



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΣΠΑ  
2007-2013  
*Πρόγραμμα για την ανάπτυξη*  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗΣ  
«ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΓΝΩΣΕΩΝ ΑΠΟΦΟΙΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ  
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΑΝΑΠΗΡΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΗΛΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΗ ΖΩΗ.» της  
πράξης «ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΑΤΟΜΩΝ ΜΕ  
ΑΝΑΠΗΡΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΗΛΙΚΗ ΚΑΙ ΕΝΗΛΙΚΗ ΖΩΗ »

**Δράση Δ2: Προετοιμασία – Παραγωγή Εκπαιδευτικού υλικού**

**Π.2.1: Εκπαιδευτικό υλικό**

**Διδάσκων: Λάζαρος Τριάρχου, Καθηγητής**

Θεματική ενότητα: Δια βίου μάθηση και εγκεφαλική ευπλαστότητα

Θεσσαλονίκη, 2015



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
*επένδυση στην κοινωνία της γνώσης*

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΕΣΠΑ  
2007-2013  
*Πρόγραμμα για την ανάπτυξη*  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

ΛΑΖΑΡΟΣ ΤΡΙΑΡΧΟΥ  
Καθηγητής Νευροεπιστημών Πανεπιστημίου Μακεδονίας

Σημειώσεις Νευροεπιστημών  
(ΠΕΓΑ)

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

Copyright © 2015 Λ.Κ. Τριάρχου. All rights reserved. Τα πνευματικά δικαιώματα καθορίζονται από τις ισχύουσες Διεθνείς Συνθήκες περί copyright και τις διατάξεις του Ποινικού Κώδικα. Απαγορεύεται οιαδήποτε χρήση, αναπαραγωγή, αποθήκευση, μετάδοση ή διάθεση του υλικού, συνολικά ή εν μέρει, με οποιονδήποτε μηχανικό, φωτοτυπικό, ηλεκτρονικό, υπαγορευτικό, μικροφιλμογραφικό ή άλλο τρόπο, χωρίς τη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

## Υφή, γένεση και διατήρηση του εγκεφαλικού ιστού

Το ανθρώπινο σώμα αποτελείται από περίπου 10 τρισεκατομμύρια κύτταρα, τα οποία ανήκουν σε τουλάχιστον 200 διαφορετικούς τύπους, π.χ. νευρικά, μυικά, αδενικά και λοιπά, τα οποία οργανώνονται σε οκτώ συστήματα. Ένα από αυτά είναι το νευρικό σύστημα, στο οποίο υπάγεται και ο εγκέφαλος. Από τα 10 τρισεκατομμύρια κύτταρα του σώματος, το 1 τρισεκατομμύριο βρίσκεται στον εγκέφαλο. Και από αυτά, το ένα δέκατο, δηλαδή 100 δισεκατομμύρια, είναι τα «νευρικά κύτταρα» ή «νευρώνες». Τα υπόλοιπα δισεκατομμύρια κύτταρα του εγκεφάλου υπάγονται σε άλλες κατηγορίες, όπως νευρογλοία, ενδοθήλιο, κύτταρα μεσεγχυματικής προέλευσης και λοιπά.

Κάθε σύστημα με τα όργανά του έχει και μια λειτουργική αποστολή: η καρδιά παράγει μηχανικό έργο, οι ενδοκρινείς αδένες παράγουν ορμόνες, ο μυελός των οστών παράγει αίμα. Ο εγκέφαλος παράγει το νου. Επομένως, η Νευροβιολογία μελετά το νου κάτω από το μικροσκόπιο. Ένα από τα μεγαλύτερα ερωτήματα των Νευροεπιστημών είναι η σχέση εγκεφάλου, νου και ψυχής. Μία προσωπικότητα του Διαφωτισμού, ο Γάλλος γιατρός Pierre Jean Georges Cabanis (1757-1808) είχε γράψει, «*Ο εγκέφαλος εκκρίνει σκέψη όπως το ήπαρ εκκρίνει χολή*». Μία παρόμοια παραλλαγή αποδίδεται στον Ολλανδό φυσιολόγο Jakob Moleschott (1822-1893) ότι «*Ο εγκέφαλος εκκρίνει σκέψη όπως ο νεφρός εκκρίνει ούρα*».

Στην εισαγωγή αυτή γίνεται μία σύντομη αναδρομή σε στοιχεία Βασικής Νευροβιολογίας από το υποκυτταρικό μέχρι το συστηματικό επίπεδο και αναπτύσσονται βασικές αρχές γένεσης, διατήρησης και μεταβλητότητας του εγκεφαλικού ιστού, ιδιαίτερα σε αναφορά με τις νοητικές και γλωσσικές λειτουργίες. Θεωρίες για την ανάπτυξη των γλωσσικών ικανοτήτων μπορούν να αποκομίσουν ανεκτίμητα οφέλη από την πειραματική γνώση της δομής και ανάπτυξης του κεντρικού νευρικού συστήματος και από τις υποθέσεις των βιολογικών επιστημών.

Σε γενικές γραμμές, η συμπεριφορά περιλαμβάνει τρία σκέλη, κιναισθηση, συγκίνηση και νόηση. Λειτουργικά, τα νευρικά κύτταρα είναι οργανωμένα σε νευρωνικά συστήματα, τα οποία παρέχουν το δομικό υπόβαθρο των διαφόρων συμπεριφορικών εκδηλώσεων. Στον εγκέφαλο υπάρχει σαφής κατάτμηση φυσιολογικών λειτουργιών σε συγκεκριμένα νευροανατομικά συστήματα. Για παράδειγμα, ο συντονισμός των κινητικών λειτουργιών επιτελείται κυρίως στα βασικά γάγγλια και την παρεγκεφαλίδα, ενώ στις λειτουργίες αίσθησης συμμετέχει ο θάλαμος. Στις συναισθηματικές λειτουργίες συμμετέχει το λεγόμενο μαιχμακό σύστημα. Ανώτερες νοητικές λειτουργίες, όπως η σκέψη, η κρίση και οι

αποφάσεις, επιτελούνται στον εγκεφαλικό φλοιό, ενώ κέντρα μάθησης και μνήμης βρίσκονται στον ιππόκαμπο. Η συντονισμένη νευροφυσιολογική και βιοχημική λειτουργία όλων των επιμέρους δομών του νευρικού συστήματος οδηγεί σε αυτό που ονομάζουμε ολοκληρωμένη συμπεριφορά. Κάθε όψη του νοητικού, ψυχικού και πνευματικού βίου έχει και το αντίστοιχο οργανικό υπόβαθρο σε μία ή περισσότερες δομές του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Από κυβερνητική σκοπιά η συμπεριφορά ανάγεται ( $\alpha$ ) στην πρόσληψη πληροφοριών από το περιβάλλον με τα αισθητήρια όργανα, ( $\beta$ ) την επεξεργασία τους από τα εγκεφαλικά κέντρα και ( $\gamma$ ) την εξωτερική συμπεριφορά των εκφράσεων μέσω του κινητικού σκέλους του νευρομυϊκού συστήματος. Στο ίδιο σχέδιο εμπίπτει και η επιμέρους λειτουργία της γλωσσικής αναπαράστασης, η οποία περιλαμβάνει την πρόσληψη των λέξεων με ακοή και ανάγνωση και την έκφρασή τους με ομιλία και γραφή. Επομένως: ( $\alpha$ ) παρακολουθούμε με την ακουστική οδό και διαβάζουμε με την οπτική, ( $\beta$ ) επεξεργαζόμαστε τις γλωσσικές πληροφορίες στα ανώτερα κέντρα του εγκεφαλικού φλοιού και ( $\gamma$ ) μιλούμε και γράφουμε με νευρομυϊκή σύσπαση.

### **Μακροσκοπική δομή του εγκεφάλου**

Εξωτερικά διακρίνουμε στον εγκέφαλο δύο ημισφαίρια, τα οποία περιλαμβάνουν τέσσερις λοβούς, τον μετωπιαίο, τον βρεγματικό, τον κροταφικό και τον ινιακό. Στο εσωτερικό μέρος των ημισφαιρίων βρίσκεται το μεταιχμιακό σύστημα (στο οποίο υπάγεται και ο ιππόκαμπος). Κάτω από τα ημισφαίρια βρίσκεται το εγκεφαλικό στέλεχος και πίσω τους η παρεγκεφαλίδα. Τη ραχιαία συνέχιση του εγκεφάλου αποτελεί ο νωτιαίος μυελός.

Μακροσκοπικά, ο εγκέφαλος απαρτίζεται από τη φαιά ουσία και τη λευκή ουσία. Στη *φαιά ουσία* βρίσκονται οι νευρώνες ή νευρικά κύτταρα, ενώ στη *λευκή ουσία* απαντώνται οι αποφυάδες στους και κύτταρα μη νευρωνικού χαρακτήρα. Οι νευρώνες είναι εντοπισμένοι σε δύο ειδών περιοχές: ένα εξωτερικό επιφανειακό περίβλημα, τον εγκεφαλικό φλοιό, και διάφορα κυτταρικά συνοθηλεύματα στο βάθος του εγκεφαλικού παρεγχύματος, τους λεγόμενους εγκεφαλικούς πυρήνες.

Στο οπτικό μικροσκόπιο διακρίνεται η κυτταροαρχιτεκτονική του φλοιού σε έξι στιβάδες. Άλλα συστήματα, όπως ο παρεγκεφαλιδικός φλοιός, έχουν απλούστερη δομή σε τρεις στιβάδες. Ωστόσο, πολλές βασικές αρχές ανάπτυξης και διατήρησης νευρωνικών κυκλωμάτων είναι κοινές και η μελέτη απλών συστημάτων ενέχει πολύτιμα πρότυπα.

## Μικροσκοπική υφή του εγκεφάλου

Βασική δομική μονάδα του εγκεφάλου είναι ο *νευρώνας* ή *νευρικό κύτταρο*, ο οποίος αποτελείται από το σώμα, τους δενδρίτες και το νευράξονα. Ο *δενδριτικός πόλος* δέχεται ερεθίσματα από το προηγούμενο κύτταρο, ενώ ο *αξονικός πόλος* μεταβιβάζει ερεθίσματα στο επόμενο κύτταρο. Οι δενδρίτες διακλαδίζονται σε πρωτοταγείς, δευτεροταγείς και τριτοταγείς. Στους δενδρίτες βρίσκονται και οι δενδριτικές άκανθοι, οι οποίες αυξάνουν τη λειτουργική επιφάνεια.

