

Χάος και τάξη στον ανθρώπινο εγκέφαλο¹

N. Birbaumer^{2,3}, H. Flor², W. Lutzenberger², και T. Elbert⁴

Μετάφραση: Ε. Μουτζούρη-Μανούσου, M.Sc.^{5,6}

Η ρύθμιση των κυτταρικών συναθροίσεων του φλοιού πραγματοποιείται από τις προσδιοριστικές χαοτικές «γεννήτριες» της συμπεριφοράς καθώς επίσης και από παράλληλα ενεργούς, καθαρά προσδιοριστικούς, μηχανισμούς. Τα ασθενή φλοιικά δυναμικά αντικατοπτρίζουν την τοπική διέγερση των κυτταρικών συναθροίσεων του φλοιού και κατά συνέπεια παράγουν συμπεριφορά κατά έναν καθαρά προσδιοριστικό τρόπο εάν η διέγερση υπερβεί ένα συγκεκριμένο ουδό εκκίνησης της νευρικής ώσης. Η ποικιλία και η ανικανότητα πρόβλεψης της συμπεριφοράς μπορεί, από την άλλη, να εξηγηθεί από θεωρίες μη-γραμμικών συστημάτων. Το αυθόρμητο ΗΕΓ χρησιμοποιείται σαν ένδειξη μιας τυπικής μη-γραμμικής «γεννήτριας». Παρουσιάζονται στοιχεία που υποστηρίζουν αυτές τις υποθέσεις.

Το θέμα αυτής της εργασίας είχε ήδη διατυπωθεί και λυθεί σε θεωρητικό επίπεδο γύρω στο 500 π.Χ. από τον Ηράκλειτο της Εφέσου. Ουσιαστικά, ο Ηράκλειτος μας υπενθυμίζει ότι ποτέ δεν θα καταλάβουμε την ανθρώπινη συμπεριφορά: «Δεν μπορείς να ανακαλύψεις τα όρια της ψυχής, ακόμη κι αν χρησιμοποιήσεις όλα τα υπάρχοντα μέσα, καθώς δεν έχει όρια και η χωρητικότητά της δεν μπορεί να εξαντληθεί ποτέ».

Σήμερα, 2500 χρόνια μετά τον θάνατό του, μπορούμε να προσεγγίσουμε μια εμπειρική απόδειξη των υποθέσεων του Ηράκλειτου σχετικά με την τάξη και το χάος στην ανθρώπινη φύση και το σύμπαν: «Η τάξη του τυχαία λυμένου είναι

η πιο όμορφη». Και: «Η μη-φανερή αρμονία είναι πιο δυνατή από τη φανερή». Η γενική θέση, που επεξηγείται εδώ, ακολουθεί τον στοχασμό του Ηράκλειτου.

1. Χαοτικές «γεννήτριες» μέσα στο ανθρώπινο μυαλό είναι ταυτόχρονα ενεργοί, με προσδιοριστικούς αιτιολογικούς μηχανισμούς για την παραγωγή της συμπεριφοράς.

2. Η πιθανότητα για την εμφάνιση ή κυριαρχία χαοτικών εγκεφαλικών λειτουργιών, και κατά συνέπεια, απρόβλεπτης συμπεριφοράς, σε συνδυασμό με τις προσδιοριστικές λειτουργίες, είναι υψηλότερη σε περιπτώσεις που στερούνται τη ζήτηση για προσανατολισμένη προς ένα σκοπό συμπεριφορά ή έλεγχο του

¹ Το άρθρο αυτό βασίζεται σε διάλεξη του πρώτου συγγραφέα, που έδωσε ως προσκεκλημένος ομιλητής στο 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ψυχολογίας, Αθήνα, Απρίλιος 1992.

² Πανεπιστήμιο Tübingen, Γερμανία.

³ Πανεπιστήμιο Padova, Ιταλία.

⁴ Πανεπιστήμιο Munster, Γερμανία.

⁵ Η κα Μουτζούρη είναι βιολόγος, υποψήφια διδάκτωρ στο Τμήμα Ψυχολογίας του Παν/μίου Αθηνών.

⁶ Επιμέλεια κειμένου: Α. Καλαντζή-Αζίζι.

περιβάλλοντος. Σε περιπτώσεις “free-floating σκέψης” ή περιπτώσεις προσανατολισμού προς έρευνα, του τύπου «δεν γνωρίζω», η δραστηριότητα του εγκεφάλου μετακινείται προς το χάος.

3. Ο αποσυντονισμός μιας εξαιρετικά συντονισμένης δυναμικής ισορροπίας μεταξύ χαοτικών και μη-χαοτικών «γεννητριών» συμπεριφοράς έχει συχνά θεωρηθεί ως παρέκκλιση από την υγεία στην παθοφυσιολογία και ψυχοπαθολογία. Μοιάζει πιο πιθανό ότι μια μετακίνηση προς την τάξη και τον αυστηρό προσδιορισμό βρίσκεται στην καρδιά της παθολογίας. Η επιληψία είναι ένα παράδειγμα, ο καταστρεπτικός ινιδισμός της καρδιάς μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα άλλο παράδειγμα. Στα λόγια του Ηράκλειτου ότι η «τάξη του τυχαίως λυμένου» είναι η βάση της ομορφιάς, μπορεί να συμπληρωθεί ότι είναι επίσης και η βάση της υγείας.

Προσδιοριστικές εγκεφαλικές λειτουργίες και ρύθμιση των ουδών εκκίνησης της νευρικής ώσης για συμπεριφορά και σκέψη

Κατά πόσο μια συγκεκριμένη συμπεριφορά ή σκέψη εμφανίζεται να εξαρτάται από την οδό διέγερσης μιας συγκεκριμένης συνάθροισης κυττάρων στον εγκέφαλο; Η έννοια της συνάθροισης κυττάρων (Hebb, 1949 και 1961) έχει γίνει θεμελιώδης σε μοντέλα που αφορούν τη λειτουργία του εγκεφάλου, παρόλο που πολλοί νευροψυχίατροι ήταν απρόθυμοι να δεχτούν το μάθημα που έπρεπε να μάθουν από έναν ψυχολόγο για περισσότερο από 20 χρόνια. Ο Hebb αποδέχτηκε ότι η βραχυπρόθεσμη μνήμη παρουσιάζεται σε αντανakλαστικά κυκλώματα, όπως είχε περιγράψει νωρίτερα ο

Lorento de No (1943). Μόλις ενεργοποιηθούν αυτά τα κυκλώματα, μπορούν να διατηρήσουν τη διέγερση ως μια ομάδα νευρώνων, όπου κάθε νευρώνας διεγείρεται από, και διεγείρει άλλα μέλη της ίδιας ομάδας. Εάν ένας αρκετά μεγάλος αριθμός νευρών σε μια τέτοια συνάθροιση κυττάρων ενεργοποιηθεί, ολόκληρη η ομάδα θα ενεργοποιηθεί.

Η ανάπτυξη των συναθροίσεων νευρικών κυττάρων εξαρτάται από τα *plastic* (Hebbian) διεγερτικά συστήματα κυττάρων που χαρακτηρίζονται από ταχύ χρόνο αύξησης κατασκευής συναθροίσεων. Το σύστημα που αρμόζει ιδανικά για αυτό το σκοπό είναι οι ακραίοι πυραμιδικοί δένδριτες του ανώτερου στρώματος του φλοιού. Μια συνάθροιση κυττάρων συμπεριλαμβάνει μερικές φορές ευρέως διασκορπισμένα φλοιϊκά νεύρα, συμπεριλαμβάνοντας αισθητικές, αντιληπτικές και κινητικές λειτουργίες. Οποιοσδήποτε περιοριστικός διαχωρισμός σε υψηλά εξειδικευμένες ομάδες-μονάδες, όπως είναι διαδεδομένο στη νευροψυχολογία, είναι ξεπερασμένος, εν αντιθέσει με το γεγονός ότι κάθε επαρκώς μεγάλη συνάθροιση νευρώνων του φλοιού, συνδέεται με κάθε άλλη συνάθροιση νευρώνων, σχηματίζοντας την ανατομική βάση της ψευδαίσθησής μας για ενοποιημένη συνείδηση. Η έννοια και η ποιοτική φύση ενός γεγονότος, μιας ιδέας, ενός συναισθήματος ή μιας αντίληψης αντανakλάται στην τοπογραφία, π.χ. στο τοπογραφικό “*Gestalt*” μιας συνάθροισης και όχι στις ιδιότητες των μερών της, των κυττάρων ή των μεταδοτών της.

