίωση τους, και παρ' όλα αυτά οι απόγονοί τους γεννιούνται φυσιολογικοί. Αυτό το γεγονός αποτελεί απόδειξη της λειτουργικής πλαστικότητας (όχι απεριορίστης) και του υφιστάμενου λειτουργικού πλεονασμού του μεταβολισμού, που δίνουν την ικανότητα στους οργανισμούς να προσαρμόζονται βάσει της εμπειρίας και των περιβαλλοντικών συνθηκών, αντισταθμίζοντας τις όποιες ανεπάρκειες και συμβάλλοντας στην ομοιοστατική σταθερότητα. Αυτό σημαίνει ότι ένας οργανισμός μπορεί να υιοθετήσει στη διάρκεια της ανάπτυξης πολλές εναλλακτικές μεταβολικές οδούς που καταλήγουν στο ίδιο λειτουργικό αποτέλεσμα. Όταν ένα συγκεκριμένο γονίδιο και η πρωτεΐνη που κωδικοποιεί είναι παρόντα στον οργανισμό, υιοθετείται μια μεταβολική οδός, ενώ όταν απουσιάζουν (λόγω π.χ. γενετικής αστοχίας, κοινώς μετάλλαξης) επιλέγεται κάποια άλλη οδός.

Είθισται να λέγεται ότι ο καθένας μας φέρει τα δικά του γονίδια. Εντούτοις, από γενετική σκοπιά δεν υπάρχουν γονίδια που να ταυτίζονται αποκλειστικά με τους φορείς τους, γιατί το DNA τους δεν είναι αποκλειστικά δικό τους. Ο λόγος είναι ότι το γενετικό μας υλικό, όπως και όλων των ανθρώπων που πέρασαν από αυτό τον πλανήτη, έχει τις απαρχές του σε έναν κοινό πρόγονο του ανθρώπου. Δηλαδή, τα γονίδιά μας δεν προέρχονται απλά από τον πατέρα και τη μητέρα μας αλλά μεταφέρουν την κληρονομική ιστορία του DNA του συνόλου των πρότερων ανθρώπων κοινωνιών. Επομένως, τα γονίδια έχουν κοινωνική προέλευση και ως εκ τούτου δεν χαρακτηρίζουν το άτομο που τα φέρει. Εξ αυτού συνάγεται ότι δεν υπάρχουν «ανώτερης» ή «κατώτερης» ποιότητας «φυσιολογικά» ή «ανώμαλα» γονίδια μεταξύ των ανθρώπων, αλλά διαφορετικές για τον καθένα μας εξωτερικές συνθήκες έκφρασής τους, που μας επιβάλλονται από το έξωθεν περιβάλλον που ιστορικά επηρεάζει και διαμορφώνει η κοινωνία. Επιπροσθέτως, με βάση τα τελευταία ευρήματα είμαστε όλοι «γενετικά ανώμαλοι» γιατί ο καθένας μας γεννιέται με 100-200 νέες μεταλλάξεις¹⁹ που τις μεταφέρουμε στους απογόνους μας. Στο βαθμό που τα γονίδια επηρεάζουν το φαινότυπό μας και τις ασθένειες, αυτό δεν αντανακλά τη γενετική ατομικότητά μας αλλά το ιστορικό (γενετικά εξελικτικό) αποτύπωμα του συνολικού «κοινωνικού DNA», επηρεασμένο από το εξωτερικό περιβάλλον που η κοινωνία παράγει ή τροποποιεί θετικά ή αρνητικά για το ανθρώπινο είδος. Επομένως, όλη η γενετική κληρονομιά της κοινωνίας είναι υπεύθυνη για τα άτομα που είμαστε, και υπό αυτό το πρίσμα η ισότητα και το κοινωνικό κράτος αποκτούν διαστάσεις και βιολογικού νόμου.

Η ζωή κάθε οργανισμού είναι βιολογικά ακατανόητη αν τη δούμε ως το άθροισμα της διαφορικής έκφρασης χιλιάδων γονιδίων. Είναι χημικά πολυδιάστατη, απαιτώντας τις αλληλεπιδράσεις των νόμων της φύσης και του περιβάλλοντος, την ομοιοδυναμική οργάνωσή της, τις εγγενείς ιδιότητες ορισμένων κρίσιμων δομικών χημικών μορίων όπως τα λίπη (καθότι αυθόρμητα φτιάχνουν τις μεμβράνες των κυττάρων), τα ένζυμα (υπεύθυνα για την ανάπτυξη των μεταβολικών δικτύων και για τις αυτοοργανωτικές και σταθεροποιητικές ιδιότητές τους), και τα γονίδια (που η εξειδίκευσή τους επιτρέπει την πλαστικότητα της οντογένεσης). Ειδικότερα, η ζωή του ανθρώπου μπορεί να γίνει κατανοητή κυρίως μέσω της αλληλεπίδρασής του με το κοινωνικό περιβάλλον και της ξεχωριστής αναπτυξιακής του ιστορίας.

Μη ντετερμινιστική επιγένεση των οργανισμών

Το περιβάλλον και τα γονίδια μας αλληλεπιδρούν και δημιουργούν αυτό που φαινόμαστε (τον φαινότυπο). Η επιστήμη που ασχολείται με την αλληλεπίδραση περιβάλλοντος και κυττάρων είναι η Επιγενετική, η οποία αναφέρεται στη χημική

μεταβολή του DNA από το ενδοκυτταρικό και εξωκυτταρικό περιβάλλον χωρίς όμως να αλλάζει η αλληλουχία των χημικών βάσεων (κρίκων) του. Η επιγένεση αποτελεί τον κυριότερο μοχλό σχηματισμού των οργάνων του ανθρώπου και των υπόλοιπων οργανισμών, επιδρώντας στη διαφοροποίηση των βλαστοκυττάρων του εμβρύου (αρχέγονα ολοδύναμα κύτταρα που προέρχονται από το έμβρυο όταν είναι 4-5 ημερών) προς άλλους τύπους κυττάρων (μυϊκών, νευρικών κ.λπ.). Οι κυριότεροι μηχανισμοί επιγένεσης είναι η τροποποίηση («μεθυλίωση») του DNA και των πρωτεϊνών (ιστόνων) που το περιβάλλουν, ο χρόνος αντιγραφής του κ.ά., οι οποίοι καταλήγουν στην επιλεκτική έκφραση ή καταστολή των γονιδίων. Εδώ δεν θα γίνει εκτενής αναφορά της επιγένεσης αλλά θα παρουσιαστούν μερικές από τις πιο σημαντικές πτυχές της που αντικρούουν τον βιολογικό ντετερμινισμό.

Η «μεθυλίωση» του DNA, δηλαδή η προσθήκη της χημικής ομάδας μεθυλίου σε μια από τις τέσσερις βάσεις-κρίκους του, αποτελεί έναν από τους μηχανισμούς που διαμορφώνουν τη δράση (την έκφραση) των γονιδίων, μέσω μιας σειράς χημικών αλληλεπιδράσεων που είναι απαραίτητες για την υγιή ανάπτυξη των οργανισμών. Αν και κάθε κύτταρό μας διαθέτει ολόκληρη τη γενετική πληροφορία για τη δημιουργία του οργανισμού, χρησιμοποιεί ένα μόνο μέρος της. Για παράδειγμα, τα κύτταρα του ήπατος που παράγουν ένζυμα χρησιμοποιούν ένα διαφορετικό κομμάτι γενετικής πληροφορίας από τα κύτταρα του καρδιακού μυός, ο οποίος πρέπει να μπορεί να πάλλεται. Οι επιγενετικές αλλαγές λειτουργούν σαν ένα είδος διακόπτη που ενεργοποιεί μόνο όσα γονίδια πρέπει να εκφραστούν σε κάθε είδος κυττάρου. Η μεθυλίωση της βάσης του DNA κυτοσίνης αποτελεί έναν τρόπο άρσης της έκφρασης ενός γονιδίου. Με άλλα λόγια, το προϊόν (μια συγκεκριμένη πρωτεΐνη) για το οποίο είναι κωδικοποιημένο ένα γονίδιο παύει να παράγεται όταν το γονίδιο του μεθυλιωθεί. Αντιθέτως, τα μη μεθυλιωμένα γονίδια παραμένουν ενεργά. Σε αυτόν το μηχανισμό οφείλεται η απενεργοποίηση π.χ. του χρωμοσώματος X που πραγματοποιείται στη διάρκεια της ανάπτυξης του γυναικείου οργανισμού. Επιπλέον, δεν εκφράζεται λόγω μεθυλίωσης το 35% του γονιδιώματός μας που αποτελείται από DNA μικροβίων το οποίο ενσωματώθηκε στο DNA του ανθρώπινου οργανισμού κατά την εξέλιξή του.

Όταν οι ομάδες μεθυλίου που μπλοκάρουν τα «κακά» γονίδια χάνονται, ή όταν προσκολλώνται σε «καλά» γονίδια και τα απενεργοποιούν, αυτό έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία μεταβολικών ανωμαλιών που καταλήγουν στο σχηματισμό όγκων ή δυσπλασιών. Μάλιστα, διαπιστώθηκε ότι οι δυσπλασίες οφείλονται στην υπομεθυλίωση ή στην υπερμεθυλίωση (περιορισμένη ή υπέρμετρη προσκόλληση στο DNA ομάδων μεθυλίου, αντιστοίχως) των γονιδίων που προστατεύουν τα κύτταρα από την εμφάνιση τέτοιων ανωμαλιών. Το 2006 ανακαλύφθηκε ένας ακόμα μοριακός μηχανισμός που είναι ικανός να προκαλέσει καρκίνο. Κάποια γονίδια παύουν να εκφράζονται λόγω της μετάλλαξης των πρωτεϊνών που περιβάλλουν το DNA μας

(των ιστόνων). Οι ιστόνες είναι οι πρωτεΐνες που διαμορφώνουν τη δομή (διπλή έλικα) του DNA στο χώρο και είναι επιφορτισμένες με δύο καθήκοντα: συγκρατούν τον γενετικό κώδικα στον πυρήνα των κυττάρων και ταυτόχρονα ρυθμίζουν την έκφραση των γονιδίων. Οι επιστήμονες παρατήρησαν πως αυτές οι πρωτεΐνες συχνά υπόκεινται σε μεταλλάξεις εξαιτίας ορισμένων χημικών αντιδράσεων που προκαλεί η μεθυλίωση. Ως συνέπεια των μεταλλάξεων, τα γονίδια δεν επιτελούν το έργο για το οποίο προορίζονται. Ένας άλλος επιγενετικός μηχανισμός που ανακαλύφθηκε πρόσφατα συνδέεται με τα μικροRNA (miRNA), που όπως είδαμε είναι επίσης ικανά να επηρεάσουν τη δράση των γονιδίων. Μέχρι σήμερα οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν με ακρίβεια πώς τα μικροRNA επιδρούν στον οργανισμό, ωστόσο διαπίστωσαν πως σε αυτά χρωστάμε τη σίγαση κάποιων «κακών» γονιδίων μας.