Πατέρας της σύγχρονης Νευροεπιστήμης θεωρείται ο Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), Καθηγητής του Πανεπιστημίου της Μαδρίτης στην καμπή του αιώνα. Το συγγραφικό του έργο είναι μνημειώδες. Η κυρία συμβολή του είναι η διατύπωση του *νευρωνικού δόγματος*, το οποίο υποστηρίζει ότι δομική και λειτουργική μονάδα του νευρικού συστήματος είναι ο νευρώνας. Στο 19<sup>ο</sup> αιώνα υπήρχε και η αντίθετη άποψη, ότι δηλ. το κυτταρόπλασμα όλων των νευρικών κυττάρων είναι συνεχόμενο και πως οι νευρώνες επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς φυσικό διαχωρισμό, άποψη που είχε προωθηθεί κυρίως από τον Camillo Golgi (1843-1926). Ο Cajal με τις ιστολογικές του μελέτες θεμελίωσε το νευρωνικό δόγμα και απέδειξε ότι οι νευρώνες αποτελούν ανεξάρτητα κύτταρα. Στο μεταξύ, το νευρωνικό δόγμα ενισχύθηκε σημαντικά και από τις μελέτες των W. His, A.H. Forel, S. Freud, F. Nansen, H.W.G. Waldeyer κ.ά. (Shepherd 1991, Triarhou & del Cerro 1985). Για τις επιστημονικές συμβολές τους οι Cajal και Golgi τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel το 1906 (Ramón y Cajal 1967).

Μία από τις βασικότερες έννοιες της Νευροβιολογίας είναι ο «νόμος της δυναμικής πόλωσης». Με άλλα λόγια, οι νευρώνες έχουν δύο πόλους, το δενδριτικό πόλο, που δέχεται τα σήματα, και τον αξονικό πόλο, που στέλνει τα σήματα. Οι νευρώνες έρχονται σε διάφορα σχήματα και μορφές, που συνήθως σχετίζονται με το λειτουργικό τους ρόλο σε κάθε τοπικό νευρωνικό κύκλωμα (Εικ. 4). Με άλλα λόγια, η μορφή των νευρώνων υπαγορεύεται από τη λειτουργική τους αποστολή. Οι δενδριτικοί κλάδοι παρέχουν ένα εκτεταμένο δεκτικό πεδίο το οποίο έχει ως φυσιολογική αποστολή την αύξηση της ουσιαστικής επιφάνειας σε έκπτυξη.

Κάθε νευρικό κύτταρο έχει μια βιοχημική ταυτότητα με βάση το νευροδιαβιβαστή που βιοσυνθέτει και χρησιμοποιεί για να επικοινωνεί με γειτνιάζοντα νευρικά κύτταρα. Οι *νευροδιαβιβαστές* είναι χημικές ουσίες όπως μονοαμίνες, αμινοξέα, παράγωγα της χολίνης, ρυθμιστικά πεπτίδια κ.τ.λ. (Εικ. 5 και Πίνακας 2).

Πώς γίνεται η αγωγή των σημάτων στον νευρώνα. Από τις δύο πλευρές της κυτταρικής μεμβάνης των νευρώνων ξεχωρίζουμε τον εξωκυττάριο και τον ενδοκυττάριο χώρο (Εικ. 6). Η σύσταση του εξωκυτταρίου υγρού είναι υψηλή σε ιόντα νατρίου και χλωρίου. Το *δυναμικό δράσης* είναι ο κοινός μηχανισμός μεταφοράς σημάτων σε οποιοδήποτε έμβιο ον διαθέτει νευρικά κύτταρα (Εικ. 7). Η εξασφάλιση της ισορροπίας των ιόντων νατρίου, καλίου και χλωρίου από τις δύο πλευρές της κυτταρικής μεμβράνης είναι μια ενεργητική διαδικασία που επιτελείται με κόστος ενέργειας. Στην ηρεμία, το άθροισμα όλων των ηλεκτρικών δυναμικών, όπως αυτά υπολογίζονται από την εξίσωση Nernst:

$$E_K = (RT/zF) \ln([K^+]_o/[K^+]_i)$$

και την εξίσωση Goldman-Hodgkin-Katz:

$$V_m = (RT/F) \ln\{(P_K[K^+]_o + P_{Na}[Na^+]_o + P_{Cl}[Cl^-]_i) / (P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_o)\}$$

διατηρεί το εσωτερικό της μεμβράνης κατά 70mV *αρνητικότερο* του εξωτερικού. Με την έλευση ενός σήματος και τη διέγερση του νευρώνα, αλλάζουν οι διαπερατότητες στα ιόντα αυτά, και το εσωτερικό γίνεται κατά 30 mV *θετικότερο* του εξωτερικού (παροδική *εκπόλωση*), για 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου, και έτσι ταξιδεύουν τα μηνύματα κατά μήκος του νευράξονα, με την ταχύτητα αγωγής που μπορεί να φθάσει τα 432 km/h.

Το άλλο σκέλος του νευρώνα είναι οι νευράξονες, που καταλήγουν στις λεγόμενες *τελικές απολήξεις*. Στο εσωτερικό του κυττάρου υπάρχουν διάφορα υποκυτταρικά οργανίδια που «ταξιδεύουν» με τη λειτουργία της *αξονοπλασματικής μεταφοράς* (*axoplasmic transport*) και έχουν να κάνουν με μεταβολικές και δομικές λειτουργίες. Ο συντονισμός του ρυθμού της ενδοκυτταρικής κυκλοφορίας είναι εναρμονισμένος προς τις δύο κατευθύνσεις σε βαθμό δέους, έτσι που αποφεύγεται η συσσώρευση οργανιδίων στον ένα πόλο του νευρώνα (Ochs 1982).

Οι τελικές απολήξεις και τα υπερμικροσκοπικά χαρακτηριστικά τους μελετούνται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σε μεγεθύνσεις 30.000-60.000x. Η *διαβίβαση* του νευρικού μηνύματος από κύτταρο σε κύτταρο γίνεται στις συνάψεις (Εικ. 8), οι οποίες μπορεί να είναι χημικές, ηλεκτροτονικές ή μεικτές. Τη νευροδιαβίβαση από ένα κύτταρο στο επόμενο ακολουθεί ηλεκτροχημική μετατροπή (Kuffler & Nicholls 1976). Οι νευροδιαβιβαστές είναι συσκευασμένοι στα συναπτικά κυστίδια και η έκλυσή τους γίνεται σε προκαθορισμένα μεγέθη (*quanta*).

Ο όρος *σύναψη* δόθηκε το 1897 από το Βρετανό νευροφυσιολόγο Sir Charles S. Sherrington (1857-1952) και αναφέρεται σε ανατομικά σημεία επαφής όπου γίνεται η

επικοινωνία των νευρώνων μεταξύ τους (Sherrington 1906). Ο κεντρομόλος νευρώνας συμβάλλει το προσυναπτικό άκρο και ο φυγόκεντρος το μετασυναπτικό. Στο μετασυναπτικό άκρο εντοπίζονται πρωτεϊνικά συμπλέγματα που ονομάζονται *υποδοχείς*. Εκεί δρουν οι νευροδιαβιβαστές που εκλύονται από το προσυναπτικό άκρο και με τον τρόπο αυτό μεταδίδεται το σήμα από το ένα κύτταρο στο επόμενο. Υποδοχείς υπάρχουν και στο προσυναπτικό άκρο («αυτούποδοχείς»), όπου ρυθμίζουν παλίνδρομα το ρυθμό έκλυσης νευροδιαβιβαστών. Οι συναπτικές δομές δεν είναι στατικές. Δημιουργούνται κατά την ανάπτυξη και στη συνέχεια διατηρούν την ικανότητα να μεταβάλλονται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής ανάλογα με εμπειρίες μάθησης και την καταγραφή μνημονικών στοιχείων.

Ο εγκέφαλος των θηλαστικών περιέχει γύρω στα 100 δισεκατομμύρια νευρώνες, οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους με τις συνάψεις. Κατά μέσο όρο κάθε νευρώνας συμμετέχει σε 10.000 συνάψεις, ενώ ο μέγιστος αριθμός συνάψεων ενός νευρώνα μπορεί να φθάσει τις 200.000. Επομένως, ο συνολικός αριθμός των συνάψεων στον εγκέφαλο υπολογίζεται στα 1000 τρισεκατομμύρια (Hubel 1979, Changeux 1983).

Σημαντικές πρόοδοι στην ανακάλυψη των νευροδιαβιβαστών στις Νευροεπιστήμες συνέβησαν στις δεκαετίες του 1960 και του 1970. Η βιοχημεία του συναπτικού κυστιδίου και της ροής των μοριακών γεγονότων στους μετασυναπτικούς υποδοχείς έχει εξιχνιαστεί σε τέτοιο βαθμό, που μπορούμε πλέον να πούμε πως η εγκεφαλική λειτουργία έχει μία ξεκάθαρη ηλεκτροχημική βάση, και ότι λύπη, θυμός, χαρά, δεν είναι παρά εκφράσεις της συντονισμένης δραστηριότητας νευρωνικών συναθροίσεων στον εγκεφαλικό ιστό, που σχετίζεται με την ολοκληρωμένη λειτουργία δισεκατομμυρίων νευρώνων στις 6 χαρακτηριστικές στιβάδες του φλοιού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων (Εικ. 9).

Λειτουργικά, τα νευρικά κύτταρα οργανώνονται σε *νευρωνικά κυκλώματα* (Εικ. 10, 11) τα οποία προσφέρουν και το δομικό υπόβαθρο των διαφόρων νευρολογικών λειτουργιών. Από συνδετική άποψη υπάρχουν δύο κατηγορίες νευρώνων, οι *διάμεσοι*, που εντοπίζονται μέσα σε μια ανατομική περιοχή χωρίς να προβάλλουν έξω από αυτήν, και οι *προβλητικοί*, που συνδέουν δύο διαφορετικές ανατομικές περιοχές. Πολλές φορές από τον κυρίως νευράξονα εκφύονται παράπλευροι νευράξονες. Η ποικιλία των νευροδιαβιβαστικών χημικών μορίων είναι μεγάλη και οι συνάψεις μπορούν να έχουν διεγερτικό, ανασταλτικό ή ρυθμιστικό χαρακτήρα. Είναι δυνατό στον ίδιο νευρώνα να συνυπάρχουν πλέον της μιας νευροδιαβιβαστικής ουσίας (Hökfelt et al. 1984). Στο σύνολό του ο εγκέφαλος λειτουργεί ως μια ηλεκτροχημική μονάδα, αλλά οι δυνατότητες λειτουργικής παραλλαγής είναι αστρονομικές.



Πέρα από τους νευρώνες, στον εγκέφαλο απαντούμε και κύτταρα μη νευρωνικού χαρακτήρα (Peters et al. 1991).