Η εξειδίκευση μιας συνάθροισης κυττάρων αντανakλάται καλύτερα μέσα από την εξάπλωση στο χώρο και μέσα από τη συχνότητα ταχέως εναλλασσόμενων ηλεκτρικών δραστηριοτήτων, όπως τα ΗΕΓ, ΜΕΓ και ERP. Το στοιχείο της

ταχύτητας είναι σημαντικό, γιατί οι συναθροίσεις πρέπει να έχουν την ικανότητα να αναφλέγονται εκρηκτικά ως ενότητα: ένα ψιθύρισμα μπορεί να θέσει σε λειτουργία μια πλήρη παρανοϊκή ψευδαίσθηση μέσα σε κλάσμα δευτερολέπτου, περιλαμβάνοντας όλες, ή σχεδόν όλες, τις αισθητικές, κινητικές και αντιληπτικές πλευρές αυτής της ψευδαίσθησης.

Η ανάφλεξη μιας δεδομένης συνάθροισης κυττάρων και οι «αντιθέσεις» μεταξύ συναθροίσεων (their foreground-background Gestalt), εξαρτάται από τον ουδό εκκίνησης της συνάθροισης. Συνήθως οι συναθροίσεις διεγείρονται από εξωτερικά και εσωτερικά ερεθίσματα. Πιο συχνά, διεγείρονται από εξαρτημένα ερεθίσματα τα οποία συνήθως προηγούνται του ερεθίσματος που θα πυροδοτήσει τελικά τη συγκέντρωση. Σε συνδυασμό με την εξωτερικά ελεγχόμενη ρύθμιση του ουδού εκκίνησης, οι συναθροίσεις κυττάρων έχουν το δικό τους αυτόματο έλεγχο του ουδού εκκίνησης, ώστε, όπως το θέτει ποιητικά ο Braitenberg, να «ανακαλύψουν και να απομονώσουν ιδέες...», να ενισχύσουν ιδέες «και να τις κρατήσουν χωριστά» (Braitenberg & Schuz, 1991, σ. 205). Μια άλλη κύρια λειτουργία του αυτόματου ελέγχου του ουδού εκκίνησης είναι να εμποδίσουν τη μετάβαση από ένα “*Einfall*” σε ένα “*Anfall*” (μετάβαση από μια ιδέα σε μια σύλληψη/προβολή) σε ένα διεγερμένο νευρικό δίκτυο. Ενυπάρχουσα στον έλεγχο του ουδού εκκίνησης είναι η μη γραμμική μετάλλαξη πληροφοριών. Για αυτό το λόγο, οφείλουμε να χρησιμοποιήσουμε αρχές από τη θεωρία των μη γραμμικών συστημάτων (προσδιοριστικό-χάος) ώστε να καταλάβουμε τα δυναμικά σχέδια του ελέγχου του ουδού εκκίνησης. Επίσης, όπως επεξηγείται παρακάτω, τα ασθενή φλοιϊκά δυναμικά

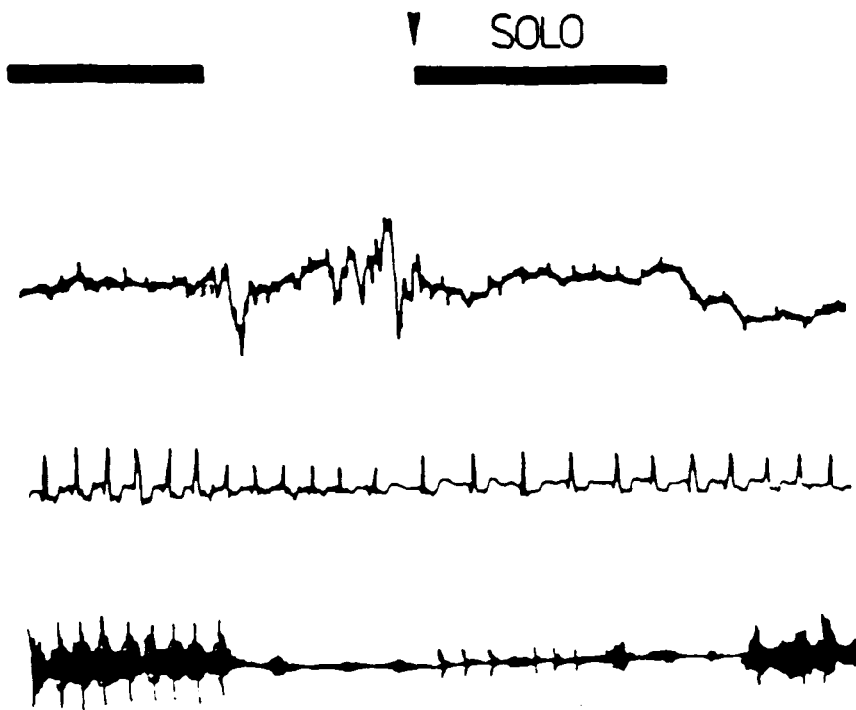
(ΑΦΔ) μοιάζουν να είναι ένα βοηθητικό εργαλείο στη μέτρηση ερεθίσματος-αντίδρασης ή «ιδέας»-οργάνωσης στη ρύθμιση του ουδού εκκίνησης.

Τα ασθενή δυναμικά του φλοιού του εγκεφάλου αντικατοπτρίζουν τοπικούς ουδούς διέγερσης των κυτταρικών συναθροίσεων του φλοιού και κατά συνέπεια παράγουν συμπεριφορά ή σκέψη αν μία δεδομένη συνάθροιση ή περιοχή του εγκεφάλου διεγερθεί πάνω από ένα συγκεκριμένο όριο εκκίνησης.

Τα τελευταία 20 χρόνια, εμείς και άλλοι έχουμε συγκεντρώσει αποδείξεις ότι τα χαμηλά φλοιϊκά δυναμικά, όπως καταγράφονται στο ανθρώπινο ΗΕΓ, αποτελούν τη φυσιολογική βάση για τον αποδεκτό μηχανισμό ρύθμισης του ουδού εκκίνησης. Επίσης αλλαγές στα ασθενή φλοιϊκά δυναμικά διευκολύνουν ή διατηρούν τη συμπεριφορά και τη σκέψη με έναν ιδιαίτερα προσδιοριστικό τρόπο. Η Εικόνα 1 δίνει ένα παράδειγμα ενός ασθενούς εγκεφαλικού δυναμικού σε έναν καλά εκπαιδευμένο μουσικό κατά τη διάρκεια μιας ζωντανής παράστασης ενός κονσέρτου.

Πριν από την πραγματική συμπεριφορά, το ΗΕΓ δείχνει την εξέλιξη μιας αργής αρνητικής μεταβολής, η ευρύτητα της οποίας είναι ανάλογη της προσπάθειας για προσοχή ή κίνηση, που είναι αναγκαία για την προετοιμασία της συμπεριφοράς ή σκέψης.

Η φυσιολογική βάση των ασθενών φλοιϊκών δυναμικών έχει τώρα οριστεί (Speckmann & Elger, 1982). Παράγονται στα ανώτερα στρώματα του νεο-φλοιού, τα οποία αποτελούνται από τους «ακραίους δενδρίτες», όπου όλες οι προσεγόμενες πληροφορίες από το θάλαμο ενώνονται με ενδοφλοιϊκές και ενδοημισφαιρικές πληροφορίες. Όταν αυτοί οι δενδρίτες, οι οποίοι αποτελούν τις προ-



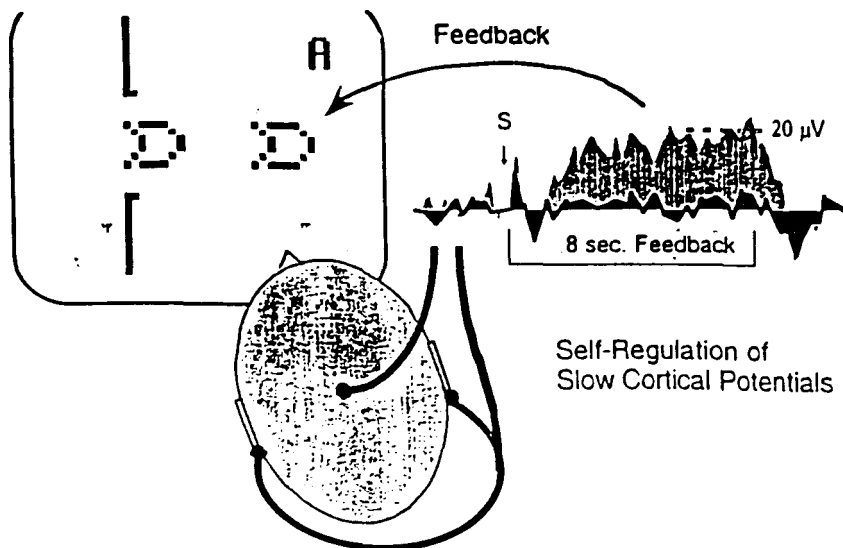
ΕΙΚΟΝΑ 1. Αρνητική μεταβολή που προηγείται του «σόλο» του κορνετίστα στο κονσέρτο του Ravel για το αριστερό χέρι. Το άνω γράφημα δείχνει την έναρξη του σόλο, μετά από μία περίοδο ησυχίας (διακοπή). Το δεύτερο γράφημα επισημαίνει το μη-φιλτραρισμένο ΗΕΓ, το τρίτο γράφημα τους χτύπους της καρδιάς και το τέταρτο γράφημα τους ήχους της ορχήστρας. (Από Haider και Kroll-Knapp, με ευγενή παραχώρηση και από M. Titarek (Ed.) Streb und Kunst, Braumuller, Wien, Austria).