Η ντετερμινιστική άποψη ότι το DNA καθορίζει την ανθρώπινη συμπεριφορά, τη νοημοσύνη και τις ικανότητες δεν ευσταθεί λόγω του ότι δεν μπορεί καν να καθορίσει την προδιάθεσή μας για την εκδήλωση των συμπτωμάτων κάποιας νόσου. Σήμερα γνωρίζουμε ότι ακόμα και τα ομοζυγωτικά δίδυμα (που γεννιούνται με το ίδιο DNA) διατρέχουν διαφορετικούς οργανικούς κινδύνους και προσβάλλονται από διαφορετικές ασθένειες. Αυτό συμβαίνει διότι το εξωτερικό περιβάλλον που είναι διαφορετικό για τον κάθε αδελφό, μπορεί και αλλάζει τη δράση των ταυτόσημων γονιδίων των δύο ομοζυγωτικών αδελφών με διαφορετικό τρόπο. Δηλαδή το περιβάλλον μπορεί να αλληλεπιδρά με τα γονίδιά μας, να δημιουργεί και να τροποποιεί τον οργανισμό μας από τη στιγμή της σύλληψης. Όταν το ωάριο γονιμοποιείται από το σπερματοζώαριο, το γενετικό του υλικό αποτελείται κατά το ήμισυ από το γενετικό υλικό του πατέρα και κατά το ήμισυ από της μητέρας. Δηλαδή στα 23 χρωμοσώματα του γονιμοποιημένου ωαρίου από τη μητέρα προστίθενται τα 23 χρωμοσώματα του σπερματοζωαρίου από τον πατέρα. Έτσι, το γονιδίωμά μας περιέχει κάθε χρωμόσωμα σε δύο αντίγραφα (το ένα από τη μητέρα και το άλλο από τον πατέρα), που όμως δεν μπορούν να ενεργοποιηθούν και τα δύο ταυτόχρονα. Το ένα σιωπά και το δεύτερο δραστηριοποιείται διαμορφώνοντας τα εξωτερικά χαρακτηριστικά μας.

Τα ομοζυγωτικά δίδυμα αναπτύσσονται μέσω της διαίρεσης του γονιμοποιημένου ωαρίου σε δύο κύτταρα, τα οποία αναπτύσσονται σε ξεχωριστά έμβρυα και γι' αυτό διαθέτουν το ίδιο DNA και είναι πάντα του ίδιου φύλου. Από το ξεκίνημα της ζωής τους, τα δύο έμβρυα καταλαμβάνουν τον δικό τους χώρο στη μήτρα. Επομένως, δεν έχουν την ίδια πρόσβαση στην τροφή, ενώ και ο βαθμός που εκτίθενται σε τυχόν τοξίνες και μολύνσεις διαφέρει. Αν και διαθέτουν το ίδιο DNA, καθώς τα κύτταρά τους πολλαπλασιάζονται συμβαίνουν λάθη που καταλήγουν στην ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση κάποιων από τα γονίδιά τους. Όταν γεννιούνται, τα ομοζυγωτικά δίδυμα ήδη παρουσιάζουν κάποιες διαφοροποιήσεις, οι οποίες πολλαπλασιάζονται στη μετέπειτα διάρκεια της ζωής τους. Παράγοντες όπως η δια-

τροφή, το κάπνισμα, η κατανάλωση αλκοόλ, η φυσική άσκηση ή οι μολύνσεις σταδιακά τροποποιούν όλο και περισσότερο το DNA τους. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τη σύγκριση του DNA 80 ζευγαριών ομοζυγωτικών διδύμων ηλικίας από 3 έως 74 ετών: τα αδέλφια στην ηλικία των 50 ετών είχαν τριπλάσια γονίδια που παρουσίαζαν διαφορετική δράση συγκριτικά με των νεότερων αδελφών. Οι διαφοροποιήσεις ήταν ακόμα μεγαλύτερες μεταξύ εκείνων των διδύμων αδελφών που είχαν ζήσει ξεχωριστά²⁰. Οι επιγενετικές αλλαγές που συνδέονται με τον τρόπο ζωής μας συχνά αποτελούν την αιτία που κάποιες από αυτές έχουν μεγαλύτερη επίδραση σε ορισμένα άτομα σε σύγκριση με άλλα. Επίσης, στις επιγενετικές αλλαγές οφείλεται το γεγονός ότι κάποιος που έχει κληρονομήσει ένα αλλοιωμένο γονίδιο θα εκδηλώσει τα συμπτώματα μιας νόσου νωρίτερα ή αργότερα από κάποιον άλλο φορέα του ίδιου αλλοιωμένου γονιδίου.

Η τεράστια δυναμική της επιγένεσης επιβεβαιώθηκε (το 2000) από ένα εκπληκτικό πείραμα με ένα είδος ποντικών γνωστών ως αγκούτι (*agouti*), που λόγω ενός ιδιαίτερου γονιδίου τους (ονομαζόμενο *αγκούτι*) έχουν κίτρινο τρίχωμα και είναι παχύσαρκα, δυσκίνητα και ευπαθή στον καρκίνο και το διαβήτη, όπως εξάλλου και οι απόγονοί τους. Το πείραμα είχε ως στόχο οι απόγονοι αυτών των ποντικών (που επίσης φέρουν το «κακό» γονίδιο *αγκούτι*) να μη γίνουν σαν τους γονείς τους κιτρινόχρωμοι και παχύσαρκοι με την αλλαγή μόνο του συνήθους διαιτολογίου της μητέρας τους. Οι ερευνητές λοιπόν άλλαξαν τη δίαιτα των θηλυκών ποντικών, τρέφοντάς τα λίγο πριν τη σύλληψη με τροφές πλούσιες στις χημικές ομάδες μεθυλίου (που, όπως προαναφέρθηκε, απενεργοποιούν ορισμένα γονίδια όταν κολούν επάνω τους), όπως τα κρεμμύδια, το σκόρδο και τα παντζάρια. Με την κατανάλωσή τους από τα θηλυκά ποντίκια-μητέρες, οι ομάδες μεθυλίου κόλλησαν στο κακό γονίδιο *αγκούτι* των νεογνών που οι μητέρες τούς το είχαν κληροδοτήσει. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να ελαχιστοποιηθούν οι βλαβερές επιπτώσεις αυτού του γονιδίου στα νεογνά ποντίκια καθότι εξελίχθηκαν στα γνωστά ευκίνητα ποντίκια με το γκριζό τρίχωμα²¹. Με άλλα λόγια, μια επιγενετική μεταβολή λειτούργησε στον συγκεκριμένο «ελαττωματικό» ποντικό όπως θα είχε λειτουργήσει η αφαίρεση του ελαττωματικού γονιδίου από όλα τα κύτταρά του.

Η δράση της επιγένεσης δεν περιορίζεται μόνο στην ανάπτυξη ασθενειών αλλά επηρεάζει ακόμα και τον εγκέφαλο και σχετίζεται με τις ψυχιατρικές δυσλειτουργίες. Επειδή το μεγαλύτερο μέρος της ανάπτυξης του ανθρώπινου εγκεφάλου γίνεται μετά τη γέννηση, ο εγκέφαλος περισσότερο από κάθε άλλο όργανο υφίσταται έντονες κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιρροές που φέρουν επιδράσεις μεγάλης διάρκειας στην εύρυθμη λειτουργία του. Για παράδειγμα, η μητρική συμπεριφορά κατά τη ανάπτυξη ενός νεογέννητου έχει ισχυρή επιρροή στον έλεγχο του άγχους στη μετέπειτα ζωή του ως αποτέλεσμα επιγενετικών τροποποιήσεων²². Ειδικότερα, ενήλικα ποντίκια που έλαβαν μεγάλη φροντίδα (μεγάλης διάρκειας γλείψιμο και

καθαρισμό) από τις μητέρες τους κατά την πρώτη εβδομάδα μετά τη γέννηση τους παρουσίασαν χαμηλότερα επίπεδα ενός παράγοντα (corticotropin-releasing factor) που ρυθμίζει το στρες σε σύγκριση με τα νεογνά που είχαν μικρότερης διάρκειας μητρική φροντίδα. Αυτό το αποτέλεσμα διαπιστώθηκε ότι οφειλόταν στη μητρική συμπεριφορά και όχι στη γονιδιακή κληρονομικότητα του στρες, και αποδόθηκε στην επιγενετική μείωση των ομάδων μεθυλίου που κολλούν στον ενεργοποιητή του στρες²³. Ακόμα και στο ζήτημα των ψυχιατρικών διαταραχών η απόδοσή τους σε πολυμορφισμούς γονιδίων δεν μπορεί να εξηγήσει την ποικιλοπλοκότητα των συμπτωμάτων σε ασθενείς με την ίδια διαταραχή. Αντιθέτως, οι επιγενετικές επιδράσεις του περιβάλλοντος σε γονίδια μπορούν να αιτιολογήσουν ψυχιατρικές διαταραχές. Για παράδειγμα, η σχιζοφρένεια σε μονοζυγωτικά δίδυμα εμφανίζεται και στα δύο αδέλφια σε ποσοστό μόνο 50% παρότι είναι γενετικά ταυτόσημα²⁴.

Η εντυπωσιακή δυναμική των επιγενετικών αλλαγών φαίνεται και από το ότι κάποιες από αυτές κληρονομούνται και κάποιες άλλες είναι αναστρεψίμες σε αντίθεση με τις γενετικές αλλοιώσεις (μεταλλάξεις). Στην πρώτη περίπτωση, η επίδρασή τους είναι δυνατόν να εκδηλωθεί πολλές γενιές αργότερα, κάτι που σημαίνει πως η διατροφή μας ή κάποιες ανθυγιεινές συνήθειές μας (όπως το κάπνισμα) κατά πάσα πιθανότητα θα επηρεάσουν και την υγεία των παιδιών μας. Η αναστρεψιμότητα των επιγενετικών αλλαγών προσφέρει στους επιστήμονες δυνατότητες ανάπτυξης εναλλακτικών θεραπειών για διάφορους τύπους καρκίνου, όπως του παχέος εντέρου, του στομάχου, του προστάτη, του μαστού, των ωοθηκών και του θυρεοειδή. Για παράδειγμα, το ελικοβακτήριο του πυλωρού (*Helicobacter pylori*) προκαλεί επιγενετικές αλλαγές στα κύτταρα του στομάχου, οι οποίες ευνοούν την εμφάνιση συμπτωμάτων έλκους και καρκίνου.

Διαπιστώνεται λοιπόν ότι τα γονίδια δεν είναι στατικά ούτε ντετερμινιστικά, πολύ περισσότερο ούτε καν εγωιστικά κατά τον κοινωνιοβιολόγο Ρίτσαρντ Ντόκινς²⁵. «Συνομιλούν» διαρκώς μεταξύ τους και με τα χημικά συστατικά του κυττάρου που τα φιλοξενεί, ενώ με τη σειρά του το κύτταρο συνομιλεί χημικά με άλλα κύτταρα του οργανισμού, ο οποίος στο σύνολό του επηρεάζεται από το περιβάλλον μέσω εξωτερικών ερεθισμάτων και εμπειριών.