Μία σημαντική κατηγορία κυττάρων του εγκεφάλου, πέρα από τους νευρώνες, είναι τα *αστροκύτταρα*, που σε αριθμό μπορεί να είναι μέχρι και δεκαπλάσια των νευρώνων. Τα αστροκύτταρα έχουν στηρικτικό και τροφικό ρόλο και συμμετέχουν στην απόκριση του νευρικού ιστού σε τραυματισμό. Ο κλασικός ρόλος των αστροκυττάρων, ή αλλιώς *αστρογλοίας*, είναι να διατηρούν ένα υγιές περιβάλλον για τους νευρώνες. Πειραματικά ευρήματα εδώ και κάποια χρόνια είχαν δείξει ότι τα αστροκύτταρα επικοινωνούν με τους νευρώνες. Τον περασμένο Νοέμβριο, στο ετήσιο συνέδριο της Εταιρείας Νευροεπιστημών, η Beth Stevens και ο Douglas Fields του Εθνικού Ινστιτούτου Υγείας του Παιδιού και Ανάπτυξης του Ανθρώπου των Ηνωμένων Πολιτειών, πρότειναν ότι τα αστροκύτταρα μπορούν και επικοινωνούν και μεταξύ τους, σε ένα ξεχωριστό και παράλληλο δίκτυο προς αυτό των νευρώνων, χρησιμοποιώντας χημικούς αγγελιαφόρους, που ασκούν τη δράση τους με τη μεσολάβηση ιόντων ασβεστίου, ενώ οι νευρώνες χρησιμοποιούν χημικούς νευροδιαβιβαστές. Μέσω αυτής της επικοινωνίας η αστρογλοία πιθανό να ρυθμίζει τη γένεση των συνάψεων, καθώς και γεγονότα ενδυνάμωσης ή αποδυνάμωσης νευρωνικών διασυνδέσεων στο χρόνο (στην ουσία δηλ. την κυτταρική βάση της μάθησης και της αποθήκευσης της μακροχρόνιας μνήμης). Αν αυτός ο ρόλος επιβεβαιωθεί, θα σήμαινε ότι πέρα από τους νευρώνες, και τα αστροκύτταρα επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό το πόσο καλά λειτουργεί ο εγκέφαλος.

Τα *ολιγοδενδροκύτταρα* συμβάλλουν στην ηλεκτρική μόνωση των νευραξόνων και την *αλματική αγωγή* των ηλεκτρικών δυναμικών. Τα κύτταρα αυτά έχουν ιδιόμορφες επίπεδες προεξοχές, οι οποίες τυλίγονται γύρω από τους νευράξονες των νευρικών κυττάρων, σχηματίζοντας το *έλυτρο της μυελίνης*, και έτσι παρέχουν ηλεκτρική μόνωση. Αφήνοντας γυμνή την επιφάνεια του νευράξονα μόνο στους ενδιάμεσους *κόμβους*, η ολιγοδενδρογλοία συμβάλλει στην *αλματική αγωγή* των ηλεκτρικών σημάτων από ένα κόμβο στον επόμενο, παρακάμπτοντας σημαντικές αποστάσεις, και σε τελική ανάλυση, η μόνωση αυτή της μυελίνης κάνει την ταχύτητα αγωγής περίπου 50 φορές ταχύτερη. Με άλλα λόγια, ένας εμμέλος άξονας διαμέτρου 10 μικρών θα έπρεπε να αποκτήσει διάμετρο 500 μικρών αν έχανε τη μυελίνη του, για να διατηρήσει την ίδια ταχύτητα αγωγής της νευρικής ώσης (1 μικρό είναι 1/1000 του χιλιοστομέτρου). Εκφύλιση της μυελίνης συμβαίνει στην πολλαπλή σκλήρυνση ή σκλήρυνση κατά πλάκας, μιάς από τις εκφυλιστικές παθήσεις του νευρικού συστήματος, όπου τα κλινικά συμπτώματα προκύπτουν από τη διατάραξη της αλματικής

αγωγής των νευρικών ώσεων.

Τα *ενδοθηλιακά κύτταρα* σχηματίζουν το τοίχωμα των τριχοειδών αγγείων και οι «στενές συνδέσεις» ανάμεσά τους καθιστούν τον *αιματοεγκεφαλικό φραγμό* σε μακρομόρια.

## Γενετικό υλικό

Η *κληρονομικότητα* περιλαμβάνει τη μεταβίβαση βιολογικών χαρακτηριστικών από γονείς προς απογόνους. Τέτοιου είδους χαρακτηριστικά είναι για παράδειγμα το εύρος του μεγέθους ενός οργανισμού, το χρώμα των ματιών, το σχήμα της προβοσκίδας κ.ά. Οι *μεταλλάξεις* είναι αυθόρμητες μεταβολές στις αλληλουχίες των βάσεων του DNA που έχουν ως αποτέλεσμα την τροποποίηση υπαρχόντων γονιδίων ή τη δημιουργία νέων γονιδίων. Οι περισσότερες μεταλλάξεις είναι επιβλαβείς. Λιγότερες είναι «ευεργετικές», με την έννοια της βελτίωσης των πιθανοτήτων επιβίωσης και αναπαραγωγής. Μεταλλάξεις που ελαττώνουν τη δυνατότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής κατά πάσα πιθανότητα δεν έχουν την ευκαιρία να μεταβιβαστούν και σε απογόνους· αντίθετα, μεταλλάξεις που υποβοηθούν την επιβίωση και αναπαραγωγή έχουν και αυξημένες πιθανότητες να μεταβιβαστούν σε απογόνους, οι οποίοι στη συνέχεια θα πολλαπλασιαστούν με τη σειρά τους, πράγμα που τελικά θα οδηγήσει βαθμιαία στην ενσωμάτωση των νέων γονιδίων στους οργανισμούς, ώστε μετά από πολλές γενιές, οι οργανισμοί να εμπεριέχουν αρκετά νέα γονίδια. Έτσι μπορεί να δημιουργηθεί και ένα νέο είδος.

Ο γενετικός κώδικας όλων των ζωντανών οργανισμών είναι κοινός. Το χημικό μόριο του DNA είναι αυτό που κληρονομεί όλα τα γενετικά χαρακτηριστικά ενός ζωντανού οργανισμού από τη μια γενιά στην επόμενη, και που ελέγχει την αύξηση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή. Εντοπίζεται στον πυρήνα του κυττάρου (Εικ. 12, 13), και δεν είναι τίποτε άλλο από ένα οργανικό μόριο, που αποτελείται από άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο, άζωτο και φώσφορο, σε μια ειδική αλληλουχία τεσσάρων βάσεων, οι οποίες προσδίδουν στο μόριο τη δομή μιας διπλής έλικας (Εικ. 14-16). Η πιθανότερη εκδοχή είναι ότι στην αρχέγονη σούπα της γήινης Πανθάλασσας προέκυψε κάποια στιγμή πριν 4 δισ. χρόνια το μόριο μιας μονής έλικας RNA, από χημικές αντιδράσεις απλών οργανικών μορίων, όπως αμμωνία, μεθάνιο και φορμαλδεΰδη, και στη συνέχεια, με το χρόνο, εξελίχθηκε ο κώδικας, το μόριο, του DNA, το οποίο είναι μια από  $10^{70}$  πιθανές εκδοχές που θα μπορούσαν θεωρητικά να προκύψουν από τα βασικά στοιχεία.

Το ποσό των γενετικών πληροφοριών που περιέχονται στο DNA ενός απλού κυττάρου

ισοδυναμεί με 1 τρισεκατομμύριο ( $10^{12}$ ) bits, δηλ. περίπου με μια εγκυκλοπαίδεια 100 εκατομμυρίων τόμων. Ο γενετιστής H. J. Muller υπολόγισε ότι το πυρηνικό DNA περιέχει περίπου 4 δισεκατομμύρια ζεύγη βάσεων, πράγμα που ανεβάζει τις πιθανές θεωρητικές *παραλλαγές αλληλουχίας* στο χρωματοσωματικό DNA του ανθρώπου σε 4 στην 4 δισεκατομμυριοστή δύναμη, ή 10 στην 2,4 δισεκατομμυριοστή δύναμη, ένα ασύλληπτο νούμερο αν σκεφθεί κανείς ότι το σύνολο όλων των στοιχειωδών σωματιδίων (ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων) στο γνωστό σύμπαν είναι της τάξης του  $10^{80}$ . Έτσι, «το ανθρώπινο ον είναι ένα εξαιρετικά απίθανο αντικείμενο».

Εκτός από τον πυρήνα, μικρές αγκύλες DNA (το mtDNA) υπάρχει στα μιτοχόνδρια (τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας των κυττάρων), το οποίο κληρονομείται αποκλειστικά από τη μητέρα ενός οργανισμού, μιά και τα μιτοχόνδρια προέρχονται αποκλειστικά από το γονικό ωάριο. Το μιτοχονδριακό DNA αποτελεί ένα συναρπαστικό κεφάλαιο της Μοριακής Βιολογίας στις τελευταίες δύο δεκαετίες, και στηριζόμενοι σε σχετικά ευρήματα, επιστήμονες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η πρώτη «μητέρα» του σύγχρονου ανθρώπου, με τον κωδικό «Εύα», τοποθετείται χρονικά κάπου στα 140.000 έτη προ τους παρόντος.

Το 1953, περιγράφηκε η δομή του DNA και προτάθηκε το μοντέλο της διπλής έλικας από τους J. Watson και F. Crick, βασισμένο στην κρυσταλλογραφική δουλειά της R. Franklin. Κάθε κύτταρο περιέχει 2 μέτρα DNA. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του Βιοχημικού Albert Lehninger (1982), το συνολικό μήκος του DNA και των 10 τρισεκατομμυρίων κυττάρων κάθε ανθρώπου είναι όσο 70 φορές η απόσταση Γης – Ηλίου μετ' επιστροφής. Το χημικό μόριο του DNA είναι αυτό που κληρονομεί όλα τα γενετικά χαρακτηριστικά ενός ζωντανού οργανισμού από την κάθε γενιά στην επόμενη, και που ελέγχει την αύξηση, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή. Εντοπίζεται στον πυρήνα κάθε ευκαρυωτικού κυττάρου, και δεν είναι τίποτε άλλο από ένα οργανικό μόριο, που αποτελείται από άνθρακα, οξυγόνο, υδρογόνο, άζωτο και φώσφορο, σε μια εξειδικευμένη αλληλουχία 4 βάσεων. Η σημασία της ανακάλυψης αυτής είναι ότι η βάση της κληρονομικότητας είναι καθαρή χημεία και δεν υπάρχουν πνεύματα.