σαγόμενες επεκτάσεις των νευρικών κυττάρων, ετοιμάζονται για διέγερση, γίνονται ηλεκτρικά αρνητικοί. Όταν αναχαιτίζονται, γίνονται ηλεκτρικά θετικοί. Εάν αυτά τα ασθενή φλοιϊκά δυναμικά πράγματι αντανακλούν τον ουδό εκκίνησης της ρύθμισης του εγκεφάλου, η ρύθμισή τους με μια ηλεκτρικά αρνητική ή θετική κατεύθυνση θα έπρεπε, ως επακόλουθο, να τροποποιεί τη σχετική συμπεριφορά ή τις σκέψεις που παράγονται από μια τοπική συνάνθροιση κυττάρων υπεύθυνων γι' αυτές τις συμπεριφορές ή σκέψεις.

Για να εξετάσουμε αυτή την υπόθεση, έχουμε χρησιμοποιήσει διάφορες μεθοδο-

λογίες, μεταξύ αυτών και τη συντελεστική εξάρτηση ή αυτο-ρύθμιση των ασθενών φλοιϊκών δυναμικών. Όταν τα ανθρώπινα υποκείμενα αλλάζουν τα ασθενή δυναμικά τους προς την αρνητική κατεύθυνση (περισσότερη διέγερση), συγκεκριμένες συμπεριφορές θα έπρεπε να διευκολύνονται, ενώ μία αλλαγή προς τη θετική κατεύθυνση (λιγότερη διέγερση), θα έπρεπε να αναχαιτίζει τη συμπεριφορά.

Σε μια σειρά ερευνών (επανεξετάστηκαν από τον Birbaumer et al, 1990 και τον Rockstroh et al., 1989), όπου χρησιμοποιήθηκαν υγιή υποκείμενα και κλινικοί ασθενείς, τα υποκείμενα έμαθαν να ελέγ-



ΕΙΚΟΝΑ 2. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου ανατροφοδότησης. Οι καμπύλες στα δεξιά απεικονίζουν παραδείγματα του φιλτραρισμένου ενεργού ακατέργαστου ΗΕΓ από το ηλεκτρόδιο της κορυφής του εγκεφάλου (αναφέρεται στο συνδεδεμένο ακουστικό λοβό) πριν από και κατά τη διάρκεια του διαλείμματος ανατροφοδότησης. Η άνω καμπύλη δείχνει μια DC μεταβολή προς αυξημένη αρνητικότητα (ξεκινάει από το “S”), η κατώτερη καμπύλη αντιπροσωπεύει μια DC μεταβολή όταν η αρνητικότητα καταστέλλεται. Το γράμμα “A” στην πάνω δεξιά γωνία της σχηματικά απεικονιζόμενης οθόνης τηλεόρασης μπροστά από τα υποκείμενα, σημαίνει ότι σ’ αυτό το παράδειγμα μιας συγκεκριμένης δοκιμής, μια μεταβολή προς αυξημένη αρνητικότητα απαιτείται ώστε να μετακινηθεί το ερέθισμα ανατροφοδότησης (περίγραμμα της ρουκέτας) από την αρχική του θέση μεταξύ των δύο κάθετων στηλών προς τα δεξιά. Η σχέση μεταξύ της αρνητικής μεταβολής και της ανατροφοδότησης σημειώνεται με ένα βέλος. (Από Rockstroh et al., 1993, με ευγενή παραχώρηση).

χουν τοπικές αρνητικότητες και θετικότητες, διάρκειας 6-10 δευτερολέπτων, χρησιμοποιώντας τη συσκευή βιοανατροφοδότησης, την οποία αναπτύξαμε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 (Elbert et al., 1980). Η αρχή αυτής της ανατροφοδότησης επεξηγείται στην Εικόνα 2.

Τα υποκείμενα παρακολουθούσαν την οθόνη μιας τηλεόρασης, που έδειχνε το ΑΦΔ (ασθενές φλοιϊκό δυναμικό) τους σε σχήμα ρουκέτας. Τα ΑΦΔ αποθηκεύονταν στην κορυφή του κρανίου (Cz) και παρουσιάζονταν συνεχώς, έτσι ώστε η σκιαγραφημένη ρουκέτα μετατοπιζόταν

πίσω και μπρος σε ένα οριζόντιο πεδίο επί 6-10 δευτερόλεπτα σε κάθε δοκιμή (ανάλογα με τις ερωτήσεις του πειράματος). Όσο πιο κοντά πλησίαζε ρουκέτα στις δύο κάθετες μπάρες αριστερά και δεξιά, τόσο περισσότερο αρνητικό ή θετικό γινόταν το συγκεκριμένο δυναμικό. Η εμφάνιση του γράμματος Α ή Β σε κάθε δοκιμή έδειχνε αν το υποκείμενο/ασθενής έπρεπε να παράγει θετικότητα ή αρνητικότητα. Οι σωστές απαντήσεις ενισχύονταν συνήθως με σημεία που εμφανίζονταν μετά από κάθε δοκιμή, στην οθόνη. Τα σημεία ανταλλάσσονταν

αργότερα με χρήματα. Στις συναντήσεις πραγματοποιούνταν, κατά μέσο όρο, 40 με 60 δοκιμές ανατροφοδότησης, με ψευδοτυχαίες διαδοχές Α (π.χ. θετικότητα) ή Β (π.χ. αρνητικότητα). Δοκιμές του «Α» ή του «Β» παρουσιάζονταν σε δοκιμές μεταφοράς, στις οποίες τα υποκείμενα έπρεπε να παράγουν αρνητικότητα ή θετικότητα χωρίς ανατροφοδότηση. Διαφορετικά είδη καθηκόντων παρουσιάζονταν κατά τη διάρκεια των δοκιμών μεταφοράς, για να δοκιμάσουν τις επιδράσεις της εκπαίδευσης στη συμπεριφορά και την αντίληψη. Τα υποκείμενα δεν ενημερώνονταν για το αν το Α ή Β αντιπροσώπευε θετικές ή αρνητικές ΑΦΔ αλλαγές.

Στοιχεία που δημοσιεύθηκαν τα τελευταία 15 χρόνια σχετικά με το θέμα είναι πολύ αξιόπιστα και δείχνουν:

α) Τα υποκείμενα είναι ικανά να παράγουν, κατόπιν διάκρισης, τοπικά εμπρόσθια, κεντρικά, πλευρικά, δεξιού-αριστερού ημισφαιρίου, θετικά και αρνητικά ΑΦΔ (Εικόνα 3).

β) Η παρουσίαση στη συμπεριφορά και στην αντίληψη γίνεται άκρως προβλέψιμη εάν το σημείο του φλοιού και η πολικότητα (θετική ή αρνητική) των αλλαγών, που επιτυγχάνονται, είναι γνωστή, π.χ. η αριστερή προκεντρική αρνητικότητα αυξάνει την απτική εκτέλεση και την ταχύτητα της αντίδρασης του δεξιού χεριού και αντίστροφα. Η θετικότητα ελαττώνει την απόδοση/εκτέλεση.

γ) Αυτά και άλλα στοιχεία απέκλεισαν την πιθανότητα ότι μια μη-συγκεκριμένη ενεργοποίηση ή αναστολή ολόκληρου του φλοιού ευθύνεται για τις επιδράσεις που επιτεύχθηκαν.