Εγκέφαλος: Το είναι και το γίνεσθαι της ανθρώπινης νόησης

Ο κοινωνιοβιολογικός ντετερμινισμός συνδέει τις ατομικές συμπεριφορές και τις κοινωνικές δομές οργάνωσης του ανθρώπου με γονιδιακά εξαρτώμενες εγκεφαλικές λειτουργίες. Προσक्रούει όμως στο γεγονός ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος αναπτύσσεται διανοητικά κυρίως μετά τη γέννηση και ότι διαρκώς τροποποιείται από επιγενετικές και κοινωνικές επιδράσεις του περιβάλλοντος. Αυτό επιβεβαιώνουν

και τα πρόσφατα ευρήματα των νευροεπιστημών, όπως συμπυκνώνεται από τον διακεκριμένο καθηγητή Φυσιολογίας του Πανεπιστημίου Πατρών Γιώργο Κωστόπουλο: «Η οποιαδήποτε εξήγηση του εγκεφάλου θα πρέπει να τον δει ως ενσώματο και διαδραστικό με άλλους ανθρώπους και με το περιβάλλον»²⁶.

Οι οργανισμοί από πολύ νωρίς κατά την οντογένεση θα πρέπει να είναι ικανοί αφενός για μια ημιανεξάρτητη βίωση τού έξω κόσμου και αφετέρου για την περαιτέρω ανάπτυξή τους προς το στάδιο της ωρίμανσης. Όταν ένα νεογέννητο μωρό ασκεί το αντανάκλαστικό του θηλασμού, ο εν αναπτύξει εγκέφαλός του υπόκειται ταυτόχρονα σε νέες νευρικές διεργασίες εξωπεριβαλλοντικής προέλευσης από τις εμπειρίες που αντλεί από αυτή την κατ' αρχάς ανεπεξέργαστη μορφή τεχνικής της μάσησης. Δηλαδή, η ζωή απαιτεί από όλες τις μορφές της τη δυνατότητα τού *είναι* και του *γίνεσθαι* να υφίσταται ταυτόχρονα ως διαλεκτική σχέση και αλληλεπίδραση. Πολλές οντογενετικές διαδικασίες παραμένουν σχετικά αναλλοίωτες από την εμπειρία και έχουν διαμορφωθεί πριν από τη γέννηση. Για παράδειγμα, οι άνθρωποι –αν και όχι όλα τα θηλαστικά– γεννιούνται με ανοιχτά μάτια που έχουν μια σχετική ικανότητα εστίασης, με αποτέλεσμα να μπορούν να βλέπουν και να αντιλαμβάνονται κινήσεις, ασυνείδητα βέβαια. Δηλαδή, υπάρχουν εδραιωμένες οι βασικές συνδέσεις των φωτοευαίσθητων κυττάρων του αμφιβληστροειδούς του ματιού με τον εγκέφαλο μέσω του οπτικού νεύρου. Κατά τα πρώτα χρόνια της ζωής, ο εγκέφαλος και τα μάτια συνεχίζουν να αναπτύσσονται με τις μεταξύ τους συνδέσεις να διακόπτονται και να σχηματίζονται νέες εκ της εμπειρίας, αλλά η συνολική σχέση του ματιού με τον εγκέφαλο διατηρείται για να μη διαταραχθεί η ικανότητα της όρασης. Δηλαδή, κάθε στιγμή το μάτι και ο εγκέφαλος πρέπει να προσαρμόζονται στις τρέχουσες ανάγκες και συγχρόνως να μετέχουν σε διαδικασίες αλλαγών που θα τους επιτρέπουν να ανταποκριθούν σε μελλοντικές ανάγκες. Για παράδειγμα, αν αναπτύξουμε γάτες είτε σε χώρο με οριζόντιες ή κάθετες ρίγες ή με ένα μόνο μάτι ανοιχτό, το αρχικό σχέδιο των (συναπτικών) συνδέσεων του ματιού με τον εγκέφαλο θα μεταβληθεί διά παντός. Τουλάχιστον κατά τη διάρκεια ορισμένων κρίσιμων αναπτυξιακών περιόδων η επίδραση του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη του εγκεφάλου είναι μη αναστρέψιμη (βλέπε παράδειγμα *λυκανθρώπων* ακολουθώντας).

Ο ώριμος εγκέφαλος είναι μια μάζα νευρικών κυττάρων συνολικού βάρους περίπου 1,5 κιλού αποτελούμενη από περίπου 100 δισεκατομμύρια νευρώνες που περιβάλλονται από δεκαπλάσιο αριθμό βοηθητικών κυττάρων (τα νευρογλοιακά). Τελειοποιείται ως προς τη νευρωνική του συνδεσμολογία μέσω της επιλογής εκ πολλών δυνατοτήτων, που του επιβάλλεται από το περιβάλλον. Κατά τη γέννηση του εμβρύου, ο πρώιμος εγκέφαλος αποκτά μια χαρακτηριστική για το ανθρώπινο είδος τοπογραφική γεωγραφία. Χωρίζεται και χαρτογραφείται σε πολυάριθμες λειτουργικά εξειδικευμένες περιοχές, όπου σε κάθε περιοχή τα νευρικά κύτταρα είναι τα-

κτοποιημένα στο χώρο με συγκεκριμένη σειρά. Έτσι, η πιο σημαντική περιοχή του εγκεφάλου που σχετίζεται με την ανάπτυξη της νόησης (ο φλοιός) αποτελείται από ένα λεπτό, ιδιαίτερα πτυχωμένο στρώμα (για να χωρά στον εγκέφαλο η μεγάλη του επιφάνεια) πάχους περίπου 4 χιλιοστών, που ονομάζεται και φαιά ουσία. Τα κύτταρα του φλοιού (οι νευρώνες) είναι τακτοποιημένα σε 6 στοιβάδες όπως οι στρώσεις μιας τούρτας. Είναι επίσης οργανωμένα σε λειτουργικά διακριτές στήλες, έχοντας συγκεκριμένα σχήματα (κάποια μοιάζουν με πυραμίδες, άλλα με αστέρια κ.λπ.). Επιπλέον, κάθε νευρώνας συνδέεται με άλλους νευρώνες, γειτονικούς και πιο απομακρυσμένους, μέσω λεπτών ινών που εξακτινώνονται από το σώμα του κυττάρου (δηλαδή είναι κυλινδρικές προεκτάσεις της εξωτερικής του μεμβράνης). Ορισμένες από αυτές τις ίνες (ονομαζόμενες και δενδρίτες, επειδή μοιάζουν με κλαδιά δένδρου) συλλέγουν τα εισερχόμενα σήματα, και τουλάχιστον ένας (ο νευράξονας) τα μεταδίδει σε άλλους νευρώνες, συνδεόμενος με τους δενδρίτες τους μέσω κόμβων που ονομάζονται συνάψεις. Ένας οποιοσδήποτε νευρώνας μπορεί να σχηματίσει μέχρι και 100.000 τέτοιες συναπτικές επαφές ή συνδέσεις. Ορισμένες από τις συνάψεις περιορίζονται στο εσωτερικό του εγκεφάλου, καθιστώντας δυνατή την επικοινωνία μεταξύ των νευρώνων. Άλλες, όπως το μεγάλο σύνολο αξόνων που επεκτείνονται από τον οφθαλμό μέσω του οπτικού νεύρου (αρχικά προς μια περιοχή βαθιά εντός του εγκεφάλου που ονομάζεται γονατώδες σώμα, και από εκεί προς τις οπτικές περιοχές του φλοιού), μεταδίδουν σήματα από τον έξω κόσμο. Κάποιες άλλες νευρικές οδοί εξέρχονται από τον εγκέφαλο και τον συνδέουν μέσω του νωτιαίου μυελού (της σπονδυλικής στήλης) με τους μύες και τα εσωτερικά όργανα.

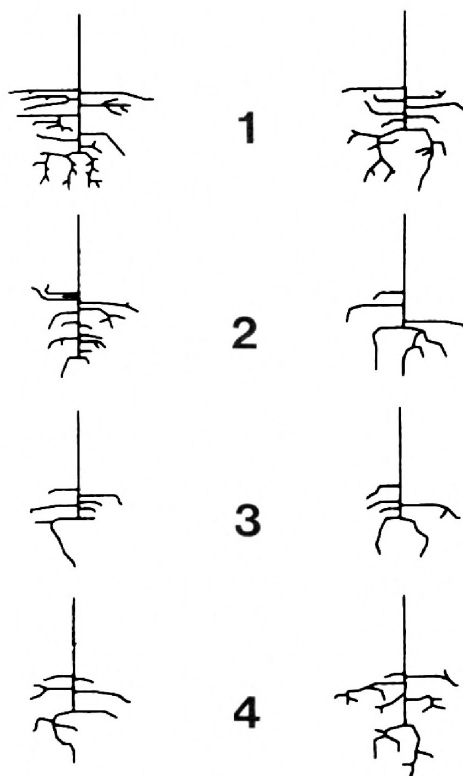
Αυτή η εκπληκτικά περίπλοκη τοπογραφική δομή δημιουργείται μέσα στους εννέα μήνες από τη στιγμή της γονιμοποίησης και είναι σε μεγάλο βαθμό λειτουργική κατά τη στιγμή της γέννησης. Στο επίπεδο του είδους είναι γενετικά προκαθορισμένη (π.χ. η τοπογραφία του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι διαφορετική από του ποντικού αλλά έχει και πολλές ομοιότητες). Η τελική ανάπτυξη που θα αποκτήσει στον ενήλικο εγκέφαλο αυτή η δομή εξαρτάται από το εσωτερικό χημικό περιβάλλον. Είναι κυρίως το εξωκυτταρικό περιβάλλον που εκδηλώνεται ως μετανάστευση εγκεφαλικών νευρώνων που χρησιμοποιούν χημικά μόρια με ινώδη μορφή ως σιδηροτροχιές, τα οποία δημιουργούν τα νευρογλοιακά κύτταρα, ή χρησιμοποιούνται κάποιες άλλες ινώδεις πρωτεΐνες. Εναλλακτικά, οι νευρώνες ακολουθούν, «έλκονται» από συγκεκριμένα χημικά μόρια-σηματοδότες που εκκρίνονται από τα νευρικά κύτταρα με τα οποία θα συνδεθούν, δηλαδή κάνουν κάτι ανάλογο με τα βακτηρία που κινούνται στο νερό προς περιοχές πλούσιες σε τροφή.

Ο γονιδιακός έλεγχος της τοπογραφίας του εμβρυϊκού εγκεφάλου πριν από τη γέννηση είναι ασταθής διότι το εσωτερικό χημικό περιβάλλον στο οποίο υπόκειται η λειτουργία των γονιδίων επηρεάζεται και από το χημικό περιβάλλον του αμνιακού σάκου και ως εκ τούτου μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο τη βασική ανάπτυξη

του εγκεφάλου αλλά ακόμα και αυτή την αοτιμέλεια του εμβρύου (π.χ. τερατογενέσεις). Αστάθεια μπορεί να προκύψει και από άλλους τυχαίους παράγοντες που εκδηλώνονται κατά την εμβρυακή ανάπτυξη. Για παράδειγμα, οι γνήσιοι δίδυμοι (που προκύπτουν από δύο έμβρυα με πανομοιότυπο DNA) αρχικά συνδέονται με τη μήτρα σε διαφορετικές θέσεις, πράγμα που επηρεάζει την ανάπτυξή τους με διαφορετικό τρόπο. Αυτή η αναπτυξιακή διαφορετικότητα των δίδυμων εμβρύων μεγεθύνεται με κάθε κυτταρική διαίρεση από απρόβλεπτους παράγοντες (ο λεγόμενος «αναπτυξιακός θόρυβος»).