Ο φυσιολογικός αριθμός των χρωμοσωμάτων ποικίλλει από είδος σε είδος. Τα βακτηρίδια που είναι προκαρυωτικοί οργανισμοί έχουν το DNA τους οργανωμένο σε ένα μόνο χρωμόσωμα. Από τους ευκαρυωτικούς οργανισμούς, η *Drosophila melanogaster* (φρουτόμυγα) έχει 8 χρωμοσώματα, η μέλισσα 16, ο αραβόσιτος 20, ο βάτραχος 26, η αλεπού 34, η γαλή 38, ο μυς 40, ο αρουραίος 42, το κουνέλι 44, ο άνθρωπος 46, ο χιμπαντζής 48 και το κοτόπουλο 78 χρωμοσώματα. Όταν τα χρωμοσώματα ενός κυττάρου, π.χ. λεμφοκυττάρου

του αίματος, όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο, τοποθετηθούν κατά σειρά μεγέθους, προκύπτει ο *καρυότυπος* (Εικ. 17).

Με τον όρο *γενετικές ομοιότητες* εννοούμε ομοιότητες στην αλληλουχία των 4 βάσεων του DNA στο γενετικό υλικό των εμβίων οργανισμών. Υψηλός βαθμός γενετικής ομοιότητας είναι ενδεικτικός φυλογενετικής συντήρησης, δηλ. εμμονής ενός βιολογικού χαρακτηριστικού στο πέρασμα εκατομμυρίων χρόνων εξέλιξης. Έτσι, η γενετική «συγγένεια» του ανθρώπου με το χιμπαντζή εκτιμάται στο 99,3%, με το ποντίκι στο 99%, με τα ψάρια στο 50%, και με ανθοφόρα φυτά στο 33%. Μικρές διαφορές στο γονιδίωμα μπορεί να σχετίζονται με σημαντικές διαφορές και στη χρονολογία της εξέλιξης και στο φαινότυπο. Για παράδειγμα, η γενετική διαφορά του 1% ανάμεσα στον άνθρωπο και τον ποντικό συνοδεύεται από μία εξελικτική απόσταση 70 εκατομμυρίων ετών. Η γενετική διαφορά του 0,7% με τον χιμπαντζή σχετίζεται, π.χ., με το ότι ο άνθρωπος δεν έχει γούνα, δεν τρώει μπανάνες με τα πόδια του, και δεν ψαρεύει μυρμήγκια απ' το έδαφος χρησιμοποιώντας κλαδιά.

Ένα από τα πλείστα παραδείγματα φυλογενετικής συντήρησης στα τελευταία 2 δισεκατομμύρια χρόνια είναι το κυτόχρωμα C, μια πρωτεΐνη 100 αμινοξέων που ανήκει στους φορείς της αναπνευστικής αλύσου στο εσωτερικό των μιτοχονδρίων, και που μεταφέρει ηλεκτρόνια στον τελικό τους αποδέκτη το οξυγόνο, ή με απλά λόγια, παίζει έναν ρόλο-κλειδί στην παραγωγή ενέργειας από κάθε ζωντανό οργανισμό. Στα 100 αμινοξέα (υπομονάδες) της πρωτοταγούς δομής του κυτοχρώματος C στον άνθρωπο, ο χιμπαντζής έχει απαράλλακτη αλληλουχία, τα περισσότερα θηλαστικά έχουν κοινά τα 90, τα ψάρια τα 80, και τα ανθοφόρα φυτά τα 60. Όσο μικρότερες οι διαφορές, τόσο στενότερη η γενετική συγγένεια και τόσο ισχυρότερη η μαρτυρία για κοινή βιολογική καταγωγή.

### **Νευρωνογένεση και συναπτογένεση: γενετικός καθορισμός και επιγενετική διαμόρφωση στη διάταξη του νευρωνικού δικτύου**

Στην οντογένεση του νευρικού συστήματος μερικά από τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά του εγκεφάλου καθορίζονται γενετικά και μεταβιβάζονται από γενιά σε γενιά κληρονομικά. Στην κατηγορία αυτή υπάγεται σε γενικές γραμμές ο τελικός αριθμός των νευρώνων που απαντώνται στον εγκεφαλικό φλοιό. Κατά κανόνα, η *νευρωνογένεση*, δηλ. η παραγωγή νευρώνων μέσω *μιτωτικών διαιρέσεων* προγονικών κυτταρικών μορφών, επιτελείται κατά τη διάρκεια της εμβρυικής ζωής και καθορίζεται γενετικά στα διάφορα είδη. Άλλα χαρακτηριστικά υπόκεινται στην επήρεια του περιβάλλοντος και υπογραμμίζουν τη

δυνατότητα ατομικής παραλλαγής. Στην κατηγορία αυτή υπάγεται ο σχηματισμός των συνάψεων, δηλ. η *συναπτογένεση*, η οποία επιτελείται κυρίως κατά τη διάρκεια της μεταγεννητικής ανάπτυξης.

Οι γενετικές πληροφορίες των όντων βρίσκονται καταχωρημένες στα γονίδια, στον πυρήνα των κυττάρων, με τη μορφή του χημικού μορίου DNA και οργανώνονται στα χρωματοσώματα, τα οποία στον άνθρωπο είναι 23 ζεύγη. Κατά μέσο όρο, η διαφορά σε αλληλουχίες αμινοξέων ανάμεσα στις πρωτεΐνες του χιμπατζή και του ανθρώπου δεν ξεπερνά το 0,8%, υποδεικνύοντας ότι η *φυλογενετική διατήρηση* στην ομολογία αλληλουχιών είναι της τάξης του 99,3% και ότι <1% διαφοροποιεί τα δύο είδη (King & Wilson 1975, King 1981). Μπορεί να υπολογίσει κανείς ότι η γενετική απόσταση ανάμεσα στο χιμπατζή και τον άνθρωπο είναι μόλις 25-60 φορές μεγαλύτερη από αυτήν ανάμεσα στους ανθρώπινους πληθυσμούς του Καυκάσου, της Αφρικής και της Ιαπωνίας. Επομένως, από γενετική σκοπιά, ο άνθρωπος και ο χιμπατζής βρίσκονται πολύ κοντά. Ωστόσο, ο εγκέφαλός τους και οι εγκεφαλικές τους λειτουργίες διαφέρουν σημαντικά.

Η περιεκτικότητα του πυρήνα ενός σωματικού κυττάρου σε DNA υπολογίζεται στα έξι τρισεκατομμυριοστά του γραμμαρίου (6 pg), το οποίο μεταφράζεται περίπου σε 30.000 καθαυτού δομικά γονίδια, αν ορίσουμε ως ένα γονίδιο την ποσότητα του DNA που κωδικοποιεί μια πρωτεΐνη μέσου μεγέθους και αν εξαιρέσουμε επαναληπτικές αλληλουχίες, ιντρόνια και ρυθμιστικά γονίδια, τα οποία εκπροσωπούν 90% του χρωματοσωματικού DNA (Changeux 1983).

Από τους αριθμούς αυτούς είναι εμφανές ότι η τρομακτική δομική πολυπλοκότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος έρχεται σε αντιδιαστολή με το σχετικά μικρό μέγεθος των κωδικοποιημένων γενετικών πληροφοριών. Τίθεται επομένως το ερώτημα, πώς από μια σχετικά τόσο μικρή ποσότητα γενετικής πληροφορίας μπορεί να παραχθεί η εξαιρετική δομική πολυπλοκότητα του κεντρικού νευρικού συστήματος ή, με άλλα λόγια, που βασίζεται η ανίσωση του ποσού πληροφορίας γονιδιώματος – εγκεφάλου; Είναι αδύνατο τα γονίδια να υπαγορεύουν *όλα* τα εξειδικευμένα χαρακτηριστικά *κάθε* συναπτικής διασύνδεσης. Ένας απλός μαθηματικός υπολογισμός του ποσού της γενετικής πληροφορίας που απαιτείται για την υπαγόρευση *όλων* των δομικών λεπτομερειών *καθεμιάς* από τις  $10^{15}$  συνάψεις που υπάρχουν στον εγκέφαλο υποδεικνύει ότι το γόνωμα των θηλαστικών δεν μπορεί παρά να περιέχει μόνο ένα κλάσμα της πληροφορίας αυτής.

Η πιθανότερη εκδοχή είναι ότι μερικά γονίδια, τα οποία καθορίζουν γενικούς κανόνες ανάπτυξης, τις ιδιότητες των ανωρίμων συνάψεων, τη ρύθμιση της συναπτικής σταθερότητας

μέσω δραστηριότητας και τις ολοκληρωμένες ιδιότητες των μετασυναπτικών νευρώνων, είναι κοινά ανάμεσα σε διαφορετικές κατηγορίες νευρώνων, ή ακόμη και ανάμεσα σε όλους τους νευρώνες. Αυτά είναι και τα χαρακτηριστικά που περνούν από τη μια γενιά στην άλλη και υπόκεινται σε άμεσο *γενετικό καθορισμό*.

Πέραν του γενετικού καθορισμού έρχονται στην εικόνα τα *επιγενετικά φαινόμενα*, τα οποία ευθύνονται για τη φαινοτυπική παραλλαγή ανάμεσα σε ισογενή άτομα και συνίστανται στον έλεγχο της επιγενετικής ανάπτυξης νευρωνικών ιδιαιοτήτων από τη δραστηριότητα του αναπτυσσόμενου δικτύου, το οποίο εντέλλεται και την εκλεκτική σταθεροποίηση συγκεκριμένων ομάδων συναπτικών επαφών από το σύνολο των δομών που είναι διαθέσιμες στα πρώιμα στάδια με τη μέγιστη ποικιλομορφία (Changeux et al. 1976, 1984, Piattelli-Palmarini 1979, Changeux 1983). Η επιγενετική θεωρία επισημαίνει τρία στάδια, τη γένεση φαινομένων κατά την ανάπτυξη, τον παροδικό πλεονασμό και την εκλεκτική σταθεροποίηση με τον περιορισμό των πλεοναζόντων στοιχείων.

Οι βάσεις της επιγενετικής θεωρίας ξεκινούν από την «αρχή του Hebb» στο επίπεδο των νευραξόνων (Hebb 1949), η οποία υποστηρίζει ότι άξονες που παραμένουν λειτουργικά αδρανείς εκφυλίζονται, ενώ άξονες που ενεργοποιούνται σταθεροποιούνται μέσω της δραστηριότητάς τους. Η ίδια αρχή βρίσκει εφαρμογή και στο επίπεδο των πρωτεϊνικών συμπλεγμάτων των υποδοχέων. Αρχικά υπάρχει μοριακός πλεονασμός και η διάταξη κατά μήκος της μετασυναπτικής μεμβράνης είναι τυχαία. Η άφιξη της προσυναπτικής απόληξης και η φυσιολογική δραστηριότητα οδηγούν σε εκλεκτική σταθεροποίηση και περικοπή του μοριακού πλεονάσματος.