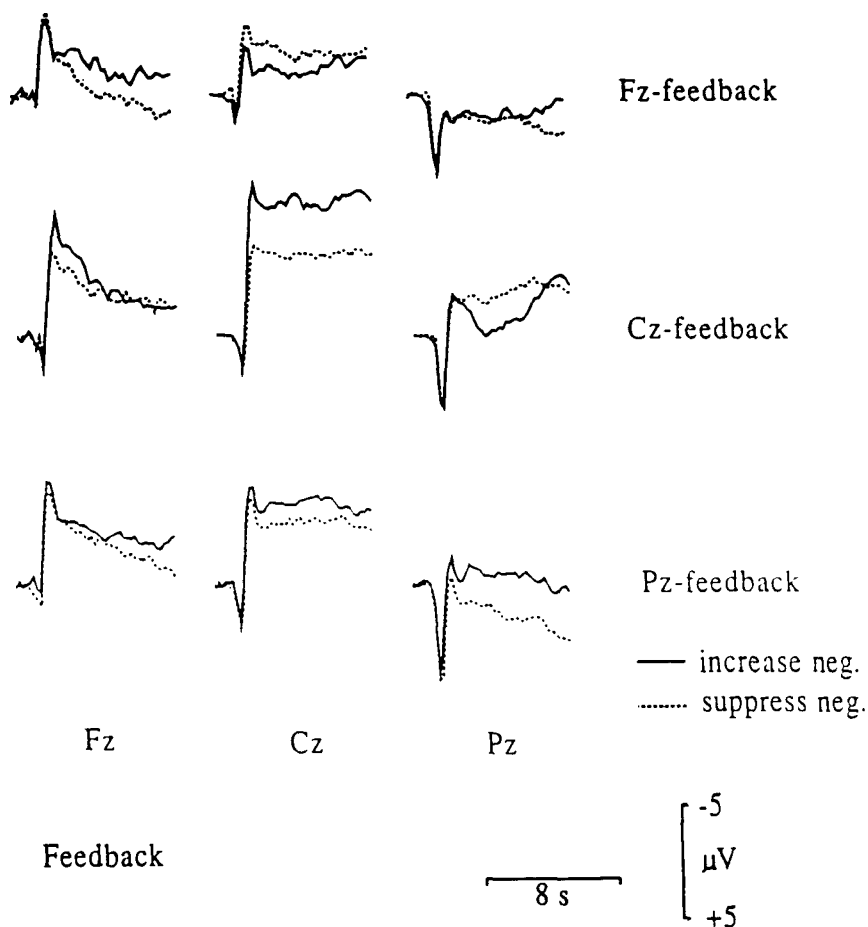
Η γενική σχέση μεταξύ της επιτευχθείσας ευρύτητας των κεντρικών ΑΦΔ και της παρουσίας προσοχής, π.χ. σε ένα καθήκον αντίληψης σήματος (Lutzen-

berger et al., 1979) ακολουθεί μια ανάστροφη, σχήματος U, συνάρτηση. Με μία αύξηση στη θετικότητα, οι «αποτυχίες» γίνονται πιο συχνές, ενώ με υπερβολική αρνητικότητα συμβαίνουν περισσότεροι «ψευδείς συναγερμοί».

Διαφορετικά καθήκοντα και τοποθεσίες χρησιμοποιήθηκαν και όλα οδηγούν προς την ίδια κατεύθυνση: ταχύτητα απάντησης, καθήκοντα επαγρύπνησης, απτικά καθήκοντα, αντανάκλαστικές κινήσεις (καθήκοντα μνήμης οδήγησαν σε λιγότερο καθαρά αποτελέσματα), διεγείρονται από τοπικές αρνητικότητες και αναστέλλονται από τοπικές θετικότητες.

Η στενή σχέση μεταξύ της συμπεριφοράς και των εγκεφαλικών διαδικασιών, ακόμη και σε ένα μη-συνειδητό επίπεδο, περιγράφεται από το ακόλουθο πείραμα (Lutzenberger et al., 1985). Τα υποκείμενα σ' αυτό το πείραμα έμαθαν να ελέγχουν την πολικότητα του φλοιού του δεξιού ή αριστερού κεντρικού κινητικού ημισφαιρίου του εγκεφάλου. Έκαναν ανατροφοδότηση της διαφοράς μεταξύ του δεξιού και αριστερού φλοιού του ημισφαιρίου και τους ζητήθηκε να κάνουν τον δεξιό φλοιό του ημισφαιρίου αρνητικό και ταυτόχρονα το αριστερό ημισφαίριο θετικό. Κάθε φορά που ένας υψηλός τόνος παραγόταν από τον υπολογιστή ως διακριτικό ερέθισμα, τα υποκείμενα έπρεπε να παράγουν αρνητικότητα στο δεξιό-κεντρικό φλοιό. Κάθε φορά που ένας χαμηλός τόνος παρουσιαζόταν, το αριστερό ημισφαίριο έπρεπε να γίνει αρνητικό και αντιστρόφως. Το έμαθαν αυτό μέσα σε πέντε συναντήσεις (μίας ώρας). Η Εικόνα 4 δείχνει ότι οι αντιδράσεις των υποκειμένων εντοπιζόνταν σε αυτές τις περιοχές του εγκεφάλου όπου γίνεται η ανατροφοδότηση.

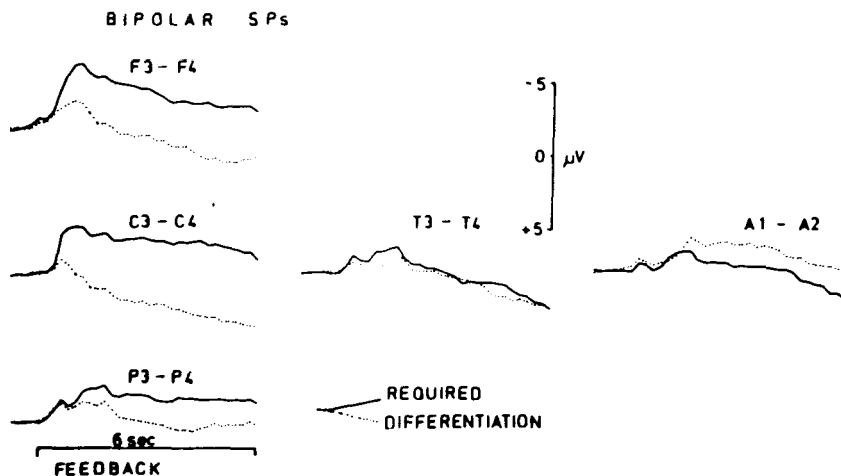
Μετά τις εκπαιδευτικές συναντήσεις ακολούθησε μία συνάντηση για έλεγχο



ΕΙΚΟΝΑ 3. Ασθενή φλοιϊκά δυναμικά δοκιμών αρνητικότητας και θετικότητας στην τρίτη συνάντηση της εκπαίδευσης συγκεκριμένης περιοχής (η τελευταία δηλαδή συνάντηση που περιελάμβανε μόνο ανατροφοδότηση). Ασθενή δυναμικά καταγραμμένα από Fz, Cz, και Pz ηλεκτρόδια (τετμημένα) παρουσιάζονται για ομάδες που λάμβαναν ανατροφοδότηση από διαφορετικές μέσο-οβελιαίες τοποθεσίες. (Από Birbaumer et al., 1992, με ευγενή παραχώρηση).

της συμπεριφοράς, στην οποία τα υποκείμενα έπρεπε να πατήσουν εθελοντικά ένα κουμπί με το δεξί ή το αριστερό χέρι όποτε ήθελαν να το πραγματοποιήσουν. Τους είχε δοθεί η οδηγία να χρησιμοποιούν τυχαία είτε το δεξί είτε το αριστερό χέρι για να πατήσουν το κουμπί. Ταυτόχρονα με αυτό το έργο, ένα από τα δύο διακριτικά ερεθίσματα, που είχαν χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια των εκπαι-

δευτικών μαθημάτων, παρουσιαζόταν τυχαία, δηλαδή ένας υψηλός τόνος ή ένας χαμηλός τόνος παρουσιαζόταν για 7 δευτερόλεπτα και τα υποκείμενα έπρεπε να αποφασίσουν ποιο χέρι να διαλέξουν για να πατήσουν το κουμπί. Τα υποκείμενα πάντα διάλεγαν το αντίθετο χέρι σε αυτόν τον τόνο που ήταν πριν συνδεδεμένος με μονομερή αρνητικότητα του φλοιού. Εάν παρουσιαζόταν ένας τόνος,