Όλοι αυτοί οι παράγοντες δρουν κατά βάση επιγενετικά. Στον ανθρώπινο εγκέφαλο με τους εκατομμύρια εκατομμυρίων νευρώνες είναι δύσκολο να δείξει κανείς την καταλυτική επίδραση της επιγένεσης, πέραν του ότι δεν προσφέρεται για πειράματα. Κάτι τέτοιο όμως μπορεί να συναχθεί από πειράματα σε οργανισμούς με απλό νευρικό σύστημα, όπως π.χ. με το απλό οπτικό νευρικό σύστημα του μικροσκοπικού υδρόβιου μαλακόστρακου *Daphnia magna*, καθότι πολλαπλασιάζεται παρθενογενετικά και ως εκ τούτου παράγει πολλούς γενετικά ταυτόσημους (πολύδυμους) απογόνους. Το μοναδικό κυκλώπειο μάτι της *Δάφνιας* αποτελείται από 176 αισθητήριους νευρώνες που συνδέονται μέσω συναπτικών επαφών με 110 νευρώνες του οπτικού γαγγλίου. Αν και ο αριθμός των οπτικών νευρώνων είναι σταθερός, γεγονός που επιτρέπει τη χωροθεσιακή (τοπογραφική) αναγνώριση ενός εκάστου εξ αυτών, οι διακλαδώσεις του νευράξονα του ίδιου διπλού νευρώνα από τέσσερα διαφορετικά άτομα *Δάφνιας* (εικ. 2) είναι διαφορετικές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί μόνο στις επιγενετικές επιδράσεις του περιβάλλοντος (εντός κι εκτός του οργανισμού). Οι διαφορές στη νευραξονική διακλάδωση είναι μεγαλύτερες μεταξύ των τεσσάρων ατόμων (κυρίως λόγω της ανάπτυξής τους σε σημαντικά διαφορετικό εξωτερικό περιβάλλον) απ' ό,τι ανάμεσα στον δεξιό και τον αριστερό νευρώνα (λόγω της έκθεσής τους σε μικρότερης διαφορετικότητας εξωκυτταρικό χημικό ενδοπεριβάλλον)²⁷. Στους ανώτερους οργανισμούς και τον άνθρωπο δεν είναι δυνατή η μελέτη μεμονωμένων νευρώνων γιατί ούτε η θέση τους σε ομάδες κυττάρων ούτε ο αριθμός τους σε κάθε ομάδα παραμένει σταθερός.

Τις μεγαλύτερες επιρροές από το περιβάλλον δέχεται ο εγκέφαλος μετά τη γέννηση διότι συνεχίζει να αναπτύσσεται. Το σημαντικότερο γνώρισμα του μετεμβρυϊκού εγκεφάλου είναι ότι οι συνάψεις μεταξύ των νευρώνων είναι λιγοστές κατά τη γέννηση και από και και πέρα διαμορφώνονται σε απόκριση στα εξωτερικά σήματα, γεγονός που σχετίζεται άμεσα με την ανάπτυξη της νόησης. Στη διάρκεια των επόμενων ολίγων ετών της ανάπτυξης δημιουργούνται πάνω από 30.000 συνάψεις ανά δευτερόλεπτο για κάθε τετραγωνικό εκατοστό του φλοιού, μέχρι να συμπληρωθεί ο αριθμός των 100 τρισεκατομμυρίων συνάψεων που είναι παρούσες και λειτουργικές. Για να συλλάβουμε αυτόν τον τεράστιο αριθμό, συγκριτικά είναι περίπου 20 χιλιάδες φορές μεγαλύτερος από τον πληθυσμό του πλανήτη μας.



Εικόνα 2. Μεταβλητότητα της νευρικής οργάνωσης σε τέσσερα πολύδυμα άτομα της *Daphnia magna*, που ως εκ τούτου το DNA τους είναι ίδιο. Η εικόνα συγκρίνει την τελική διακλάδωση του νευραξονικού τμήματος ενός συγκεκριμένου νευρώνα στα τέσσερα άτομα (1 έως 4) της Δάφνιας, που είναι διπλός (δεξιός και αριστερός) και συμμετρικός σε σχέση με το επίπεδο συμμετρίας της Δάφνιας. Η διαφορετικότητα της νευραξονικής διακλάδωσης είναι πιο εκτεταμένη μεταξύ των τεσσάρων ατόμων απ' ό,τι αυτής μεταξύ του δεξιού και του αριστερού νευρώνα (Changeux, J.-P., Ο νευρωνικός άνθρωπος: Πώς λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος, Εκδόσεις Ράππα, 1986).

Ξεκινά ως ένας μικροσκοπικός νευρικός σωλήνας την 4η εβδομάδα της κύησης, ενώ μετά ακολουθεί η δημιουργία των νευρικών κυττάρων από κύτταρα γεννήτορες, τους νευροβλάστες, που προήλθαν από μια στρώση του νευρικού σωλήνα. Αυ-

Νευρώνες πεθαίνουν, νέοι γεννιούνται (ακόμα και στο φλοιό), δηλαδή, υπάρχει μια πληθώρα συνάψεων, μια πραγματική νευρωνική άνθηση. Αν οι συνάψεις δεν μπορούν να δημιουργήσουν τις κατάλληλες λειτουργικές επαφές με τους δενδρίτες των νευρώνων, τότε αυτοί αποκόπτονται και χάνονται. Παραμένουν μόνο όσοι διαχειρίζονται αποτελεσματικότερα το ερέθισμα. Απαραίτητη είναι και η συνεργασία μεταξύ των νευρικών κυττάρων. Το καθένα εξαρτάται από τα υπόλοιπα για τη δημιουργία και τη διατήρηση του δυναμικού σχεδίου των συνδέσεων που χαρτογραφεί τον έξω κόσμο στον εγκέφαλο μέσω των αισθητήριων οργάνων. Κατόπιν, μέσω του εγκεφάλου και του μυϊκού συστήματος, εγκαθιδρύει νέα σχήματα στον έξω κόσμο. Ο αναπτυσσόμενος οργανισμός ως είναι και γίνεσθαι δομεί εαυτόν και τις κοινωνίες του.

Ας παρακολουθήσουμε εν συντομία την ανάπτυξη του εγκεφάλου για να δούμε το πέρασμα από τον γενετικό προκαθορισμό του ανθρώπινου εγκεφάλου (ως βιολογικό όργανο χαρακτηριστικό για το είδος μας) στην περιβαλλοντικά εξαρτώμενη ανθρωπογένεση, ψυχογένεση και νοογένεση.

τά στη συνέχεια μεταναστεύουν στη θέση που θα σχηματίσουν τις έξι στρώσεις του φλοιού, όπου εκεί μερικά θα πεθάνουν και τα υπόλοιπα θα αρχίσουν να διαφοροποιούνται και να ωριμάζουν. Δηλαδή εκφύουν δενδρίτες και νευράξονες που εκτείνονται για να ενωθούν με δενδρίτες άλλων νευρώνων μέσω συνάψεων. Η δημιουργία συνάψεων –από τις σημαντικότερες διεργασίες για την αντιληπτική και νοητική ανάπτυξη του εγκεφάλου– ξεκινά περί την 7η εβδομάδα, κορυφώνεται κοντά στην ηλικία των 2 ετών, σταθεροποιείται στην ηλικία των 9 ετών περίπου, και συνεχίζεται κατά την υπόλοιπη ζωή μας με χαμηλότερο ρυθμό²⁸.

Πέρα από τις γενετικά και επιγενετικά ελεγχόμενες διεργασίες πολλαπλασιασμού των νευρικών κυττάρων και τη δημιουργία νευρικών αξόνων, δενδριτών και συνάψεων, η ανάπτυξη του εγκεφάλου, ιδιαίτερα μετά τη γέννηση, χαρακτηρίζεται έντονα από πλαστικότητα, μια επίσης επιγενετική διεργασία. Χαρακτηρίζεται, δηλαδή, από το γεγονός ότι μερικές συναπτικές συνδέσεις μεταξύ των νευρικών κυττάρων ατονούν, άλλες ενδυναμώνονται και παράλληλα δημιουργούνται νέες. Το πιο σημαντικό γνώρισμα αυτής της πλαστικότητας, που συνεχίζεται κατά την παιδική ανάπτυξη και την ενηλικίωση, αν και σε διαφορετικά επίπεδα, είναι ότι ρυθμίζεται έμμεσα και άμεσα από το περιβάλλον. Ο Κωστόπουλος περιγράφει τα συμπεράσματα της νευροβιολογίας για την εγκεφαλική ευπλαστότητα: «Όσο ζούμε, διαφοροποιείται ο εγκέφαλός μας με κάθε καθημερινή εμπειρία και με κάθε όνειρο κάθε νύχτα (σε βαθμό που είναι να απορεί κανείς πώς καταφέρνουμε να καταλαβαίνουμε ο ένας τον άλλο –συμπλήρωση του γράφοντος: καταλαβαίνομαστε επί τη βάση κοινών κοινωνικών συμφερόντων). Η διαφοροποίηση του εγκεφάλου και της συμπεριφοράς μας με σκοπό την προσαρμογή στα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα του περιβάλλοντος επιτυγχάνεται χάρη στην κύρια και πρωταρχική ιδιότητα του εγκεφάλου μας, την ευπλαστότητά του –ευπλαστότητα κύρια των συνδέσεων ανάμεσα στους νευρώνες του. Αυτή η ευπλαστότητα είναι η βάση όλων των μηχανισμών που αποκαλούμε μάθηση και μνήμη, και μάλιστα με την πολύ ευρεία έννοια του όρου ευπλαστότητα, που περιλαμβάνει: την εξελικτική προσαρμογή μας ως ζωικό είδος, τη διά βίου μάθηση, τη δημιουργία προσωπικών ονείρων και διαπροσωπικών σχέσεων (ανάπτυξη προσωπικότητας, κοινωνικοποίηση κ.λπ.), την ευαισθησία σε εξαρτήσεις (σημείωση του γράφοντος: εξαρτήσεις στα ναρκωτικά, το αλκοόλ, τον τζόγο κ.λπ., που οι κοινωνιοβιολόγοι τις αποδίδουν σε αντίστοιχα γονίδια), την προσαρμογή στο χρόνιο στρες κ.λπ.»²⁹. Εντυπωσιακό παράδειγμα νευρωνικής ευπλαστότητας αποτελεί η περίπτωση των ομοζυγωτικών διδύμων αγοριών από τις Φιλιππίνες Clarence και Carl Aguirre. Γεννήθηκαν (στις 21/04/2002) ενώμενα στη μετωποβρεγματική περιοχή των εγκεφάλων τους (σε επιφάνεια 25 τετρ. εκ.), και μετά από προπαρασκευαστικές εγχειρήσεις η εγχείρηση του διαχωρισμού τους έγινε 2 χρόνια αργότερα. Η μέχρι το 2007 μετεγχειρητική θεραπεία κατάστασής τους (φυσικοθεραπείες κ.λπ.) είχε ως αποτέλεσμα ο Clarence να ομι-

λεί και να βαδίζει κανονικά και ο Carl να αρθρώνει λίγες λέξεις και να κινείται με πατερίτσες (ως ενωμένα δεν είχαν μάθει να βαδίζουν)³⁰, κάτι που οφείλεται στην εκπληκτική ικανότητα του εγκεφάλου να επαναδιαμορφώνεται (στο κατεστραμμένο σημείο της ένωσης).