Η επιγενετική θεωρία βρίσκει γενική εφαρμογή καθ' όλο το μήκος του εγκεφαλονωτιαίου άξονα και έχει δοκιμασθεί πειραματικά σε διάφορα συστήματα και επίπεδα, όπως η νευρομυική σύναψη, οι χολινεργικοί υποδοχείς, η ελαιοπαρεγκεφαλιδική προβολή και ο εγκεφαλικός φλοιός.

Τυπικό παράδειγμα επιγένεσης σε επίπεδο συμπεριφοράς αποτελεί το ρεπερτόριο του τραγουδιού στο «σπουργίτι των τελμάτων», το οποίο περιλαμβάνει 15 περίπου συλλαβές. Η «αποκρυστάλλωση» του τραγουδιού στον ενήλικα συνοδεύεται από το κλάδεμα του 75% των συλλαβών του πρώιμου ρεπερτορίου («συλλαβική φθορά») (Marler & Peters 1982). Κάτι αντίστοιχο γίνεται στο παιδί, όπου ο πλούτος των ήχων κατά τα πρώιμα αναπτυξιακά στάδια είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτούς στους οποίους μπορούμε να αποδώσουμε σημασία. Με την προσχολική ενθάρρυνση συγκεκριμένων φθόγγων, προκαλούμε εκλεκτική σταθεροποίηση των «επιθυμητών» ήχων και περιορισμό του πλεονάσματος.

Στη νευρωνική οργάνωση του εγκεφαλικού φλοιού υπεισέρχεται ο γενετικός καθορισμός, σύμφωνα με τις εξής ενδείξεις. Πρώτο, οι περισσότεροι νευρώνες του φλοιού παράγονται κατά την εμβρυϊκή ζωή. Δεύτερο, ο άνθρωπος έχει μια επιπρόσθετη μερίδα νευρώνων από ό,τι τα λοιπά θηλαστικά, χαρακτηριστικό που καθορίζεται γενετικά. Τρίτο, ο μετωπιαίος φλοιός, χρήσιμος στη γένεση νοερών αντικειμένων, έχει αυξημένη επιφάνεια στον άνθρωπο πριν από οποιαδήποτε επαφή με τον έξω κόσμο.

Η μελέτη της νευρωνογένεσης γίνεται με αυτορραδιογραφία ραδιενεργού θυμιδίνης σεσημασμένης με τρίτιο (Miale & Sidman 1961), η οποία προσλαμβάνεται εκλεκτικά από προγονικές μορφές κυττάρων που βρίσκονται σε ενεργό φάση μιτωτικών διαιρέσεων. Το νευρικό σύστημα του ενήλικα είναι προϊόν επακριβών χωροχρονικών αναπτυξιακών γεγονότων, όπου κάθε νευρωνικός πληθυσμός γεννάται σε μια συγκεκριμένη χρονική θυρίδα. Επιπλέον, η χρονολογία της εμβρυογένεσης συγγενικών πληθυσμών συσχετίζεται με τη διάταξη των ανατομικών διασυνδέσεων ανάμεσά τους (Altman 1992). Ερεθίσματα από το περιβάλλον μπορούν να δράσουν εκλυτικά ή ανασταλτικά στη μεταγεννητική ανάπτυξη και να υπαγορεύσουν τα ιστοχημικά και υπερμικροσκοπικά χαρακτηριστικά της τελικής συναπτικής διεύθετης.

Ένα σημαντικό φυσιολογικό φαινόμενο που παρατηρείται στην ανάπτυξη είναι ο προγραμματισμένος κυτταρικός θάνατος («απόπτωση») (Oppenheim 1991, Tomei & Cope 1991). Πάνω στη δημιουργία του, το νευρικό σύστημα ξεκινά με την παραγωγή μεγαλύτερου του τελικού αριθμού νευρώνων. Τυπικό παράδειγμα είναι οι κινητικοί νωτιαίοι νευρώνες στο έμβryo του κοτόπουλου, όπου το σύστημα αρχικά περιέχει 20.000 νευρώνες σε ηλικία πέντε ημερών και τελικά καταλήγει να περιέχει 12.000 νευρώνες στις δώδεκα ημέρες, δηλ. χάνει το 40% των παραχθέντων κυττάρων και έτσι σταθεροποιείται στο 60% της αρχικής τιμής (Lainig & Prestige 1978).

Στη συναπτική οργάνωση του εγκεφαλικού φλοιού υπεισέρχεται η επιγένεση. Η πλειονότητα των συνάψεων εγκαθιδρύεται στο φλοιό μεταγεννητικά, πράγμα που καθιστά δυνατή την προοδευτική αποτύπωση του φυσικού και κοινωνικού περιβάλλοντος και του πολιτισμού στον εγκεφαλικό ιστό. Το περιβάλλον είτε αφήνει κάποια σφραγίδα στον εγκέφαλο ή απλώς επιλέγει διαδοχικούς συνδυασμούς αναπτυξιακά προδημιουργημένων συναπτικών υποστρωμάτων. Η επιγενετική επιλογή υποδεικνύει ότι μάθηση είναι η σταθεροποίηση προϋπαρχόντων συναπτικών συνδυασμών και ο περιορισμός του πλεονάσματος.

Στον οπτικό φλοιό υπάρχουν οι λεγόμενες «στήλες οφθαλμικής κυριαρχίας» (Hubel et al.

1977). Η πειραματική συρραφή του ενός βλεφάρου σε πίθηκο ηλικίας 2 εβδομάδων οδηγεί σε ατροφία των αντιστοιχών στηλών του φλοιού μετά από 18 μήνες επιβίωσης. Αντίθετα, όταν η επέμβαση γίνει σε ενηλικιωμένο πειραματόζωο, η φυσιολογική οργάνωση των ζωνών δεν επηρεάζεται.

Σε συμπέρασμα, αυτό που υπαγορεύουν τα γονίδια είναι ένας «γενετικός χαρτοφύλακας», τ.έ. ένα φάσμα πιθανών προσβατών δομών, συν κάποιο λεπτομερές προσχέδιο διαδοχικών βαθμών συνδετικότητας του συστήματος στο σύνολό του. Μία τέτια «στρατηγική ελαχιστοποίησης» συνδυάζει τη μέγιστη χρήσιμη πληροφορία με σημαντική οικονομία γονιδίων. Το σύνολο των γονιδίων που εμπλέκονται στην υπαγόρευση κοινών ιδιοτήτων ανάμεσα σε πολλαπλές κατηγορίες νευρώνων και συνάψεων είναι θεωρητικά μικρότερο από αυτό που απαιτείται για τον προσδιορισμό κάθε λεπτομέρειας κάθε ξεχωριστής σύναψης. Ο γενετικός χαρτοφύλακας παρέχει ένα αδρά ιχνογραφημένο δίκτυο, ενώ η δραστηριότητα προσδιορίζει τη λεπτομερή σκοπιά.

### **Μεταβλητότητα και διατήρηση του νευρικού ιστού**

Οι δομές του νευρικού συστήματος δεν είναι στατικές. Σχηματίζονται κατά την ανάπτυξη και στη συνέχεια διατηρούν την ικανότητα να μεταβάλλονται καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής, ανάλογα με εμπειρίες μάθησης και την καταγραφή μνημονικών στοιχείων. Οι νευρώνες έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους και κατά τα αναπτυξιακά στάδια και μετά την ενηλικίωση του νευρικού συστήματος. Η *ευπλαστικότητα* αυτή (*neuronal plasticity*) μπορεί να επισυμβεί σε διάφορα ιεραρχικά επίπεδα ανατομικής οργάνωσης και παρέχει έναν επιπρόσθετο βαθμό ευελιξίας στη λειτουργία του εγκεφάλου (Cotman 1985, Baudry et al. 1993). Οι πειραματικές μελέτες πάνω στη νευρωνική ευπλαστικότητα εμπεριέχουν παραδείγματα (α) φαινοτυπικών και μοριακών μεταβολών και (β) συναπτικής και διασυνδετικής αναδιοργάνωσης.

Στην πρώτη κατηγορία συγκαταλέγονται φαινόμενα μεταβολής του νευροδιαβιβαστικού φαινοτύπου, των συναπτικών υποδοχέων, αμέσων πρωίμων γονιδίων και αυξητικών πρωτεϊνών. Στη δεύτερη κατηγορία υπάγονται ανατομικά παραδείγματα από τη διαφραγματοϊπποκάμπεια οδό, τον ερυθρό πυρήνα, την ελαιοπαραεγκεφαλιδική και υπομελαιοπαραεγκεφαλιδική προβολή, τον οπτικό φλοιό και τον προμετωπιαίο λοβό. Κλασικό παράδειγμα διασυνδετικής ευπλαστικότητας είναι οι μελέτες του Raisman (1969) στο διαφανές διάφραγμα. Οι τελικές απολήξεις των προσαγωγών αξόνων της παρυφής του



ιπποκάμπου σχηματίζουν φυσιολογικά αξονοδενδριτικές συνάψεις με τους νευρώνες του διαφράγματος, ενώ οι απολήξεις των αξόνων της έσω τελεγκεφαλικής δεσμίδας αξονοσωματικές συνάψεις. Μετά από πειραματική διακοπή της έσω τελεγκεφαλικής δεσμίδας, παρατηρείται ανανεύρωση και συναπτική επένδυση σωματικών τοποθεσιών σε διαφραγματικούς νευρώνες από αναγεννημένους παράπλευρους άξονες της αναλλοίωτης παρυφής.

Με εξαίρεση τον οσφρητικό βολβό, την οδοντωτή έλικα του ιπποκάμπου και την κοκκιώδη στιβάδα της παρεγκεφαλίδας, ο αριθμός των νευρώνων του εγκεφάλου καθορίζεται προγεννητικά. Η αναγεννητική ικανότητα του ωρίμου νευρικού συστήματος περιορίζεται σε αναπληρωματική αξονογένεση και όχι παραγωγή νέων νευρώνων. Αναπλήρωση νευρικών κυττάρων που απωλέσθηκαν λόγω νευροπαθολογικών εξεργασιών μπορεί να επιτευχθεί με ενδοκρανιακή μεταμόσχευση εξωγενών νευροβλαστών. Υπάρχουν πειραματικές ενδείξεις για επιβίωση, ανάπτυξη και μεταναστευτικές ιδιότητες τέτιων μοσχευμάτων παρά τη χρονική διαφωνία δότη – δέκτη ιστού. Η αναπλήρωση κυττάρων μπορεί να οδηγήσει σε λειτουργική ανάνηψη σε διάφορα ανατομικά συστήματα σε πειραματόζωα.