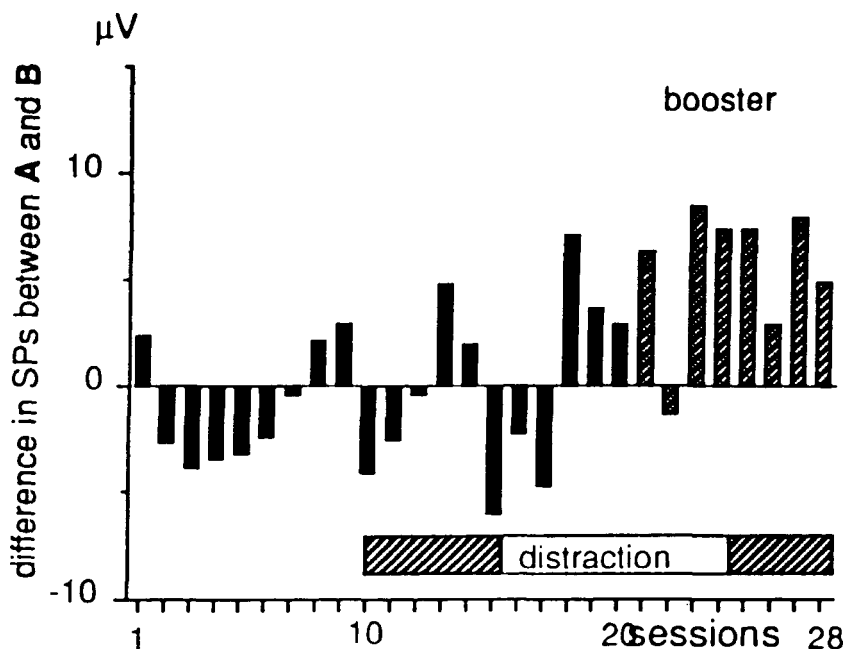


ΕΙΚΟΝΑ 4. Μέσος όρος διπολικών ασθενών φλοιϊκών δυναμικών 45 υποκειμένων κατά τη διάρκεια των έξι διαλειμάτων δεύτερης ανατροφοδότησης, κατά την πέμπτη εκπαιδευτική συνάντηση. Τα υποκείμενα εκπαιδεύονταν να παράγουν τη μέγιστη διαφορά μεταξύ των δεξιών κεντρικών και αριστερών κεντρικών ηλεκτροδίων. Οι μέσοι όροι είναι χωρισμένοι για τις διάφορες καταγραφές: μετωπιαίες (F3-F4), προκεντρικές (C3-C4), βρεγματικές/πλευρικές (P3-P4) και κροταφικές (T3-T4). Τα A1-A2 παρουσιάζουν καταγραφές από τα ηλεκτρόδια αναφοράς στα αυτιά. (Από Lutzenberger et al, 1985, με ευγενή παραχώρηση).

που σηματοδοτούσε αρνητικότητα του φλοιού του αριστερού ημισφαιρίου, τα υποκείμενα διάλεγαν να κινήσουν το δεξί τους χέρι και εάν ο τόνος σηματοδοτούσε δεξιά ημισφαιρική αρνητικότητα κινούσαν το αριστερό τους χέρι. Κανένα από τα υποκείμενα δεν γνώριζε το γεγονός ότι η αντίδρασή τους ήταν καθορισμένη από τους τόνους και τη σχετική αρνητικότητα του φλοιού. Όλα ανέφεραν ότι αποφάσισαν ελεύθερα ποιο χέρι ήθελαν να κινήσουν. Το πείραμα δείχνει ότι η συνειδητή εθελοντική συμπεριφορά καθορίζεται από τη μη-συνειδητή προετοιμασία της συμπεριφοράς. Η για να το πούμε με τα λόγια του Αυστριακού συγγραφέα Robert Musil: «Η ελεύθερη βούληση των ανθρώπων είναι η ικανότητά τους να κάνουν εθελοντικά αυτό που θέλουν να κάνουν μη-εθελοντικά». Ο Ηράκλειτος, όπως αναφέρεται από τον Cle-

mens της Αλεξάνδρειας, χρησιμοποίησε τα παρακάτω λόγια: «Αν το απρόβλεπτο δεν προσμένεται, δεν το ανακαλύπτουμε, γιατί τότε παραμένει ανεξιχνίαστο και απρόσιτο».

Σε άλλα πειράματα, εξετάστηκαν αρκετές κλινικές ομάδες με υποτιθέμενες διαταραχές ρύθμισης των ουδών εκκίνησης και προσοχής: ασθενείς με βλάβες του μετωπιαίου λοβού (Lutzenberger et al., 1980), υποκείμενα επιρρεπή στην ψύχωση (Elbert et al., 1983), σχιζοφρενείς (Schneider et al., 1991), παιδιά με προβλήματα προσοχής (Rockstroh et al., 1991), ασθενής με χρόνιο πόνο (Haag et al., 1982), επιληπτικοί ανθιστάμενοι στα φάρμακα (Rockstroh et al., 1991) και ασθενείς με ψυχοσωματικές διαταραχές (Lutzenberger et al., 1980). Ασθενείς με λειτουργικές και νευρολογικές διαταραχές του προ-μετωπιαίου λοβού, όπως οι

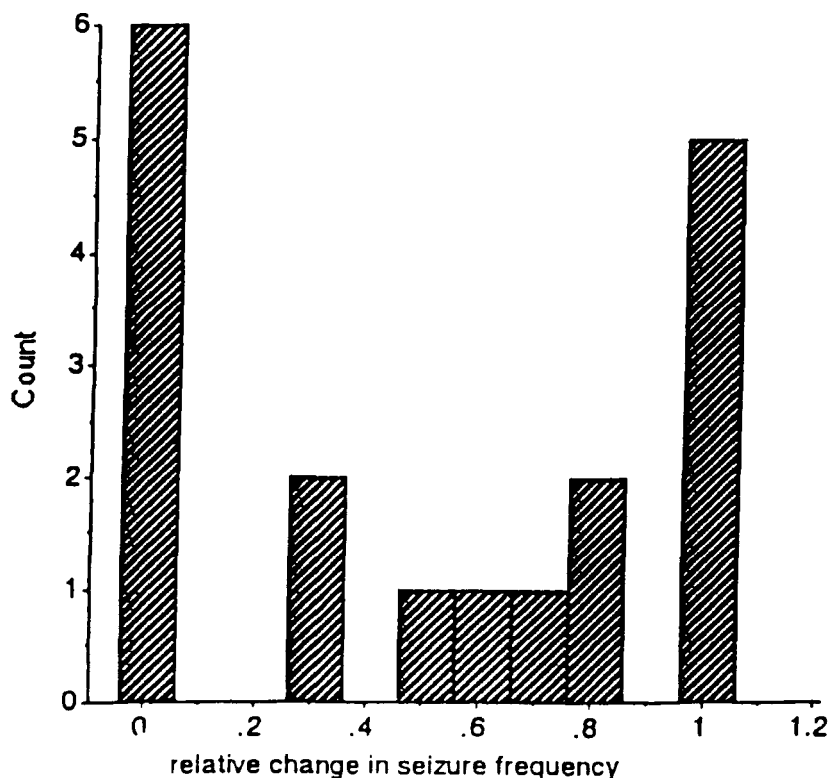


ΕΙΚΟΝΑ 5. Μέση επιτευχθείσα διαφοροποίηση στα ασθενή φλοιϊκά δυναμικά (σε microvolts) για την ομάδα ασθενών (N=25), κατά τη διάρκεια των 28 εκπαιδευτικών συναντήσεων (τετμημένη), κατά τη διάρκεια ανατροφοδότησης (μέσος όρος της πρώτης και δεύτερης ανατροφοδότησης σε κάθε συνάντηση). Κάθε κύκλος αντιπροσωπεύει το συνολικό μέσο όρο μιας συνάντησης. Προσοχή στη σημαντική απλή και κυβική τάση, που δείχνει την ανάπτυξη της διαφοροποίησης των ΑΦΔ για τις συναντήσεις και κυρίως κατά τη διάρκεια των συναντήσεων 21-28. (Από Rockstroch et al., 1993, με ευγενή παραχώρηση).

σχιζοφρενείς, υποκείμενα με υψηλό κίνδυνο για σχιζοφρένεια, παιδιά με διαταραχές προσοχής και ασθενείς με διμερείς βλάβες των μετωπιαίων λοβών ήταν ανίκανοι να μεταφέρουν την αντίδραση που έμαθαν και χρειάζονταν εκτεταμένη εκπαίδευση ως και 30 μαθημάτων, για να μάθουν τη ρύθμιση του ΑΦΔ. Ασθενείς με αυξημένη συνειδητότητα των εσωτερικών και σπλαχνικών σωματικών διαδικασιών, όπως ασθενείς με χρόνιο πόνο ή ασθενείς που υποφέρουν από ημικρανίες και ασθενείς που πάσχουν από κατάθλιψη εκτελούσαν καλύτερα από τους φυσιολογικούς.

Μια διπλά «τυφλή» μελέτη σε 24, αν-

θιστάμενους στα φάρμακα, ενήλικες επιληπτικούς ασθενείς, έδειξε την κλινική χρησιμότητα του παραδείγματός μας και απέδειξε, για μια ακόμη φορά, ότι η θετικότητα αυξάνει και η αρνητικότητα ελαττώνει τον ουδό διέγερσης. Αρκετές μελέτες (π.χ. Chatrian et al., 1968) έδειξαν ότι οι επιληπτικές κρίσεις συνοδεύονται από μεγάλα αρνητικά δυναμικά του φλοιού. Τα αντι-επιληπτικά φάρμακα μειώνουν την αρνητικότητα του φλοιού και κατά συνέπεια ελαττώνουν την πιθανότητα κρίσεων. Το εκπαιδευτικό μας πρόγραμμα για τη συμπεριφορά σχεδιάστηκε σύμφωνα με τις επιδράσεις των φαρμάκων: εάν τα φάρμακα μειώ-



ΕΙΚΟΝΑ 6. Κατανομή συχνοτήτων των σχετικών αλλαγών στη συχνότητα κρίσεων, υπολογισμένων ως το κλάσμα της μέσης εμφάνισης κρίσεων κατά τη διάρκεια της περιόδου που ακολουθεί τη βασική εκπαίδευση, προς τη μέση εμφάνιση, κατά τη διάρκεια της βασικής εκπαίδευσης. Η τιμή 0 στην τετμημένη σημαίνει ότι ο ασθενής απελευθερώθηκε από τις κρίσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου που ακολουθεί τη βασική εκπαίδευση. Η τιμή 1 σημαίνει ότι η συχνότητα των κρίσεων έχει παραμείνει αμετάβλητη (Από Rockstroh et al., 1993, με ευγενή παραχώρηση).