Το περιβάλλον δρα επιλεκτικά επί της πληθώρας των υφιστάμενων συναπτικών συνδέσεων, ενισχύοντας μερικές και ατονώντας άλλες³¹. Παράλληλα, προκαλεί τη δημιουργία νέων συνάψεων³² και συντείνει στο διαχωρισμό διαφόρων περιοχών του φλοιού³³. Αυτές οι διεργασίες εναρμονίζονται με τις ακόλουθες, περιβαλλοντικά εξαρτώμενες, σημαντικές περιόδους ανάπτυξης του εγκεφάλου³⁴: 1) Με την εξ εμπειρίας αναμενόμενη περίοδο (experience-expectant period) κατά την οποία συγκεκριμένες συναπτικές συνδέσεις αναμένονται να ενδυναμωθούν και να σταθεροποιηθούν από συγκεκριμένα περιβαλλοντικά ερεθίσματα, εξελικτικές επιλογές χαρακτηριστικές για το είδος οργανισμού (π.χ. η διδασχά του δίποδου βαδίσματος από τους γονείς στο νεογνίτη). Επομένως, η μη έκθεση σε τέτοια ερεθίσματα μπορεί να καταλήξει σε μόνιμη υπανάπτυξη της δομής του εγκεφάλου και επομένως σε αντιληπτικές αδυναμίες. 2) Με την εξ εμπειρίας εξαρτώμενη περίοδο (experience-dependent period) κατά την οποία συγκεκριμένες συναπτικές συνδέσεις ενδυναμώνονται ή δημιουργούνται σε απόκριση σε μη αναμενόμενα περιβάλλοντα (π.χ. απρόβλεπτες εξωοικογενειακές επιδράσεις). Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα δραματικής επίδρασης του περιβάλλοντος στην ομαλή ανάπτυξη του ανθρώπινου εγκεφάλου μάς το δίνουν παιδάκια που μεγάλωσαν σε αγέλες ζώων. Μια τέτοια περίπτωση είναι δύο Ινδών αδελφών (της οκτάχρονης Κανάλα και τής 18 μηνών Αμάλα), που βρέθηκαν να ζουν με μια αγέλη λύκων. Η αντίληψη και η συμπεριφορά τους ήταν αντίστοιχες της ανατροφής τους, αν και διατηρούσαν εξωτερικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά. Παρά τις συστηματικές προσπάθειες αγωγής και εξανθρωπισμού τους, δεν μπόρεσαν να αποκτήσουν νέες συνήθειες ανθρώπινης διαβίωσης. Εξακολουθούσαν να βαδίζουν με τα τέσσερα άκρα κι έτρωγαν πάντα το κρέας ωμό, ξεσχίζοντάς το με τα νύχια και τα δόντια τους³⁵. Θα πρέπει να υπογραμμιστούν τρία σημαντικά συμπεράσματα από αυτές τις περιπτώσεις: 1) Δεν ενεργοποιήθηκαν ούτε οι γονιδιακά επηρεαζόμενες δυνατότητες του ανθρώπινου οργανισμού στην όρθια στάση, το δίποδο βάδισμα, τη λειτουργία των άνω άκρων, την ομιλία κ.ά. 2) Υπήρξε παντελής απουσία ανθρώπινου ψυχισμού και κοινωνικοπολιτισμικών στοιχείων συμπεριφοράς. 3) Η πλήρης κοινωνικοποίηση αυτών των παιδιών ήταν ανέφικτη. Συμπερασματικά, η απουσία κατάλληλων πολιτισμικών περιβαλλοντικών ερεθισμάτων σε συγκεκριμένες φάσεις της αναπτυξιακής διαμόρφωσης του ανθρώπου αποβαίνει μη αναστρέψιμη για την ομαλή ψυχοσωματική και κοινωνική ανάπτυξη του.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες η διανοητική ανάπτυξη όλων των παιδιών ακολουθεί παρόμοιες οδούς στο πλαίσιο των ιδιαιτεροτήτων των κοινωνικών (οικο-

γενειακών κ.ά.) περιβαλλόντων που αυτά βιώνουν. Εντούτοις κάποια ιδιαίτερα διανοητικά «επιτεύγματα» και «ταλέντα» τους, εν πολλοίς μυθοποιημένα, διογκωμένα και αποσυνδεδεμένα από γνωστές/άγνωστες κρίσιμες λεπτομέρειες του προσωπικού τους βίου, έχουν περάσει στην κοινή γνώμη ως χαρακτηριστικά «παιδιών θαυμάτων», τις «ικανότητες» των οποίων οι κοινωνιοβιολόγοι συνδέουν με ιδιαίτερα γονίδια. Μεταξύ αυτών, ο Βόλφανγκ Αμαντέους Μότσαρτ αναφέρεται σαν κλασικό παράδειγμα παιδιού με εγγενές ταλέντο στη μουσική και ο Άλμπερτ Αϊνστάιν στις θετικές επιστήμες (παρότι ο ίδιος δεν πίστευε ότι είναι προικισμένος με ιδιαίτερες ικανότητες: «Είμαι σίγουρος για τον εαυτό μου ότι δεν διαθέτω ιδιαίτερα ταλέντα. Η περιέργεια, η εμμονή και η πεισματική υπομονή, συνδυασμένα με αυτοκριτική, με οδήγησαν στις ιδέες μου»³⁶). Μια σχετικά πρόσφατη μελέτη που ανέλυσε διεξοδικά τη σχετική βιβλιογραφία και όλα τα επιχειρήματα υπέρ και κατά της ύπαρξης διανοητικά προικισμένων παιδιών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το «παιδί θαύμα» είναι ένας μύθος³⁷.

Οι κοινωνιοβιολόγοι παρουσιάζουν το εγκεφαλικό νευρωνικό δίκτυο (μηχανιστικά και ντετερμινιστικά ονομαζόμενο hardware κατ' αναλογία με αυτό των ηλεκτρονικών υπολογιστών) σαν ένα γενετικά αμετάβλητο σύνολο νευρικών κυττάρων, ξεχωριστό για το κάθε άτομο. Ωστόσο, ο ανθρώπινος εγκέφαλος δεν λειτουργεί όπως οι υπολογιστές, ούτε υπόκειται σε γονιδιακούς περιορισμούς. Κι αυτό διότι δύναται να λειτουργεί τόσο σε ακραία νοητικά όρια όσο και στο ορθολογικό μεταίχιμο. Εκεί τα επιστημονικά αξιώματα/θεωρήματα και οι περιγραφές των φυσικών νόμων κάθε ιστορικής περιόδου αδυνατούν να εξηγήσουν την «ακανόνιστη», «αφύσικη», «ανώμαλη» συμπεριφορά της ύλης που προσλαμβάνουμε από τη φύση, αλλά ο εγκέφαλος έχει τη δυνατότητα της υπέρβασής τους για την παραγωγή νέας γνώσης. Επειδή η τεχνητή νοημοσύνη του υπολογιστή σχεδιάζεται, λειτουργεί και κωδικοποιεί επί τη βάσει προϋπάρχουσας γνώσης, αδυνατεί να παραγάγει καινούργια γνώση για τον επιπρόσθετο λόγο ότι δεν ενεργοποιείται από αστάθμητα συγκινησιακά και κοινωνικοοικονομικά ερεθίσματα όπως ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Όπως παρατηρεί και ο Ευτύχης Μπιτσάκης, «Ο εγκέφαλος δεν είναι παθητικό όργανο καταγραφής, δεν καταγράφει σαν “άγραφο χαρτί” τα ερεθίσματα των αισθητήριων οργάνων, αλλά είναι “εργαστήριο” κωδικοποίησης της “πληροφορίας”, επεξεργασίας, δημιουργίας εννοιών. Σε αντίθεση με τους υπολογιστές, έχει τη δυνατότητα να παίρνει πρωτοβουλίες»³⁸.

Το εγκεφαλικό νευρωνικό δίκτυο ενός ατόμου διαφέρει από αυτό των άλλων ατόμων ως αποτέλεσμα των διαφορετικών επιρροών που δέχεται ο εγκέφαλος από το περιβάλλον. Αλλά ακόμα κι αν δεχόμασταν ότι η νευρωνοδικτυακή διαφορετικότητα του εγκεφάλου κάθε ατόμου οφείλεται εν μέρει σε γενετικά αίτια, κάτι τέτοιο δεν θα συνεπαγόταν ότι ο εγκέφαλός μας έχει ποιοτικά διαφορετικές (ανώτερες ή κατώτερες) δυνατότητες διανοητικής λειτουργικότητας από των άλλων αν-

θρώπων. Ο λόγος είναι ότι το ανθρώπινο νευρωνικό δίκτυο, αντίθετα με το hardware του υπολογιστή, χαρακτηρίζεται από λειτουργική ευπλαστικότητα που δεν υπόκειται σε βιολογικό ντετερμινισμό. Οι σκέψεις που παράγει δεν είναι γενετικός συγκερασμός των σκέψεων των εγκεφάλων των γονιών του. Αυτό αποδεικνύεται και από το γεγονός ότι ως κοινωνικές ομάδες μαθαίνουμε τόσο να διαφοροποιούμαστε από καθεστηκείς απόψεις όσο και να έχουμε κοινές θεωρήσεις π.χ. για το καλό και το κακό, τον Θεό και τον Διάβολο, τη δικαιοσύνη, την ελευθερία, το πολιτικό κόμμα που ψηφίζουμε. Εκεί που φαινομενικά διαφέρουμε στο ατομικό επίπεδο είναι στο πώς αντιλαμβανόμαστε το προσωπικό μας συμφέρον, καθότι μαθαίνουμε να το βλέπουμε ανταγωνιστικά ως προς των άλλων και έξω από το κοινωνικό του πλαίσιο. Η ευπλαστικότητα του νευρωνικού δικτύου του ανθρώπινου εγκεφάλου έχει κοινωνικά πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Καθιστά το άτομο ευάλωτο σε κάθε είδους χειραγώγηση (π.χ. πολιτική, ναρκωτικά), αλλά και το συνασπίζει με άλλα άτομα προς την τελική χειραφέτησή του.