Κατά κανόνα, ο τελικός αριθμός των νευρικών κυττάρων στον εγκέφαλο καθορίζεται πριν από τη γέννηση. Με 2 ή 3 εξαιρέσεις, τα νευρικά κύτταρα δεν έχουν δυνατότητα αναπαραγωγής. Έτσι, νευρικά κύτταρα που νεκρώνονται ως αποτέλεσμα εκφυλιστικών εξεργασιών σε διάφορες νευρολογικές παθήσεις, δεν μπορούν θεωρητικά να αναπληρωθούν, παρά μόνο με εξωγενή μεταμόσχευση ομολόγου εγκεφαλικού ιστού. Στα τελευταία 20 χρόνια έχει σημειωθεί τεράστια πρόοδος στον τομέα της «Ανασυστασιακής» ή «Επανορθωτικής» Νευρολογίας και κάποιες έννοιες σχετικά με τη δυνατότητα συντήρησης και αναγεννητικής ικανότητας του εγκεφάλου έχουν αναθεωρηθεί.

## **Εξέλιξη και Ανάπτυξη**

Ο όρος *εξέλιξη* υποδηλώνει τη διεργασία με την οποία συνθετότερες μορφές ζωής προκύπτουν από προγενέστερες και απλούστερες μορφές. Παρόμοιο νόημα έχει και ο όρος *φυλογένεση*. Ο αντίστοιχος λέξεις που χρησιμοποιούνται στην ξενόγλωσση ορολογία είναι *evolution*, *phylogeny*, *phylogenesis* και τα παράγωγά τους.

Από την άλλη πλευρά, ο όρος *ανάπτυξη* χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία ωρίμανσης ενός οργανισμού, ή ενός όντος, στον χρόνο. Με την ίδια έννοια χρησιμοποιείται και η λέξη *οντογένεση*. Ο αντίστοιχος λέξεις που χρησιμοποιούνται στην ξενόγλωσση

ορολογία είναι *development, ontogeny, ontogenesis* και τα παράγωγά τους.

Επομένως, επιστήμες που φέρουν τον προσδιορισμό «Εξελικτική» προσεγγίζουν το γνωστικό τους αντικείμενο από τη σκοπιά της προέλευσης πολύπλοκων μορφών ζωής (συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου) από απλούστερους οργανισμούς κατά τη διάρκεια των περασμένων τεσσάρων δισεκατομμυρίων ετών στη φυσική ιστορία της Γης. Επιστήμες που φέρουν τον προσδιορισμό «Αναπτυξιακή» μελετούν διεξοδικά τα διάφορα στάδια ωρίμανσης συγκεκριμένων εμβίων ειδών με το χρόνο, πράγμα που για τα θηλαστικά (και τον άνθρωπο) καλύπτει τη χρονική περίοδο από τη σύλληψη, την εμβρυϊκή ζωή και τη μεταγεννητική ανάπτυξη έως την ενηλικίωση.

Από παλιά διατυπώθηκε η άποψη ότι η ανάπτυξη είναι σε αδρές γραμμές μια επανάληψη της εξέλιξης. Η ιδέα αυτή, η οποία ιστορικά ανάγεται μέχρι τον Αναξίμανδρο τον Μιλήσιο (c. 611-547 π.Χ.), στη Βιολογία ονομάζεται «*Θεωρία της Ανακεφαλαίωσης*» (*Recapitulation Theory*) και η θέση της είναι ακριβώς ότι η οντογένεση είναι βραχεία επανάληψη της φυλογένεσης. Το κύριο στοιχείο στο οποίο βασίζεται η άποψη αυτή είναι η ύπαρξη παραλλήλων ομοιομορφιών ανάμεσα σε οργανισμούς στα διάφορα στάδια της εξέλιξης και στα διάφορα αναπτυξιακά στάδια ωρίμανσης ενός οργανισμού. Ένας από τους γνωστότερους υπέρμαχους της θεωρίας της ανακεφαλαίωσης ήταν ο Γερμανός Ernst Haeckel (1865-1919), Καθηγητής της Ζωολογίας στο Πανεπιστήμιο της Jena και ίσως ο σημαντικότερος υπερασπιστής της εξελικτικής θεωρίας στη χερσαία Ευρώπη στα τέλη του 19ου και αρχές του 20ού αιώνα.

Παραδείγματος χάριν, αν παρατηρήσει κανείς τη μορφή του εγκεφάλου σε διάφορα στάδια της *εξελικτικής* ιεραρχίας από τους ιχθείς έως τα αμφίβια, έπειτα στα ερπετά, στα πτηνά και, στη συνέχεια, στα μη-πρωτεύοντα θηλαστικά, στα πρωτεύοντα θηλαστικά και τελικά στον άνθρωπο, και από την άλλη τη μορφή του εμβρυϊκού ανθρώπινου εγκεφάλου στα χρονικά στάδια της *ανάπτυξης* του από τις 25 μέρες μετά τη σύλληψη έως τους εννέα μήνες, μπορεί να διακρίνει εξωτερικές ομοιότητες που συμμερίζονται οι δυο διαδικασίες της φυλογένεσης και της οντογένεσης.

Τη σφαίρα της ανθρώπινης συμπεριφοράς εν γένει μελετά η *Ψυχολογία*. Η *Νευροψυχολογία* μελετά επίσης τις πτυχές της συμπεριφοράς, αλλά σε συνάρτηση με τις δομές του νευρικού συστήματος που εξυπηρετούν τις, ή μεσολαβούν στις, συγκεκριμένες ψυχικές ή νοητικές λειτουργίες. Η *Εξελικτική Νευροψυχολογία* ασχολείται με τη συγκριτική ανάλυση συμπεριφορών και εγκεφάλου σε έμβια όντα σε διάφορα στάδια της εξέλιξης.

Από την άλλη πλευρά, η *Αναπτυξιακή Νευροψυχολογία* ασχολείται με τη διεξοδική

μελέτη της συμπεριφοράς και του εγκεφάλου στους οργανισμούς κατά τη χρονική διαδικασία της ανάπτυξής τους. Ανάμεσα στα θέματα που καλύπτει η Αναπτυξιακή Νευροψυχολογία συγκαταλέγονται: η μελέτη της αλληλεπίδρασης του αναπτυσσόμενου εγκεφάλου με τις συμπεριφορές στις οποίες μεσολαβεί· η ανάλυση κυτταρικών, συστηματικών και οργανισμικών επιπέδων στη σχέση ανάπτυξης-λειτουργίας νευρωνικών πτυχών της συμπεριφοράς· γεγονότα νευρογένεσης, μετανάστευσης και μορφογένεσης· σχέση νευρογενετικών βαθμιδώσεων και διάταξης ανατομικών προβολών· γενετικός καθορισμός και επιγένεση στη διευθέτηση των νευρωνικών δικτύων· νευροαναπτυξιακές διαταραχές σε περιπτώσεις αναχαίτισης της εγκεφαλικής ωρίμανσης· νευροεκφυλιστικές καταστάσεις και συμπεριφορικά επακόλουθα εγκεφαλικών βλαβών· η νευροπαθολογία και παθοφυσιολογία αναπτυξιακών συμπεριφορικών δυσλειτουργιών.

Η *Εξελικτική Νευροψυχολογία* προκύπτει από το συγκερασμό δύο επιστημών, Α) των *Γνωστικών Νευροεπιστημών* και Β) της *Εξελικτικής Βιολογίας*. Τα δύο αυτά «συστατικά» με τον συνδυασμό τους προσφέρουν τη δυνατότητα μιάς επιστημονικής ερμηνείας της ανθρώπινης συμπεριφοράς μέσα από το σύνολο των Γνωστικών Επιστημών και τη φυλογενετική καταγωγή των ειδών.

## **Γνωστική Νευροψυχολογία**

Η *Γνωστική Νευροψυχολογία* παρέχει μία από τις επικρατέστερες θεωρίες για τη νόηση που έχουν προταθεί και στηρίζεται σε δύο πρωταρχικές ιδέες: 1) ότι η ανθρώπινη δράση είναι αποτέλεσμα *νοητικών διεργασιών* και 2) ότι ο νους είναι ένας *υπολογιστής*.

1) Η Ψυχολογία —η επιστήμη της ανθρώπινης συμπεριφοράς— προσπαθεί να ερμηνεύσει τον τρόπο με τον οποίο δρούμε. Κάθε άνθρωπος προσπαθεί να ερμηνεύσει τη συμπεριφορά με βάση *πεποιθήσεις* και *επιθυμίες*, υποστηρίζοντας έμμεσα ότι αυτές οι νοητικές διεργασίες είναι οι *αιτίες* των δράσεών μας. Αυτή η προσέγγιση έχει μια διαδρομή χιλιετιών και οι φιλόσοφοι την αποκαλούν *Κοινή ή Λαϊκή Ψυχολογία (Folk Psychology)*, όπως και ο Wundt.

Γύρω στο 1920 ορισμένοι ψυχολόγοι διετύπωσαν αμφιβολίες ως προς την επιστημονικότητα της «Λαϊκής Ψυχολογίας». Ιδιαίτερα, ο John Watson (1878-1958), Καθηγητής της Ψυχολογίας στο Πανεπιστήμιο Johns Hopkins της Βαλτιμόρης, και ο Burrhus Skinner (1904-1990), Καθηγητής της Ψυχολογίας στο Πανεπιστήμιο Harvard, υποστήριξαν ότι οι πεποιθήσεις, οι επιθυμίες και οι άλλες νοητικές διεργασίες δεν είναι πραγματικά

αντικείμενα. Πρότειναν ότι ο μόνος τρόπος για να γίνει η Ψυχολογία πραγματική επιστήμη ήταν να σταματήσει να ασχολείται με αυτές τις «μυθικές οντότητες»· ότι δεν είναι απαραίτητο να αναφερόμαστε στον όρο «νους» στην προσπάθεια ερμηνείας της συμπεριφοράς· και ότι η συμπεριφορά δεν προκαλείται από σκέψεις, αλλά από εξωτερικά ερεθίσματα.

Η άποψη αυτή είναι γνωστή ως *Συμπεριφορισμός (Behaviourism)* και επικράτησε μέχρι τη δεκαετία του 1960, οπότε οι ψυχολόγοι άρχισαν να την απορρίπτουν, για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, με βάση την κοινή λογική διαπίστωσαν ότι δεν γινόταν από την ερμηνεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς να εξαιρεθεί η χρήση εννοιών όπως «πεποίθηση» και «επιθυμία». Δεύτερον, η πρόοδος στους υπολογιστές και οι έρευνες στην τεχνητή νοημοσύνη παρέσχαν έναν τρόπο δοκιμασίας και αντίκρουσης των θεωριών του Συμπεριφορισμού για τη μάθηση.