νουν την αρνητικότητα και κατά συνέπεια εμποδίζουν την εμφάνιση των κρίσεων, η μείωση της αρνητικότητας, που μαθαίνεται μέσω της συμπεριφοράς ή η θετικότητα που μαθαίνεται, θα έπρεπε να έχει τις ίδιες επιδράσεις.

Στη μελέτη της επιληψίας, οι ασθενείς έπρεπε να διακρίνουν κεντρικές αρνητικότητες και θετικότητες κατά τη διάρκεια των πρώτων 20 εκπαιδευτικών μαθημάτων. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 8 προωθητικών μαθημάτων εκπαιδεύονταν να παράγουν μόνο θετικότητα

του φλοιού για να καταστείλουν τη δραστηριότητα της κρίσης. Η ομάδα ελέγχου δεχόταν μόνο ανατροφοδότηση της «Α» δραστηριότητάς του. Η Εικόνα 5 δείχνει την αργή καμπύλη μάθησης των ασθενών στην πειραματική ομάδα όσον αφορά την παραγωγή αρνητικότητας ή θετικότητας «κατά διαταγή».

Η Εικόνα 6 επιδεικνύει τα κλινικά αποτελέσματα για την πειραματική ομάδα. Με την εξαίρεση ενός ασθενούς, μόνον οι ασθενείς που έμαθαν να παράγουν αρνητικότητες και θετικότητες προό-

δευσαν ή απαλλάχτηκαν από τις κρίσεις. Κανένα από τα υποκείμενα στην ομάδα ελέγχου δεν έδειξε οποιαδήποτε βελτίωση. Αυτή είναι μια εντυπωσιακή επιβεβαίωση των υποθέσεών μας σχετικά με το σημαντικό ρόλο των ασθενών φλοιϊκών δυναμικών.

Προσδιοριστικό χάος σε συναθροίσεις νευρικών κυττάρων

Από αυτές τις μελέτες, μπορεί ίσως κάποιος να συμπεράνει ότι η συνειδητή εθελοντική συμπεριφορά μας ορίζεται από έναν αιτιολογικό και προκαθορισμένο μηχανισμό ρύθμισης του ουδού εκκίνησης. Παρ' όλα αυτά, από καιρό σε καιρό, μερικοί από εμάς παράγουν νέες σκέψεις ή ιδέες, μερικοί έχουν την ικανότητα να αλλάζουν την πορεία της ζωής κάποιου, άλλοι μπορούν να ξεφύγουν από την προκαθορισμένη μοίρα τους. Η μεταβλητότητα και η ανικανότητα πρόβλεψης ορισμένων νευρικών και συμπεριφορικών αντιδράσεων δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο από την κλασσική «γραμμική» επιστήμη, αλλά χρειάζεται να συμπεριληφθούν επεξηγήσεις που βασίζονται στη μη-γραμμική θεωρία.

Η ιδέα της ύπαρξης «χαοτικών» δραστηριοτήτων σε βιολογικά συστήματα, και συγκεκριμένα το κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ) δεν είναι καινούργια. Παρ' όλα αυτά, στοχαστές της προσωπικής περιόδου στην αρχαία Ελλάδα, και ο Girolamo Cardano, ένας επιστήμονας της Αναγέννησης (προσπάθησε να προβλέψει τα αποτελέσματα στοιχημάτων), ήταν ανάκανοι να διατυπώσουν μαθηματικούς κανόνες για μη προβλεπόμενα γεγονότα, όπως τα αποτελέσματα στοιχημάτων, τον καιρό, τις κινήσεις του εκκρεμούς, τη συμπεριφορά των κυμά-

των. Παρά το γεγονός ότι μερικοί φιλόσοφοι και φυσικοί, π.χ. ο Γαλιλαίος, σκέφτηκαν για το χάος σε διαφορετικά φυσικά συστήματα, όπως για τον καιρό και την κίνηση των πλανητών, η εφαρμογή μιας «χαοτικής» άποψης στα βιολογικά συστήματα ήρθε τελευταία στη μικρή ιστορία της έρευνας για το χάος, επειδή οι κυβερνητικά (cybernetic) ή ανατροφοδοτικά προσανατολισμένες απόψεις είχαν και ακόμη έχουν πειστική επεξηγητική δύναμη για τις φυσιολογικές ρυθμίσεις. Ενώ ο κλασσικός «φαινομενολογικός» ορισμός του «χάους» στηρίζεται στην απουσία τάξης και στην παρουσία ανικανότητας πρόβλεψης, ο σύγχρονος ορισμός του χάους βασίζεται στα μη-γραμμικά μαθηματικά, των οποίων οι αρχές τέθηκαν στα τέλη του 19ου αιώνα από τον Poincare. Παρ' όλα αυτά, η θεωρία για το χάος έγινε προσιτή όταν ο Lorenz (1963), εξέδωσε την μελέτη του για την «Προσδιοριστική μη-περιοδική ροή» στην «Εφημερίδα των Ατμοσφαιρικών Επιστημών».

Σήμερα το χάος ορίζεται ως «η στοχαστική συμπεριφορά σε ένα προσδιοριστικό σύστημα» ή σε πιο απλή μορφή, το χάος είναι άνομη συμπεριφορά, ολοκληρωτικά ορισμένη από (προσδιοριστικούς) νόμους. Οι Skarda και Freeman (1987) μείωσαν τον ορισμό σε έναν απλό όρο: χάος είναι ο «ψευδοτυχαίος θόρυβος».

Γιατί το προσδιοριστικό χάος θα έπρεπε να εισαχθεί στα συνδετικά (connectivistic) πρότυπα της λειτουργίας του εγκεφάλου και της αντίληψης; Εμείς (Birbaumer et al., 1990, Lutzenberger et al., 1992α και 1992β) και άλλοι (Freeman & Skarda, 1987), έχουμε επισημάνει ότι χωρίς την παρουσία χαοτικών ηλεκτρικών διαδικασιών, ο σχηματισμός νέων αντιλήψεων, που δεν έχουν μαθευτεί (όπως οι μυρωδιές), και αισθητικών-

κινητικών προτύπων, δεν μπορεί να γίνει αντιληπτός και να επαναληφθεί. Η χαοτική δραστηριότητα πρέπει να είναι προσδιοριστική και όχι τυχαία, επειδή τα ζωντανά, βιολογικά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν μόνο αν τίθενται μέσα σε ορισμένα όρια δραστηριότητας μέσω ανατροφοδότησης από την τρέχουσα δραστηριότητα. Από την άλλη πλευρά, οι μη-γραμμικές αλλαγές στις συναθροίσεις νευρικών κυττάρων, είναι μια προϋπόθεση οποιουδήποτε ζωντανού συστήματος, ώστε να μπορεί να παράγει νέα αισθητικά-κινητικά μοτίβα, τα οποία ελέγχουν το περιβάλλον με ένα δυναμικό, συνεχώς διαφοροποιούμενο τρόπο, εξαρτώμενο από ελάχιστα διαφορετικές αρχικές συνθήκες και συνέπειες.

Όπως το έθεσαν οι Freeman και Skarda (1987), το χάος παρέχει στις συναθροίσεις νευρικών κυττάρων ένα «προσδιοριστικό δεν γνωρίζω». Χωρίς αυτό, η σχεδιασμένη δραστηριότητα, θα γύριζε πάντα στις παλιές, ήδη διαμορφωμένες συναθροίσεις νευρικών κυττάρων, οδηγώντας έτσι σε μια εξουθενωτική επανάληψη. Παρ' όλα αυτά, οποιαδήποτε ομάδα συναθροίσεων νευρικών κυττάρων μπορεί να ωθηθεί σε μία γραμμική προσδιοριστική δραστηριότητα για μια ορισμένη χρονική περίοδο, από εξαιρετικά δομημένες εξωτερικές ή εσωτερικές παραλλαγές. Ορισμένες παθολογικές συνθήκες και η επαναληπτική συμπεριφορά χωρίς ανταγωνιστική δραστηριότητα υπάγονται σε αυτήν την κατηγορία.