Όλες οι διαδικασίες που οδηγούν στην ανάπτυξη των διαφόρων συστημάτων μάθησης και μνήμης στο νευρωνικό δίκτυο είναι επιγενετικά και περιβαλλοντικά ρυθμιζόμενες. Είναι αποκλειστικά συνδεδεμένες με αλλαγές στις συναπτικές συνδέσεις μεταξύ των νευρικών κυττάρων και μπορούν να θεωρηθούν μηχανισμοί σχετιζόμενοι με την απόκτηση, διατήρηση και ανάκληση της γνώσης, απαραίτητης για τη φυσιολογική διαμόρφωση των νοητικών ικανοτήτων του ανθρώπινου εγκεφάλου³⁹. Ο Κωστόπουλος εξηγεί⁴⁰: «Η ικανότητα για μάθηση που χαρακτηρίζει τον εγκέφαλο αποτελεί και το κύριο έργο του. Συνεχώς μαθαίνει, τροποποιώντας τις εξαιρετικά εύπλαστες ιδιότητες των νευρώνων και των διανευρωνικών επιδράσεων. Πώς μαθαίνουμε λοιπόν, με ποιο μηχανισμό; Κατά τον Edelman⁴¹, από την εμβρυακή ακόμη ανάπτυξη του νευρικού συστήματος μέχρι και το γήρας γίνεται συνεχώς μια επιλογή νευρωνικών ομάδων. Προηγείται η αναπτυξιακή επιλογή (κυτταρική διαίρεση και θάνατος, αύξηση και μείωση προβολών). Ακολουθεί η εμπειρική επιλογή (αλλαγές στην ισχύ ενός πληθυσμού συνάψεων) και η χαρτογράφηση με επανείσοδο σε θαλαμοφλοιϊκά συστήματα (για την ολοκλήρωση, σύνθεση και συντονισμό σε χώρο και χρόνο), ενώ έχουμε και ανάπτυξη και εκφύλιση περισίσιων θαλαμοφλοιϊκών κυκλωμάτων. Σε όλα αυτά, το σύστημα «αξιολόγησης» (τα στελεχοφλοιϊκά διάχτυα γενικευμένα συστήματα αμινών, (δηλ. ειδικά χημικά μόρια) κατευθύνει την ανάπτυξη και τροποποιεί κατηγοριοποιήσεις και δράσεις. Και αλλού: «Φαίνεται ότι ο ύπνος είναι απαραίτητος για τη μονιμοποίηση των όσων μαθαίνουμε μέσω διαδικασιών του ιπλόκαμπου. Ο εγκέφαλος ενός παιδιού μπορεί να διδαχθεί με πολλούς τρόπους, με αρχικό τρόπο τη μίμηση και αργότερα το λόγο και με προϋπόθεση τη συναισθηματική ενεργοποίηση. Ίσως είναι πολύ χρήσιμο για την εκπαίδευση να αναγνωριστεί ότι η νευρωνική ανάπτυξη με καταληκτικό στάδιο το “κλάδεμα” των μη ενεργοποιούμενων συνάψεων δεν τελειώνει ταυτόχρονα σε όλες

τις περιοχές του εγκεφάλου. Οι μετωπιαίοι λοβοί π.χ. αργούν πολύ περισσότερο να ωριμάσουν. Η συμπεριφορά των εφήβων μπορεί να είναι πιο συγκινησιακή, ως πλέον ευάλωτη σε μη ελεγχόμενο από τον μετωπιαίο λοβό αμυγδαλοειδή πυρήνα και σε ορμόνες».

Η μετάβαση από τη μάθηση στην αυτοσυνείδηση και από τα συναισθήματα στα επιτεύγματα του ανθρώπινου πολιτισμού (επιστήμες, τέχνες) είναι κι αυτή μια μη βιολογικά ντετερμινιστική διαδικασία που ο Κώστοπουλος περιγράφει ως ακολούθως⁴²: «Ένα κορυφαίο και ιδιαίτερα προσωπικό χαρακτηριστικό του ανθρώπου είναι η συνείδηση (που συνίσταται στην επίγνωση του περιβάλλοντος κόσμου αλλά και στην αυτεπίγνωση)». Εκδηλώνεται με γνωρίσματα/παράμετρους όπως «προ-ϋποθέσεις (εγρήγορση ή ενεργός ύπνος), καταστάσεις (από το συνδυασμό ενεργοποίησης, πληροφόρησης και νευροτροποποίησης), περιεχόμενα (μνήμες, συγκινήσεις), εστιασμός (προσοχή) και διαδικασίες συσχέτισης (έσω/έξω, στον χώρο, στον χρόνο) και υποκειμενικής ενιαίας πρόβλεψης», και συνδέεται άρρηκτα «με θαλαμοφλοιϊκά κυκλώματα και γενικευμένη ενεργοποίηση του εγκεφάλου ως προς το περιεχόμενο της συνείδησης»⁴³. Εξάλλου «κάθε λειτουργία το νευρικό σύστημα (αισθητήρια όργανα-εγκέφαλος) την απεργάζεται σαν σύνολο».

«Η μεγάλη ικανότητα μάθησης στον άνθρωπο από τις εμπειρίες και η αναγκαία διαμόρφωση των εγκεφαλικών κυκλωμάτων μέσω των επιλογών που επιβάλλει η ζωή (επεξήγηση του γράφοντος: δηλαδή το περιβάλλον) οδηγεί σε όλο και μεγαλύτερη υποκειμενικότητα και τελικά στη συνείδηση και την αυτοσυνείδηση ως μέσο επίβλεψης τού κατά πόσο η συμπεριφορά μας ανταποκρίνεται σε όσα μάθαμε να αγαπάμε ή να αποφεύγουμε, δηλαδή στην προσωπικότητά μας». Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα της «ανάγκης συμβιβασμού ανάμεσα στην πληρότητα και καταλληλότητα της συμπεριφορικής απάντησης σε ένα περιβαλλοντικό ερέθισμα και της συμβατής με την επιβίωση ταχύτητας αντίδρασης».

«Δεν παρατηρούμε τον κόσμο άμεσα αλλά μέσω των περιορισμών των αισθητηρίων μας και τον αναπαριστούμε ως οιονεί πραγματικότητα. Ο σκοπός της αναπαράστασης δεν είναι η αλήθεια αλλά η εξαγωγή χρήσιμου μηνύματος, η πλέον συμβατή με τα πράγματα εξήγηση που θα βοηθήσει τη συμπεριφορά/προσαρμογή μας σε αυτά, την επιβίωση[...]. Η υποκειμενικότητα φαίνεται να είναι απόλυτα ανθρώπινο χαρακτηριστικό [...] Μόνο ο άνθρωπος νους μπορεί να θεωρεί τον εαυτό του στο μέσο μιας εξελισσόμενης ιστορίας στην οποία πρωταγωνιστεί. Στο πλαίσιο αυτό ερμηνεύει τη συμπεριφορά του και τα γεγονότα στο περιβάλλον. Αυτή η ερμηνευτική λειτουργία αποτελεί ίσως την ανθρώπινη σκέψη, την ουσία της συνείδησης (αυτοσυνείδησης) και την κορυφή ενός τεράστιου παγόβουνου ασυνείδητων διεργασιών (πράξεις που κατά την αρχική εκμάθησή τους γίνονται συνειδητά, μόλις τις μαθαίνουμε τις εκτελούμε ασυνείδητα υπό τον έλεγχο των βασικών γαγγλίων, των αρχαιότερων δομών του εγκεφάλου)».

Αντίθετα από την άποψη των κοινωνιοβιολόγων ότι οι ανθρώπινες συγκινήσεις και τα συναισθήματα αποτελούν γενετική εξέλιξη ζωικών συμπεριφορικών γνωρισμάτων, οι νευροεπιστημονικές ανακαλύψεις, κατά τον Κωστόπουλο, συνηγορούν στο ότι «Οι οικογενειακοί και κοινωνικοί δεσμοί και βέβαια ο πολιτισμός που διακρίνει το είδος μας στηρίζονται στην ανάπτυξη πολύπλοκων και πλούσιων συναισθημάτων» που χαρακτηρίζουν μόνο το είδος μας. Σήμερα γνωρίζουμε ότι «το συναίσθημα δεν είναι εξελικτικό κατάλοιπο αλλά αντίθετα κορωνίδα της δημιουργίας (χρησιμοποιεί και περιοχές του εγκεφάλου όπως ο προμετωπιαίος λοβός που είναι λιγότερο αναπτυγμένος στα ζώα) και, το κυριότερο, οι εγκεφαλικοί μηχανισμοί του είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με τους μηχανισμούς των λογικών αποφάσεων». Και αλλού, «Οι αποφάσεις μας επηρεάζονται άδηλα από παλαιότερες συγκινήσεις⁴⁴ και οι ευφυέστερες ανθρώπινες δημιουργίες είχαν ισχυρά συναισθηματικά κίνητρα. Χωρίς αυτά δύσκολα μπορεί κανείς να κατανοήσει την περιέργεια και την απαίτηση εξήγησης των πάντων που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη συμπεριφορά. Λογική και συναίσθημα ανυψώνονται μαζί στις κορυφές της τέχνης και της επιστημονικής δημιουργίας⁴⁵, δύο απόλυτα χαρακτηριστικά του ανθρώπου τα οποία ίσως δεν απέχουν μεταξύ τους τόσο πολύ όσο πιστεύεται⁴⁶».

Οι νευροεπιστήμες αντικρούουν και μια άλλη προσφιλή ντετερμινιστική άποψη των κοινωνιοβιολόγων περί ύπαρξης γενετικά προκαθορισμένων γνωσιακών και συναισθηματικών διαφορών μεταξύ των δύο φύλων. Ο Κωστόπουλος σημειώνει: «Πολλά έχουν λεχθεί για διαφορές στο γνωσιακό και συναισθηματικό επίπεδο και ακόμη στο βαθμό πλαγίωσης (τοπογραφίας) λειτουργιών όπως ο λόγος, κ.ά. Όμως οι διαφορές αυτές φαίνεται να είναι μικρότερες από εκείνες μεταξύ ατόμων, ασχέτως αν πρόκειται για γυναίκα ή άνδρα»⁴⁷. Και καταλήγει: «Τα περισσότερα επιτεύγματα του ανθρώπινου πολιτισμού θα πρέπει να αποδοθούν σε “παρενέργειες” ή δώρα εγκεφαλικών διαδικασιών, που είχαν εξελιχθεί για επίλυση συγγενών αλλά διαφορετικών προβλημάτων. Η αφαιρετική λογική, για παράδειγμα, και η ικανότητα για μαθηματικούς υπολογισμούς που έφτασαν μέχρι το σχεδιασμό διαστημικών ταξιδιών ίσως στηρίζεται σε διεργασίες που αναπτύχθηκαν μεν στους συγκριτικά μεγαλύτερους (επεξήγηση του γράφοντος: από των άλλων ζώων) μετωπιαίους λοβούς (και ιδιαίτερα στον αριστερό) του πρωτόγονου ανθρώπου, όχι όμως γι’ αυτό το σκοπό αλλά πιθανόν για την κοινωνική συναλλαγή και την ανίχνευση του αληθούς ή του ψευδούς στις προτάσεις των συντρόφων των πρωτόγονων ανθρώπων⁴⁸. Η υψηλή αισθητική του ανθρώπου και η ευαισθησία του για την τέχνη επίσης φαίνεται να είναι μια ευεργετική παρενέργεια συνδυασμού γνωσιακών και συγκινησιακών κυκλωμάτων του μετωπιαίου λοβού».