Με την εγκατάλειψη του Συμπεριφορισμού, ο όρος «νους» (mind) επανεδραιώθηκε ως έγκυρη επιστημονική έννοια. Αυτή είναι και η πρώτη κεντρική ιδέα της *Γνωστικής Ψυχολογίας*. Στο πνεύμα αυτό, η Γνωστική Ψυχολογία ερμηνεύει τις πράξεις με αναφορές σε νοητικές διεργασίες, όπως άλλωστε έκανε και η Κοινή Ψυχολογία. Διαφέρει όμως από την δεύτερη στο ότι εξειδικεύει τι ακριβώς είναι αυτές οι «νοητικές διεργασίες»: *υπολογισμοί*.

2) Η δεύτερη κύρια ιδέα της Γνωστικής Ψυχολογίας είναι ότι ο νους είναι ένα «υπολογιστικό πρόγραμμα», εννοώντας όμως κάτι πολύ συγκεκριμένο με τον όρο «υπολογιστής». Με βάση το έργο του Βρετανού μαθηματικού Alan Turing (1912-1954), ο οποίος εισήγαγε την έννοια μίας μηχανής που θα μπορούσε να λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με τους ανθρώπους στη γνωστότερη δημοσίευσή του και μία από τις σημαντικότερες δημοσιεύσεις στο χώρο της Τεχνητής Νοημοσύνης και της Πληροφορικής. Ως υπολογιστής ορίζεται μια διάταξη πράξεων για την επεξεργασία πληροφοριών. Με άλλα λόγια, ο υπολογιστής δεν είναι η μηχανή, αλλά οι αφηρημένες προδιαγραφές μιας πιθανής μηχανής. Με την έννοια αυτή, ο υπολογιστής μπορεί να κατασκευαστεί με πολλούς τρόπους.

Διάφορα είδη μηχανών θα μπορούσαν να επεξεργασθούν πληροφορίες με τον ίδιο τρόπο. Στην περίπτωση αυτή, μηχανές με διαφορετική εξωτερική εμφάνιση μπορούν να είναι παρόμοια είδη υπολογιστών. Οπότε, η ουσία του υπολογιστή δεν βρίσκεται στα υλικά από τα οποία δομείται, αλλά περισσότερο στα προγράμματα τα οποία εκτελεί.

Επομένως, για τη Γνωστική Ψυχολογία ο νους είναι ένα *πρόγραμμα*, εξαιρετικά περίπλοκο, που μπορεί να περιγραφεί με τη γλώσσα της πληροφορικής, ενώ ο εγκέφαλος είναι η μηχανή η οποία «τρέχει» αυτό το πρόγραμμα που αποκαλείται «νους». Η αξία μιας

τέτοιας προσέγγισης έγκειται στο ότι η χρήση της γλώσσας της πληροφορικής επιτρέπει τη διατύπωση υποθέσεων που μπορούν να ελεγχθούν πειραματικά, σε αντιδιαστολή με παλαιότερες θεωρίες που πήγαιναν από δανεισμούς και προσομοιώσεις του νου με επίκαιρα τεχνολογικά επιτεύγματα, όπως το ρολόι, ο τηλεγράφος ή τα υδραυλικά συστήματα. Η ανάλυση του νου ως υπολογιστή επιπλέον παίρνει νόημα, επειδή ακριβώς οι λειτουργίες που επιτελεί είναι επεξεργασίες πληροφοριών.

## **Κληρονομικότητα και DNA**

Ο Αυστριακός μοναχός Gregor Johann Mendel (1822-1884), κρατούσε συστηματικά αρχεία ξεχωριστά κληρονομούμενων χαρακτηριστικών σε ένα μεγάλο δείγμα αρκετών γενεών of πίσου (κν. μπιζέλια) σε επακριβή πειράματα και καθιέρωσε τους νόμους που φέρουν το όνομά του: το ότι ξέχωρα χαρακτηριστικά (τ.έ., το ύψος των πίσων) κληρονομούνται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο· το ότι κάθε αναπαραγωγικό κύτταρο δέχεται μόνο έναν από ένα ζεύγος εναλλακτικών παραγόντων που υπάρχουν στα υπόλοιπα σωματικά κύτταρα (νόμος διαχωρισμού)· και το ότι ορισμένοι παράγοντες είναι κυρίαρχοι πάνω σε άλλους (νόμος της κυριαρχίας). Ανακοίνωσε τις μελέτες του το 1865 στην Εταιρεία Φυσικών Επιστημών στο Brno της σημερινής Τσεχίας, σε μία εργασία 45 σελίδων, η οποία δημοσιεύθηκε στα πρακτικά της Εταιρείας.

Το 1868 ο Friedrich Miescher στο Tübingen απομόνωσε από τους πυρήνες πυοκυττάρων ένα ασύνηθες φωσφορικό compound το οποίο ονόμασε *νουκλεΐνη*· παρόμοιες ουσίες εντόπισε και σε άλλα βιολογικά υλικά, όπως τα σπερματοζώαρια του σολωμού, και έγινε εμφανές ότι τα νουκλεϊκά οξέα, όπως έγιναν γνωστές οι νέες ουσίες, ήταν ευρέως διανεμημένοι στους ιστούς των εμβίων όντων.

Ο Oswald Avery είχε ήδη δείξει ότι το DNA είναι ο παράγοντας της κληρονομικότητας. Η Rosalind Franklin είχε συλλέξει εκατοντάδες εικόνες χρησιμοποιώντας κρυσταλλογραφία ακτίνων X για να μελετήσει τα δομικά χαρακτηριστικά βιολογικών ινών του DNA, αποκαλύπτοντας τη δομή της διπλής έλικας. Η κρυσταλλογραφία έκανε χρήση βομβαρδισμού κρυστάλλων DNA με ακτίνες X, μελετώντας το προκύπτον προφίλ και υπολογίζοντας τις αποστάσεις μεταξύ των ατόμων. Έτσι η Franklin έκανε μία από τις πιο βαρυσήμαντες ανακαλύψεις της επιστήμης του 20ού αιώνα. Βρήκε ότι το DNA, το μόριο που περιέχει την αλφάβητο της ζωής, είναι μια διπλή έλικα. Αυτό το κρίσιμο στοιχείο βοήθησε τους μοριακούς βιολόγους Watson και Crick να προτείνουν το 1953 το γνωστό μοντέλο της διπλής

έλικας του DNA.

Οι διαδικασίες και οι μηχανισμοί που καθοδηγούν την εξέλιξη της ζωής στη Γη είναι 1) η κληρονομικότητα, 2) οι μεταλλάξεις και 3) η φυσική επιλογή.

## **Νοητική Επεξεργασία των Πληροφοριών**

Στην αρχή οι Γνωστικοί Ψυχολόγοι προσέγγισαν τον νου ως ένα απλό πρόγραμμα. Θεώρησαν ότι ο νους μπορεί να επιλύει διάφορα προβλήματα με γενικές και αφηρημένες μεθόδους, κάνοντας χρήση γενικών διαδικασιών με πιθανή εφαρμογή σε οιοσδήποτε μορφές πληροφοριών. Ωστόσο, όταν προσπάθησαν να ερευνήσουν αυτήν την υπόθεση, βρήκαν ότι ορισμένα απλά προγράμματα που μπορούσαν να επιλύουν αφηρημένα προβλήματα, δεν είχαν τη δυνατότητα να επιτελέσουν βασικές απλούστατες λειτουργίες του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Ένα από τα πράγματα που καταφέρνει ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι να μαθαίνει τη γλώσσα. Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1950 ο γλωσσολόγος Noam Chomsky έδειξε ότι γενικά υπολογιστικά προγράμματα μάθησης απλούστατα δεν μπορούσαν να εκμάθουν μια γλώσσα κάτω από τις ίδιες συνθήκες όπως μπορούν τα παιδιά. Για να μάθει ένα παιδί μια γλώσσα, χρειάζεται να ακούσει ενήλικους να την μιλούν. Όμως, ο λόγος των ενηλίκων περιέχει αρκετά σφάλματα, χωρίς ενδείξεις για το τι είναι ορθό και τι είναι λάθος. Έτσι, το μόνο πρόγραμμα που θα μπορούσε να εκμάθει μια ανθρώπινη γλώσσα θα ήταν κάποιο εξειδικευμένο πρόγραμμα, το οποίο θα είχε προγραμματισθεί εκ των προτέρων με ειδικές πληροφορίες που σχετίζονται με την εκμάθηση της γλώσσας.

Ο Chomsky συνεπέρανε ότι στον νου μας υπάρχει κάποιος «μηχανισμός γλωσσικής πρόσκτησης» (*language acquisition device*) που λίγο-πολύ «γνωρίζει» το είδος των κανόνων που διαθέτουν οι γλώσσες του ανθρώπου, τ.έ έναν περιορισμένο αριθμό δομών, οι οποίες συλλογικά αποκαλούνται «Καθολική Γραμματική». Με άλλα λόγια, όταν το παιδί μαθαίνει την πρώτη του γλώσσα, δεν ξεκινάει από το μηδέν, αλλά επιλέγει από την εγγενή γνώση της Καθολικής Γραμματικής τους κανόνες που ακούει να χρησιμοποιούνται τριγύρω του. Με το σκεπτικό αυτό, η γλώσσα δεν είναι κάτι που μαθαίνεται, αλλά κάτι που αναπτύσσεται φυσιολογικά, όπως τα βιολογικά όργανα ή τα ένστικτα.

Το πρωτοποριακό έργο του Chomsky στη Γλωσσολογία ακολούθησαν παρόμοιες ανακαλύψεις σε άλλες περιοχές της Ψυχολογίας. Ο David Marr έδειξε πώς μια άλλη λειτουργία, η όραση, που θα μπορούσε να εκληφθεί ως απλή, στην ουσία είναι εξαιρετικά περίπλοκη. Η όραση απαιτεί κι αυτή ειδικά προγράμματα με ειδικούς κανόνες για την

ανίχνευση γωνιών, κίνησης, χρωμάτων, βάθους· παραδείγματος χάριν, ο νους μπορεί και αναπλάθει τρισδιάστατες εικόνες από απλούστερα σχήματα. Παρουσιάζοντας μια επαναστατική νέα έννοια οπτικής αντίληψης, ο Marr θέτει ως κεντρική προϋπόθεση την έννοια ότι δεν μπορεί κανείς να κατανοήσει τι είναι η όραση και πώς λειτουργεί, παρά μόνον εάν κατανοήσει τα υποκείμενα προβλήματα επεξεργασίας πληροφοριών που επιλύονται. Ένα τέτοιο επίπεδο κατανόησης της «υπολογιστικής θεωρία μιάς διαδικασίας» (*computational theory of a process*) εντοπίζει ειδικά προβλήματα, ενώ ταυτοχρόνως διερευνά λογικές στρατηγικές και προϋποθέσεις στις οποίες μπορούν να βασιστούν οι λύσεις.