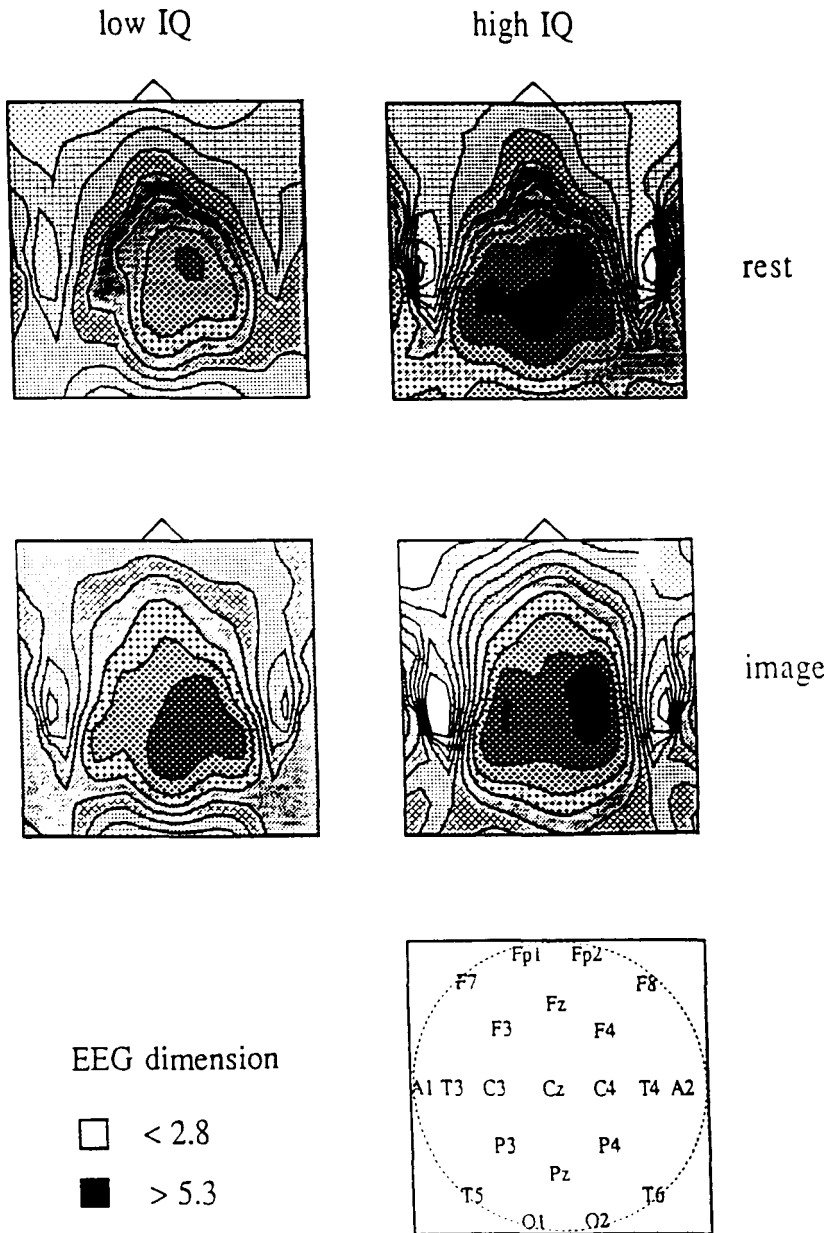
Για πολύ καιρό, η κλασική ψυχολογία και η νευροψυχιατρική εξετάζουν τις γραμμικές διαδικασίες, αποκλειστικά σε απλούς σχηματισμούς ερεθισμάτων, όπως η συνήθεια ή η ευαισθησία. Όσον αφορά την αντιληπτική δραστηριότητα στον εγκέφαλο («σκέψη») υποθέτουμε ότι με τον αυξανόμενο ανταγωνισμό με-

ταξύ συναθροίσεων νευρικών κυττάρων, που βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες του φλοιού, ο χώρος της φάσης, στον οποίο διαδραματίζεται η ανάλογη ΗΕΓ δραστηριότητα, γίνεται πολυδιάστατος. Το υπάρχον μέτρο της χαοτικής πολυπλοκότητας μιας σειράς γεγονότων, όπως το ανθρώπινο ΗΕΓ, ονομάζεται *κλασματική διάσταση* (fractal dimension).

Οι κλασματικές διαστάσεις του ίχνους ΗΕΓ, και η κλασματική διάσταση του ΗΕΓ-εφελκυστήρα υπολογίζεται μαθηματικά. Ένας εφελκυστήρας αναλογεί στο «παγωμένο» δυναμικό ενός συστήματος, αν αφεθεί χωρίς εξωτερικές παρεμβάσεις. (Για μεθοδολογικές λεπτομέρειες, βλέπε Lutzenberger et al, 1992β). Θεωρητικά, όσο περισσότερες είναι οι διαστάσεις του χώρου της φάσης, τόσο περισσότερα σημεία της σειράς στιγμών χρειάζεται να εντοπιστούν μέσα σε αυτόν τον χώρο. Σε μια πιο γενική έννοια, η διαστατικότητα μπορεί να μεταφραστεί ως η πολυπλοκότητα ή η ανικανότητα πρόβλεψης μιας δεδομένης σειράς στιγμών όπως το ΗΕΓ.

Η ευφυΐα και το χάος του εγκεφάλου

Εάν η υπόθεσή μας είναι σωστή ότι το χάος στον εγκέφαλο θα έπρεπε να αυξάνεται σε περιπτώσεις πολύπλοκων απαιτήσεων της μνήμης ή, όπως το αποκάλεσε ο Freeman, με τον *ανταγωνισμό των συναθροίσεων νευρικών κυττάρων* τότε η διαστατικότητα (πολυπλοκότητα) του ανθρώπινου ΗΕΓ θα έπρεπε να αυξάνεται με δυνατότητες υψηλότερης επεξεργασίας, όπως μετρίεται από τα τεστ νοημοσύνης. Η πολυπλοκότητα του εγκεφάλου των ευφυέστερων ατόμων θα έπρεπε να γίνεται ιδιαίτερα αισθητή, εάν αυτοί δεν δεσμεύονται σε προσανατολισμένη



ΕΙΚΟΝΑ 7. Χάρτες της διαστατικής πολυπλοκότητας του ΗΕΓ, προσδιορισμένης κατά μέσον όρο, χωριστά για τις ομάδες με υψηλούς και χαμηλούς δείκτες νοημοσύνης κατά τη διάρκεια ανάπαυσης και κατά τη διάρκεια παραστάσεων εικόνων. Και για τις δύο ομάδες η μέτρηση της πολυπλοκότητας φανερώνει μέγιστα γύρω από τις βρεγματικές/πλευρικές περιοχές και ελάχιστα στις μετωπιαίες τοποθεσίες. Κατά τη διάρκεια συνθηκών ανάπαυσης, η πολυπλοκότητα του ΗΕΓ είναι σημαντικά μεγαλύτερη για την ομάδα υποκειμένων με υψηλότερο δείκτη νοημοσύνης (Από Lutzenberger et al., 1992a).

προς ένα σκοπό συμπεριφορά ή σκέψη, δηλαδή όταν «δεν κάνουν τίποτα». Αντιθέτως, τα λιγότερο ευφυή άτομα, θα έπρεπε να παρουσιάζουν μία «μείωση» στην εγκεφαλική μεταβλητότητα όταν ο εγκέφαλός τους είναι «ανενεργός», ενώ σε δραστηριότητες προσανατολισμένες προς ένα σκοπό, θα έπρεπε να χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους όπως τα ευφυή υποκείμενα. Αυτό επιβεβαιώθηκε με μια σειρά μελετών, όπου συγκρίναμε τα ΗΕΓ ευφύων και λιγότερο ευφύων ομάδων κατά τη διάρκεια διαφόρων αντιληπτικών δραστηριοτήτων. Η Εικόνα 7 παρουσιάζει τους «χάρτες χάους» των δύο ομάδων. Αυτοί οι χάρτες δείχνουν την ποσότητα ηλεκτρικής (ΗΕΓ) πολυπλοκότητας σε μια συγκεκριμένη περιοχή του εγκεφάλου. Κατά τη διάρκεια ανάπαυσης, τα ευφυή υποκείμενα παρουσίασαν πολύ μεγαλύτερη διαστατικότητα του ΗΕΓ σε όλα τα σημεία μέτρησης, εν συγκρίσει με τα λιγότερο ευφυή. Και οι δύο ομάδες παρουσίασαν, ίδιες διαστάσεις πολυπλοκότητας κατά τη διάρκεια κατευθυνόμενων από ένα σκοπό, παραστάσεων (για παράδειγμα, όταν εμπλέκονταν προσωπικές συναισθηματικές σκηνές).