Οι θιασώτες του κοινωνιοβιολογικού ντετερμινισμού φθάνουν μέχρι το σημείο να αμφισβητούν ακόμα και τη δυνατότητα του ανθρώπινου εγκεφάλου να σκέπτεται αυτόβουλα. Προς τούτο προτάσσουν τα πειράματα του Μπέντζαμιν Λίμπετ

(Benjamin Libet) που έδειξαν ότι ο εγκέφαλος ξεκινά την ετοιμασία μιας πράξης (τρόπον τινά «προαποφασίζει») μερικές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου πριν εμείς αποφασίσουμε να πραγματοποιήσουμε την πράξη⁴⁹. Αφού λοιπόν πριν από κάθε πράξη προηγείται ένα ασυνείδητο προστάδιο προετοιμασίας της, δεν μπορεί να υφίσταται ελεύθερη βούληση πάνω στην οποία να στηρίζεται το δίκαιο και η ηθική και κατ' επέκταση η δυνατότητα ύπαρξης κοινωνιών ισότητας. Παραμερίζοντας το γεγονός ότι η «ασυνείδητη προαπόφαση» του εγκεφάλου μας μπορεί να συνδέεται με προηγούμενες συνειδητές επιλογές που μάθαμε να τις εκτελούμε ασυνείδητα (όπως αναφέρθηκε προηγουμένως), οι κοινωνιοβιολόγοι θα είχαν δίκιο αν δεχόμασταν ότι η ελεύθερη βούληση προσδιορίζεται και περιορίζεται στην απόφασή μας μόνο να εκτελούμε μια πράξη. Εντούτοις αυτός ο «βιολογικός ντετερμινισμός» αίρεται αν η ελεύθερη βούληση ορίζεται, όπως υποστηρίζω, και ως η δυνατότητα που έχει κάθε άτομο να επανεξετάζει συνειδητά κάθε πράξη του. Υπό αυτό το πρίσμα, εφόσον η επανεξέταση μιας πράξης αναγκαστικά έπεται της ασυνείδητης προετοιμασίας της, η ανάκληση ή μη της πράξης είναι μια συνειδητή διεργασία που αποβιολογικοποιεί την πράξη και την καθιστά αιτιακά κοινωνική. Επιπροσθέτως, οι πράξεις των ατόμων ουδέποτε λαμβάνονται σε κοινωνικό κενό. Επομένως, είμαστε προϊόντα μιας συνεχούς σχέσης μεταξύ του «κοινωνικού» και του «βιολογικού», χάρη στην οποία εξελίχθηκε το είδος μας, γράφτηκε η ιστορία και αναπτυχθήκαμε ως άτομα. Αυτή η κεντρική ιδιότητα της ζωής που εκδηλώνεται ως ικανότητα και αναγκαιότητα να δομείται, να διατηρείται και να συντηρείται αφ' εαυτής, διαδικασία γνωστή ως αυτοποίηση, είναι ο λόγος που εμείς, ως έμβια αλλά κυρίως ως κοινωνικά όντα, είμαστε φύσει ελεύθεροι, υπό την έννοια της ελευθερίας ως γνώσης της αναγκαιότητας και της δυνατότητας για άρνησή της στο πλαίσιο της βιολογικής αναγκαιότητας⁵⁰.

Συμπεράσματα

- Η ζωή είναι μια μη ντετερμινιστική δυνατότητα της ύλης με ημερομηνία λήξης ως είδη οργανισμών και ως ζωή καθ' αυτή και πηγάζει από τους ντετερμινιστικούς νόμους της φύσης. Η ζωή αλλάζει το περιβάλλον και μεταλλάσσεται από αυτό αντλώντας ενέργεια (άμεσα και έμμεσα από τον Ήλιο) για να διατηρηθεί και να πολλαπλασιαστεί. Σταθεροποιείται ως οργανισμός μέσω της δημιουργίας εύπλαστων βιοχημικών μεταβολικών δικτύων, ενώ στο επίπεδο του εύπλαστου ανθρώπινου εγκεφάλου αποκτά γνώση εαυτού και της ύλης (σύμπαν).
- Η ερμηνεία της φύσης του ανθρώπου και της ζωής γενικότερα επηρεάζεται σε σημείο που να εξυπηρετεί το εκάστοτε οικονομικοπολιτικό πλαίσιο εντός του οποίου αναπτύσσονται οι φιλοσοφικές προσεγγίσεις της, με πιο πρόσφατο τον

βιολογικό ντετερμινισμό της κοινωνιοβιολογίας που υποστηρίζει ότι οι ιεραρχικές κοινωνίες είναι σύμφυτες με μια γενετικά προκαθορισμένη ανθρωπινή φύση.

- Ο ντετερμινισμός εξ ορισμού αφορά σε μια σταθερή, εσαεί επαναλαμβανόμενη κατάσταση. Υπό αυτή την έννοια, βιολογικός ντετερμινισμός δεν υπάρχει διότι το γενετικό υλικό όλων των οργανισμών μεταβάλλεται σε βάθος χρόνου. Ο βιολογικός ντετερμινισμός στην ουσία είναι ένας βιολογικός εξελικτισμός στο επίπεδο του είδους του οργανισμού διότι είναι αυτός που εξασφαλίζει εξελικτικά τη διαφορετικότητα μεταξύ των οργανισμών. Ωστόσο οι οργανισμοί δεν είναι βιολογικά και γενετικά αιώνιοι διότι μεταλλάσσονται, αλλάζουν. Οι γενετικές μεταλλάξεις δημιουργούν νέους οργανισμούς που επιβιώνουν μόνο όταν επιτυγχάνουν ομοιοστασία δηλαδή σταθερό εσωτερικό μεταβολικό ταίριασμα με το εξωτερικό περιβάλλον. Επομένως, ο γενετικός ντετερμινισμός είναι ασαφής, διαρκώς μεταβαλλόμενος και με ημερομηνία λήξης για κάθε είδος οργανισμού.
- Το DNA μας μάς κάνει να διαφέρουμε από άλλα είδη οργανισμών αλλά ουσιαστικά όχι μεταξύ μας ως οργανικές οντότητες διότι το σύνολο των γονιδίων και γενικότερα των χημικών μορίων από τα οποία είμαστε κατασκευασμένοι είναι δομικά και λειτουργικά διαρκώς μεταβαλλόμενα από επιγενετικούς παράγοντες και από το περιβάλλον και ως εκ τούτου δεν προσδίδουν στα άτομα κάποια ιδιαίτερη βιολογική μοναδικότητα.
- Τα γονίδια απέχουν πολύ από το να παραμένουν απάρεσκα απομονωμένα στον πυρήνα του κυττάρου και να εκδίδουν αυτοκρατορικά διατάγματα στα οποία οφείλει να υπακούει το κύτταρο και ο υπόλοιπος οργανισμός. Είναι μερικώς καθορισμένες, κατακερματισμένες, ρευστές χημικές οντότητες, με μια δυναμική σχέση συνεχούς ανταλλαγής με και προς το ενδοκυτταρικό και το εξωκυτταρικό περιβάλλον τους. Ακόμα και η δομή στο χώρο που αποκτούν τα προϊόντα των γονιδίων, οι πρωτεΐνες, εξαρτάται απόλυτα από το περιβάλλον, προκειμένου αυτές να γίνουν λειτουργικές.
- Το DNA των ανθρώπων περιέχει λειτουργικώς τα ίδια γονίδια, και οι όποιες μικροδιαφορές στη δομή τους δεν τα ταξινομούν σε φυσιολογικά ή ανώμαλα διότι η ύπαρξή τους ως μεμονωμένες μονάδες γενετικής πληροφορίας δεν είναι πάντα αναγκαία για την ομαλή λειτουργία του οργανισμού λόγω των εναλλακτικών οδών που διαθέτει ο μεταβολισμός του.
- Το DNA και τα γονίδια δεν μας προσδίδουν ατομικότητα διότι αποτελούν τυχαία εξελικτική παραλλαγή του ιστορικού κοινωνικού DNA της ανθρωπότητας, καθότι όλοι μας (και όσοι θα έλθουν ύστερα από εμάς) έχουμε κοινή γενετική προέλευση.
- Όταν οι κοινωνιοβιολόγοι αμβλύνουν την ιδεολογία τους ισχυριζόμενοι με ευ-

κολία ότι η ανάπτυξη ενός οργανισμού είναι «προϊόν αλληλεπίδρασης των γονιδίων και του περιβάλλοντος», κάνουν σκοπίμως ασαφή χρήση των όρων «γονίδιο» και «περιβάλλον». Και το κάνουν προκειμένου να απενοχοποιήσουν τον βιολογικό ντετερμινισμό με τη λογική του μέσου όρου, κατ' αναλογία του «πολιτικά ορθού» κέντρου που υιοθετεί η σοσιαλδημοκρατία και ο νεοφιλελευθερισμός προκειμένου να απενοχοποιήσουν τον καπιταλισμό.

- Η κεντρική ιδιότητα της ζωής είναι η αναγκαιότητα να *είναι* (να υφίσταται), δηλαδή να εκδηλώνεται ως συγκεκριμένο είδος οργανισμού (λόγω του διακριτού συνόλου των γονιδίων του), και ταυτόχρονα να *γίνεται*, δηλαδή να συναλλάσσεται με τους ομοειδείς του οργανισμούς και το περιβάλλον. Εξάλλου, διαφορετικές από τις σημερινές οικονομικές δομές και κοινωνικές σχέσεις θα δημιουργούνταν μεταξύ των ανθρώπων αν το ανθρώπινο είδος π.χ. διέθετε πυκνό τρίχωμα, ήταν μικρόσωμο ή μεγαλόσωμο, είχε μικρότερη ή μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τον σημερινό μέσο όρο, οι γυναίκες τεκνοποιούσαν ταυτόχρονα πολλά παιδιά.
- Ο άνθρωπος οικοδομεί τον εαυτό του μέσω της διαλεκτικής σχέσης της βιολογικής του πλαστικότητας με το περιβάλλον. Αυτή η ιδιότητα υπερβαίνει τις χονδροειδείς διχοτομήσεις μεταξύ «φύσης» και «ανατροφής», κληρονομικότητας και περιβάλλοντος, ντετερμινισμού και ελευθερίας. Ο άνθρωπος είναι προϊόν μιας συνεχούς σχέσης μεταξύ του «κοινωνικού» και του «βιολογικού», χάρη στην οποία εξελίχθηκε το είδος μας, παρήγαγε κοινωνία, ιστορία, πολιτισμό, επιστήμες, τέχνες. Αυτή η κεντρική αυτοποιητική ιδιότητα της ζωής που εκδηλώνεται ως ικανότητα και αναγκαιότητα να δομείται, να διατηρείται και να συντηρείται αφ' εαυτής είναι ο λόγος που εμείς ως έμβια αλλά κυρίως ως κοινωνικά όντα είμαστε φύσει ελεύθεροι να οικοδομήσουμε κοινωνίες ισότητας στο πλαίσιο της βιολογικής αναγκαιότητας.