### **Δομοστοιχεία (Modules)**

Στο βιβλίο του *Modularity of Mind* (1983) ο Jerry Fodor συνέθεσε τις διαθέσιμες πληροφορίες από τα διάφορα πεδία των Γνωστικών Επιστημών (*Cognitive Sciences*) και πρότεινε την άποψη ότι ο νους δεν είναι δυνατόν να αποτελείται από ένα και μοναδικό πρόγραμμα «γενικής χρήσης». Αντίθετα, πιθανότερον είναι να αποτελεί τη συλλογή πολλαπλών προγραμμάτων «ειδικής χρήσης», καθένα από τα οποία έχει και τους κανόνες του. Ο Fodor ονόμασε αυτά τα εξειδικευμένα προγράμματα «δομοστοιχεία» (*modules*). Αυτή τη «Θεωρία της Στοιχειακής Υποδομής» (*modular theory*) ασπάζονται σήμερα πολλοί Γνωστικοί Ψυχολόγοι. Τα εξειδικευμένα αυτά προγράμματα θεωρείται ότι επεξεργάζονται πληροφορίες εισόδου αισθητικής φύσης (όρασης, ήχου, γεύσης, αφής, όσφρησης και γλώσσας)· τέτοια «συστήματα εισόδου» (*input systems*) τροφοδοτούν τις πληροφορίες σε «κεντρικούς επεξεργαστές», ήτοι προγράμματα γενικών σκοπών.

Οι John Tooby και Leda Kosmides υποστήριξαν ότι μπορούμε να κατανοήσουμε τη φύση του σύγχρονου νου μόνο αν τον δούμε ως προϊόν βιολογικής εξέλιξης· επίσης υποστήριξαν ότι υπάρχουν εκατοντάδες, πιθανόν χιλιάδες, παρόμοιων «δομοστοιχείων» στον ανθρώπινο νου, καθένα από τα οποία εξυπηρετεί και έναν εξειδικευμένο σκοπό. Η άποψη αυτή συνήθως αναφέρεται ως «Θεωρία της Μαζικής Στοιχειακής Υποδομής» (*massive modularity*). Η ίδια θεωρία αντιτίθεται στην ιδέα ύπαρξης «κεντρικών επεξεργαστών», επειδή δεν υπάρχουν γενικά προβλήματα, αλλά μόνο ειδικά.

Ένα δομοστοιχείο είναι πολυπλοκότερο από έναν γενικό τύπο προγράμματος· τα επιμέρους συστατικά του συμμετέχουν αρμονικά στην επεξεργασία των πληροφοριών. Κατέχει μια εσωτερική δομή η οποία αναπτύσσεται φυσιολογικά όπως κάθε βιολογικό όργανο. Σύμφωνα με την Εξελικτική Βιολογία, τέτοιου είδους χαρακτηριστικά προκύπτουν

μόνον ως αποτέλεσμα φυσικής επιλογής. Έτσι, μπορούμε να υποβάλουμε ερωτήματα για το πώς εξελίχθηκαν τα διαφορετικά νοητικά συστατικά.

### **Εγκεφαλική ευπλαστικότητα**

Υπό τον όρον αυτόν εξετάζονται οι δυνατότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου για λειτουργική αντιστάθμιση σε διάφορες φάσεις της ηλικίας, αναλύοντας ψυχογλωσσικά και νευροανατομικά δεδομένα, τα οποία υποδηλώνουν ότι περιοχές των εγκεφαλικών ημισφαιρίων είναι ικανές να παράγουν και να κατανοούν σε κάποιον βαθμό τον λόγο αντισταθμιστικά με τη δράση ενός ομολόγου δικτύου, ακόμη και σε περιπτώσεις εγκεφαλικών βλαβών, διά βίου.

Ο όρος *εγκεφαλική ευπλαστικότητα* είχε εισαχθεί στις Νευροεπιστήμες από τα τέλη του 19ου αιώνα. Στην κλασική του έννοια, υπονοεί μεταβολές στη δομή και τη λειτουργία νευρωνικών στοιχείων σε πολλαπλά επίπεδα, από το μοριακό έως το μακροανατομικό. Έτσι, στη *νευρωνική ευπλαστικότητα* μπορούμε να μελετήσουμε φαινόμενα *φαινοτυπικής και μοριακής ευπλαστικότητας*, όπως η μετατροπή ενός χημικού φαινοτύπου, και φαινόμενα *συναπτικής και διασυνδεδετικής ευπλαστικότητας*, όπως μετατροπές συναπτικών διασυνδέσεων και νευραξονικών προβολών.

Παραδείγματα *φαινοτυπικής και μοριακής ευπλαστικότητας* συναντούμε σε σχέση με τον νευροδιαβιβαστικό φαινότυπο, τους μετασυναπτικούς υποδοχείς, τα άμεσα πρώιμα γονίδια και τις αυξητικές πρωτεΐνες. Δεδομένα *συναπτικής και διασυνδεδετικής ευπλαστικότητας* έχουν αποκτηθεί από πειράματα στη διαφραγματοϊπποκάμπεια οδό, την ελαιοπαρεγκεφαλιδική οδό, τον ερυθρό πυρήνα, την υπομελαιοπαρεγκεφαλιδική προβολή, την υπομελαιοφλοιική προβολή, καθώς και τον φλοιό του ινιακού και του προμετωπιαίου λοβού των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Ένα πεδίο έρευνας με πειραματικά δεδομένα που ενισχύουν τη νευρωνική και εγκεφαλική ευπλαστικότητα είναι αυτό των ενδοκρανιακών μοσχευμάτων, με ειδικές εφαρμογές στην παρεγκεφαλίδα και στα βασικά γάγγλια.

Συχνά, η ευπλαστικότητα σε επίπεδο νευρωνικής μεμβράνης υπογραμμίζεται από το φαινόμενο της *μακρόχρονης ενδυνάμωσης (long-term potentiation, LTP)*, κοινό μηχανισμό κάθε μορφής κυτταρικής «μάθησης» και «μνήμης» από τους νευρώνες. Τα τελευταία χρόνια ο όρος έχει επεκταθεί, ειδικά στο πεδίο της Νευροεκπαίδευσης, ώστε να εφαρμόζεται ευρύτατα σε ό,τι αφορά τη διά βίου ικανότητα του εγκεφάλου να μαθαίνει και να προσαρμόζεται είτε κάτω από φυσιολογικές συνθήκες είτε έπειτα από κάποιου είδους βλάβη



του εγκεφαλικού ιστού.

Η πρώτη σύνδεση συγκεκριμένων νοητικών λειτουργιών με εντοπισμένες περιοχές του φλοιού στην ιστορία της σύγχρονης νευροεπιστήμης αποδίδεται στον Αυστριακό νευροανατόμο Franz Joseph Gall (1758-1828), ο οποίος υποστήριξε πως ο εγκέφαλος συγκροτείται από τόσα όργανα όσες είναι και οι νοητικές λειτουργίες.

Στη γένεση του διλήμματος *ολισμός* ή *εξειδίκευση* συνετέλεσε η παρουσίαση από τον Paul Broca (1824-1880) το 1861 της περίπτωσης ενός ασθενούς που νοσηλευόταν επί 21 χρόνια έχοντας χάσει την ικανότητα της ομιλίας. Μέχρι το 1868 ο Broca μελέτησε 20 παρόμοιες περιπτώσεις· σε 19 από αυτές, οι ασθενείς είχαν υποστεί βλάβη στην κάτω έλικα του αριστερού μετωπιαίου λοβού. Συμπέρασμα αυτών των μελετών ήταν η φράση *«μιλούμε με το αριστερό ημισφαίριο»*.

Ο αντίλογος της θέσης του Broca συνοψίζεται στη φράση του John Hughlings Jackson (1835-1911) ότι *«η εντόπιση βλαβών που καταστρέφουν τον λόγο και η εντόπιση του λόγου είναι δύο διαφορετικά ζητήματα»*.

Το 1877 ο Thomas Barlow (1845-1945) παρουσίασε το ιστορικό ενός αγοριού που είχε αναπτύξει φυσιολογικό λόγο, τον έχασε, τον ανέκτησε και τελικά τον έχασε οριστικά. Η παθολογοανατομική εξέταση έδειξε βλάβη στην περιοχή Broca και στην ομόλογη περιοχή του δεξιού ημισφαιρίου. Πέρα από τον Barlow, ο Ferrier και ο Jackson συνηγορούσαν υπέρ της *«θεωρίας της αφθονίας»*, σύμφωνα με την οποία η δράση του εγκεφάλου είναι αμφίπλευρη. Βλάβη στο ένα εγκεφαλικό ημισφαίριο δεν οδηγεί αναγκαστικά σε μη αναστρέψιμη, καταστροφική κατάσταση. Ο κινητικός φλοιός του δεξιού ημισφαιρίου επαρκεί ώστε να επιτελούνται σε κάποιο βαθμό οι στοματοκινητικές λειτουργίες.

Το 1906 προέκυψε στο Παρίσι μία από τις μεγαλύτερες διαμάχες στην ιστορία της αφασιολογίας. Η φιλονικία ξεκίνησε όταν ο Pierre Marie (1853-1940) αμφισβήτησε τον ρόλο της κάτω μετωπιαίας έλικας στην ομιλία. Πρωταγωνιστές της διαμάχης, από την πλευρά των υπέρμαχων του *εντοπισμού*, ήταν οι Broca, Wernicke, Lichtheim, Charcot, Bastian και Déjerine· από την πλευρά του *ολισμού*, οι Jackson, Goltz, Freud και Marie. Η διχογνωμία διήρκεσε όλον τον 20ό αιώνα και συνεχίζει. Μέθοδοι λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου χρησιμοποιούνται σήμερα για τη διερεύνηση του ρόλου της εξειδίκευσης σε τοπογραφικό επίπεδο.

## ΕΡΓΟΓΡΑΦΙΑ

L. C. Triarhou: *Neural Transplantation in Cerebellar Ataxia*. Springer-Verlag, Heidelberg 1997

L. C. Triarhou: *Dopaminergic Neuron Transplantation in the Weaver Mouse Model of Parkinson's Disease*. Kluwer Academic, New York 2002

Λ. Κ. Τριάρχου: *Αναπτυξιακά Σύνδρομα στην Ειδική Αγωγή*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη 2006

C. de Duve: *Μηνύματα της Ζωής*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη 2006

C. von Economo: *Cellular Structure of the Human Cerebral Cortex*. Karger, Basel 2009

S. Ramón y Cajal: *Σκέψεις Παιδαγωγικής*. Εκδόσεις Εκκρεμές, Αθήνα 2014

S. Ramón y Cajal: *Δοκίμια Ψυχολογίας*. Εκδόσεις Εκκρεμές, Αθήνα 2014