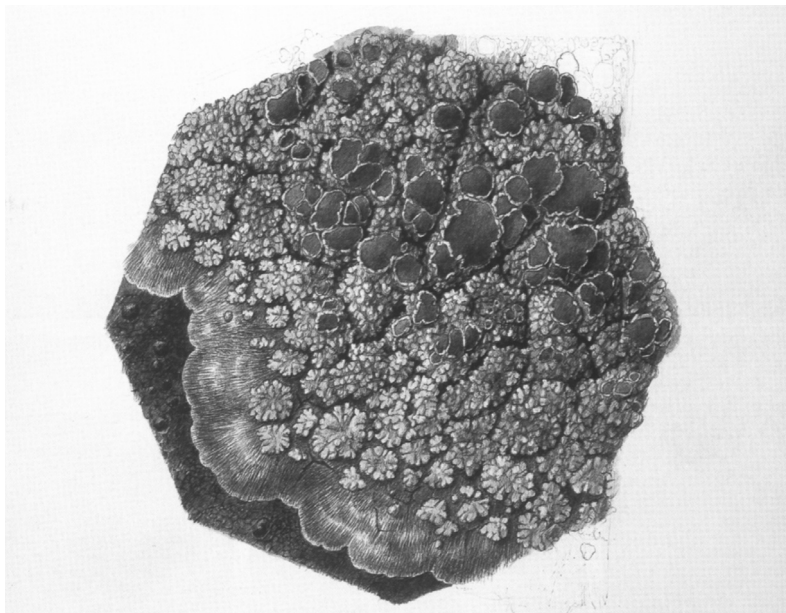
Σημειώσεις

1. Αριστοτέλης. *Ηθικά Νικομάχεια* I, §2 (αγγλική μετάφραση: W.D. Ross, <http://classics.mit.edu/Aristotle/nicomachaen.1.i.html>).
2. Wilson, O. E. *Κοινωνιοβιολογία: Η νέα σύνθεση*, Σύνταγμα, 2000.
3. Dawkins, R. *Το εγωιστικό γονίδιο*, Κάτοπτρο, 2008.
4. Lewontin, R. Η βιολογία ως ιδεολογία - Το δόγμα του DNA, Σύνταγμα, 2000.
5. Hirschleifer, J. Economics from a biological viewpoint, *Journal of Law and Economics* 20 (1977) 1-52.
6. Benhabib, J. *Cycles and Chaos in Economic Equilibrium*, Princeton University Press, 1992.
7. Kauffman, S. *At home in the universe: The search for the laws of self-organization and complexity*, Oxford University Press, 1996.

8. Rose, S. *Μονοπάτια της ζωής: Βιολογία, ελευθερία, ντετερμινισμός*, Κάτοπτρο, 2005.
9. Γεωργίου, Χ. “Εξελεγκτική ψυχολογία: Η σύγχρονη μορφή της κοινωνιοβιολογίας”, *Ουτοπία* 69 (2006) 75-90.
10. Rose 2005, ό.π.
11. “Humans have ten times more bacteria than human cells: How do microbial communities affect human health?” *Science Daily*, 05/06/2008.
12. Keenan, J./Falk, D./Gallup, G. G. *Face in the mirror: The search for the origins of consciousness*, Harper-Collins Publishers, 2003.
13. Rose 2005, ό.π.
14. Rose 2005, ό.π.
15. Rose 2005, ό.π.
16. Αριστοτέλης. *Πολιτικά III*, κεφ. XI (αγγλ. μεταφ. B. Jowett, MIT Media Lab: <http://classics.mit.edu/Aristotle/politics.html>). Αυτή η θέση του Αριστοτέλη αναφερόταν μάλλον στο σύνολο των ελεύθερων πολιτών (στους οποίους συγκαταλέγονταν και η ελίτ των κρείττωνων) και δη των ανδρών, καθότι στην ιεραρχική κοινωνία του τις διανοητικές ικανότητες (το «βουλευτικόν»), το βασικό αριστοτελικό κριτήριο της κοινωνικής ταξινόμησης των πολιτών, το διέθεταν μόνο οι ελεύθεροι άνδρες. Μόνο ο ελεύθερος άνδρας διαθέτει την ικανότητα να καταστρώνει σχέδια με τη διάνοια του –κατέχει «βουλευτικόν»– και γι’ αυτό είναι φύσει άρχων και εξουσιάζων. Η ελεύθερη γυναίκα κατέχει «βουλευτικόν» «αλλά άτονο», το δε παιδί «το έχει μεν κι αυτό, αλλά ατελές». Ο δούλος «στερείται παντελώς βουλευτικού» αλλά συμμετέχει στη λογική μόνο στο μέτρο που μπορεί να την αντιληφθεί. Τέλος, τα ζώα υπακούουν μόνο σε εντυπώσεις (Αριστοτέλης, *On Politics*, I-2, 4, I-13, 12, και Garlan, Y. *Les Esclaves en Grèce Ancienne*, Librairie François Maspero, Paris, 1982).
17. Comparative Toxicogenomics Database: <http://ctd.mdibl.org/detail.go?jsessionid=43EBE05FC768D27D2E4E141C0D6203EF?type=go&acc=50896#tree0003673.0008150.0007582.0050896>
18. Edelman, G. M./Gally, J. A. “Somatic recombination of duplicated genes: A hypothesis on the origin of antibody diversity”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 57 (1967) 353-358. Gally, J. A./Edelman, G. M. “Somatic translocation of antibody genes”, *Nature* 227 (1970) 341.
19. Xue, Y. *et al.* “Human Y chromosome base-substitution mutation rate measured by Direct Sequencing in a deep-rooting pedigree”, *Current Biology* 19 (2009) 1453-1457.
20. «Ο κρυφός κώδικας του DNA», *Focus*, 19-09-2007.
21. Morgan, H. D./Sutherland, H. G. E./Martin, D. I. K./Whitelaw, E. “Epigenetic inheritance at the agouti locus in the mouse”, *Nature Genetics* 23 (1999) 314-318.
22. Weaver, G. C. I. *et al.* “Reversal of maternal programming of stress responses in adult offspring through methyl supplementation: Altering epigenetic marking later in life”, *Journal of Neuroscience* 25 (2005) 11045-11054.
23. Rowan, A. “Neurogenetics: Undoing epigenetics”, *Nature Reviews Genetics* 7 (2006) 4-5.
24. Tienari, P. *et al.* “Genotype-environment interaction in schizophrenia-spectrum disorder: Long-term follow-up study of Finnish adoptees”, *British Journal of Psychiatry* 184 (2004) 216-222. Tienari, P./Wahlberg, K.-E./Wynne, L. C. “Finnish adoption study of schizophrenia: Implications for family interventions”, *Families, Systems and Health* 24 (2006) 442-451.
25. Dawkins, 2008 ό.π.
26. Κωστόπουλος, Γ. «Ποιες λειτουργίες του εγκεφάλου μας επιτρέπουν να συμπεριφερόμαστε ως άνθρωποι;» *Το φαινόμενο της ζωής*, Επιστήμης Κοινωνία, Ειδικές Μορφωτικές Εκδηλώσεις, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, 2006, 51-86.
27. Changeux, J.-P. *Ο νευρωνικός άνθρωπος: Πώς λειτουργεί ο ανθρώπινος εγκέφαλος*; Εκδόσεις Ράππα, 1986. Macagno, E. R./ Lopresti, V./Levinthal, C. “Structure and development of neuronal connections in isogenic organisms: Variations and similarities in the optic system of *Daphnia magna*”, *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 70 (1973) 57-61.

28. Kempermann, G./Kuhn, H.G./Gage, F.H. «More hippocampal neuron in adult mice living in an enriched environment», *Nature* 386 (1997) 493-95.
29. Rowan, 2008, ό.π.
30. http://en.wikipedia.org/wiki/Carl_and_Clarence_Aguirre
31. Changeux, 1986 ό.π. Changeux, J. P./Danchin, A. “Selective stabilisation of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks”, *Nature* 264 (1976) 705-712. Changeux, J. P./Dehaene, S. “Neuronal models of cognitive functions”, *Cognition* 33 (1989) 63-109. Edelman, G. *Neural Darwinism*, Basic Books, New York 1987.
32. Quartz, S. R./Seinowski, T. J. “The neural basis of cognitive development: a constructive manifesto”, *Behavioral Brain Science* 20 (1997) 537-556.
33. Neville, H. J. “Intermodal competition and compensation in development. Evidence from studies of the visual system in congenitally deaf adults”, *Annals of NY Academy of Science* 608 (1990) 71-87. Neville, H. J./Lawson, D. “Attention to central and peripheral visual space in a movement detection task. II. Congenitally deaf adults”, *Brain Research* 405 (1987) 268-283.
34. Greenough, W./Black, J. “Induction of brain structure by experience: Substrate for cognitive development” στο Gunnar, M. R./Nelson, C. A. (επιμ.) *Developmental Behavioral Neuroscience. Minnesota Symposia on Child Psychology* 24, Lawrence Erlbaum Hillsdale, NJ 1992, 155-200.
35. Βαζιούλιν, Α. Β. *Η λογική της ιστορίας. Ζητήματα θεωρίας και μεθοδολογίας*, Ελληνικά Γράμματα, 2004.
36. Raptis, I. “Glafta–2004. ‘Iconoclasm’: The Soul and Spirit of the Meeting”, *International Journal of Theoretical Physics* 45 (2006) 1383-1389.
37. Howe, M. J. A./Davidson, J. W./Sloboda, J. A. “Innate talents: Reality or myth?”, *Behavioral and Brain Sciences* 21 (1998) 399-442.
38. Μπιτσάκης, Ε. *Το αειθαλές δένδρο της γνώσεως*, Στάχυ, 1995.
39. Kandel, E. R./Spencer, W. A. “Cellular neurophysiological approaches to the study of learning” *Physiological Review* 48 (1968) 65-134. Kandel, E. R. *Cellular basis of behavior*, W. H. Freeman, San Francisco 1976. Nelson, C. A. “The ontogeny of human memory. A cognitive neuroscience perspective”, *Developmental Psychology* 31 (1995) 723-735. Nelson, C. A. “The neurobiological basis of early memory development” στο Cowan, N. (επιμ.) *The development of memory in children*, Psychology Press, Hove 1997, 41-82. Nelson, C. A. “Neural plasticity and human development. The role of early experience in sculpting memory systems” *Developmental Science* 3 (2000) 115-130.
40. Κωστόπουλος, 2006 ό.π.
41. Edelman, G. *Bright air, brilliant fire. On the matter of the mind*, Penguin Books, 1994.
42. Κωστόπουλος, 2006 ό.π.
43. Kostopoulos, G. K. “Involvement of the thalamocortical system in epileptic loss of consciousness”, *Epilepsia* 42 (2001) 13-19. Curchland, P. S. *Brain-wise: studies in neurophylosophy*, MIT Press, 2002. Curchland, P. S. “Self-representation in nervous systems”, *Science* 296 (2002) 308-310. Llinas, R./Ribary, U./Contreras, D./Pedroarena, C. “The neuronal basis of consciousness”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B* (1998) 353, 1841-1849. Singer, W. “Consciousness and the binding problem”, *Annals of the NY Academy of Science* 929 (2001) 123-146.
44. Damasio, A. R. *The feeling of what happens*, Harcourt, Brace, New York 1999. LeDoux, J. *Synaptic self: How our brains become who we are*, Viking, New York 2002.
45. Freeman, W. J. *Societies of brains. A study of the neuroscience of love and hate*, LEA, Hove, UK 1995.
46. Zeki, S. *Εσωτερική όραση. Μια εξερεύνηση της τέχνης και του εγκεφάλου*, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 2002.

47. Cahill, L. "His brain, her brain", *Scientific American* (Μάιος 2005). Kimura, D. "Sex differences in the brain", *Scientific American* 280 (2002) 32-37.
48. Barkow, J./Cosmides, L./Tooby, J. *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*, Oxford University Press, 1992.
49. Wegner, D. M. "The mind's best trick: how we experience conscious will", *Trends in Cognitive Sciences* (Φεβρουάριος 2003).
50. Μπιτσάκης, Ε. *Γονίδια του μέλλοντος*, Προσκήνιο, 2001.



Συμβίωση των προκαριωτικών οργανισμών.
Ακουαρέλα της Claire Dalbgs, 1980.