Όπως είχε προβλεφθεί, οι συγκεντρωτικά αυξανόμενες απαιτήσεις διαφορετικών πηγών προσοχής όπως η πολύπλοκη αισθητική επεξεργασία, παρήγαγε αυξανόμενο «εγκεφαλικό χάος». Απλά αισθητικά έργα, που χρησιμοποιούν μόνο μια αισθητική οδό, όπως η όραση ή η ακτική ικανότητα, παράγουν λιγότερη εγκεφαλική πολυπλοκότητα από τις πολυαισθητικές παραστάσεις εικόνων. Η παράσταση ενός αντικειμένου, παράγει πάντα μεγαλύτερη εγκεφαλική πολυπλοκότητα κυρίως στις μετωπιαίες τοποθεσίες, από την πραγματική αντίληψη του ίδιου αντικειμένου. Σε παθολογικές συν-

θήκες, όπως η σχιζοφρένεια και η επιληψία, έχει αποδειχθεί μειωμένο χάος, δηλαδή πιο «άτεγκτη» δυναμική του εγκεφάλου. Στους σχιζοφρενείς, π.χ., η διαστατική πολυπλοκότητα είναι μεγαλύτερη στο μετωπιαίο λοβό και μικρότερη σε κεντρικές περιοχές, το τελευταίο αποτελεί έναν από τους υποτιθέμενους εντοπισμούς της παθολογίας του φλοιού (Elbert et al., 1992).

Αυτά τα γεγονότα μπορεί να είναι σημαντικά για την ιατρική της συμπεριφοράς. Η εκπαίδευση αυτο-ελέγχου των ασθενών φλοιϊκών δυναμικών στην επιληψία, μπορεί επίσης να μεταφραστεί ως εκπαίδευση αυξημένης μεταβλητότητας για να καταπολεμηθεί η μεγάλη τάση των εγκεφάλων των επιληπτικών να «εκρήγνυνται», για να πυροδοτήσουν πάρα πολλές συναθροίσεις κυττάρων με μια παθολογική διέγερση. Η δραστηριότητα της κρίσης βρίσκεται στις αρνητικότητες, οι οποίες αναπτύσσονται από μια ποικιλία εξωτερικών και εσωτερικών ερεθισμάτων. Όταν οι ασθενείς έχουν μάθει να αντιλαμβάνονται την αρνητικότητα και θετικότητα του φλοιού τους με τη βοήθεια της εκπαίδευσης ανατροφοδότησης, αναπτύσσουν μια μεγαλύτερη μεταβλητότητα των εγκεφαλικών διαδικασιών τους και μαθαίνουν να τις μετατρέπουν πριν να φτάσουν σε μια επικίνδυνη ακαμψία. Η Εικόνα 8 δείχνει το ΗΕΓ μιας ασθενούς μετά από πολλά εκπαιδευτικά μαθήματα, σε μια πραγματική περίπτωση.

Στο γράφημα που παρουσιάζεται στην Εικόνα 8, ο θεραπευτής είπε «Α» στην ασθενή (κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, το Α σχετιζόταν με αυξημένη αρνητικότητα του φλοιού). Πράγματι, αμέσως μόλις ο θεραπευτής είπε «Α», ο εγκέφαλος της ασθενούς έγινε επικίνδυνα αρνητικός. Παρ' όλα αυτά, η ασθενής



ΕΙΚΟΝΑ 8. Ένα παράδειγμα γενίκευσης του ελέγχου από τους ασθενείς εγκεφαλικών δυναμικών, σε μία επιληπτική ασθενή. Ακατέργαστες καμπύλες ΗΕΓ και ΕΟΓ δίνονται για δύο σημεία στο χρόνο κατά τη διάρκεια των οποίων η ασθενής προσπάθει να προκαλέσει "Α" (αυξημένη αρνητικότητα) και στη συνέχεια "Β" (μειωμένη αρνητικότητα). Στην κατώτερη καμπύλη η ασθενής προσπάθησε να κατορθώσει το "Β" μόνη της (Από Elbert et al., 1990, με ευγενή παραχώρηση).

αντιλήφθηκε την μεταβολή και αμέσως σκέφτηκε ή φαντάστηκε το «Β» (το ανέφερε αργότερα). Το «Β» σχετιζόταν πάντα με θετικότητα του φλοιού κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης ανατροφοδότησης και, σύμφωνα με τη θεωρία μας, μία αναχαιτιστική φυσιολογική αντίδραση είναι ασυμβίβαστη με τις επιληπτικές κρίσεις. Αυτή η ασθενής μπόρεσε να μειώσει τον αριθμό των κρίσεων από 18 την εβδομάδα σε μηδέν. Απαλλάχτηκε από τις κρίσεις και τα φάρμακα για έξι χρόνια.

Ολοκληρώνοντας, η αυθόρμητη «άνο-

δος» και «πτώση» των ουδών εκκίνησης του φλοιού, σε περιπτώσεις ελεύθερα κινούμενης προσοχής και σκέψης, παρουσιάζεται σε αυθόρμητα ΗΕΓ. Αυτές οι μεταβολές του φλοιού μπορούν να γίνουν ορατές εάν αναλυθούν με τις μεθόδους του μη-γραμμικού, προσδιοριστικού χάους. Από την άλλη πλευρά, κατευθυνόμενες από ένα σκοπό, και κατά συνέπεια, άκρως προσδιοριστικές, έτοιμες ή προετοιμασμένες αντιδράσεις και σκέψεις, χρειάζονται τοπικά ασθενή εγκεφαλικά δυναμικά για να συμβούν⁷.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Birbaumer N., Elbert T., Canavan G.M. and Rockstroh B. Slow potentials of the cerebral cortex and behavior. *Physiological Review*, 1990, 70, 1, 1-41.

Birbaumer N., Roberts L.E., Lutzenberger W., Rockstroh B. and Elbert T. Area-specific

self-regulation of slow cortical potentials on the sagittal midline and its effects on behavior. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1992, 84, 353-361.

Braitenberg V. and Schüz A. *The Cerebral Cortex*. New York, Springer 1991.

⁷ Η έρευνα αυτή υποστηρίχθηκε εν μέρει από το Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, SFB 307/B1).

Chatrian G.E., Somasundaram M. and Tassinari C.A. CD-changes recorded transcranially during "typical" 3/sec spike and wave discharges in men. *Epilepsia*, 1968, 9, 185-209.

Elbert T., Lutzenberger W., Rockstroh B., Berg P. and Cohen R. Physical aspects of the EEG in schizophrenics. *Biological Psychiatry*, 1992 32, 595-606.

Elbert T., Lutzenberger W., Rockstroh B. and Birbaumer N. When regulation of slow brain potentials fails. A contribution to the psychophysiology of perceptual aberration and anhedonia. In: C. Perris, D. Kemali and M. Koukou-Lehmann (Eds) *Neurophysiological correlates of normal cognition and psychopathology. Advances in Biological Psychiatry*, 1983, 13, 98-106. Basel, Karger.

Elbert T., Rockstroh B., Birbaumer N., Canavan A.G.M. and Bülow I. Self-regulation of slow cortical potentials and its role in epileptogenesis. In J.G. Carlson and R. Seifert (Eds) *Biobehavioral self-regulation and health*, New York, Plenum, 1990, pp. 65-94.

Haag G., Gerber W.D., Birbaumer N., Mayer K., Lutzenberger W. and Schroth G. Differentielle Indikation zur Psychotherapie der Migräne (Differential indication of behavior therapy of migraine). In: H. Huber (Ed.) *Migräne. Fortschritte der Klinischen Psychologie* München, Urban & Schwarzenberg, 1982, pp. 205-232.

Hebb D.O. *The organization of behavior*. New York, Wiley, 1949.

Hebb D.O. Distinctive features of learning in the higher animal. In: J.F. Delafresnaye (Ed.) *Brain mechanisms and learning*. N.Y. Oxford University Press, 1961.

Lorente de No R. Cerebral cortex: Architecture, intracortical connections, motor projections. In: F.J. Fulton (Ed.) *Physiology of the nervous system*. N.Y., Oxford University Press, 1943.

Lorenz E. Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric Sciences*, 1963, 20, 130-141.

Lutzenberger W., Elbert T., Rockstroh B. and Birbaumer N. The effects of self-regulation of slow cortical potentials in a signal detection task. *International Journal of Neuroscience*, 1979, 9, 175-183.

Lutzenberger W., Haag G., Birbaumer N. and Stegagno I. Biofeedback langsamer kortikaler Potentiale (LKP): Zusammenhang von LKP und Reaktionslatenz bei Patienten mit Psychosomatischen Störungen. *Medizinische Psychologie*, 1980, 6, 140-151.

Lutzenberger W., Elbert T., Rockstroh B. and Birbaumer N. Asymmetry of brain potentials related to sensorimotor tasks. *Biological Psychology*, 1985, 2, 281-291.

Lutzenberger W., Birbaumer N., Flor H., Rockstroh B. and Elbert T. Dimensional analysis of the human EEG and intelligence. *Neuroscience Letters*, 1992a, 143, 10-14.

Lutzenberger W., Elbert T., Birbaumer N., Ray W.J. and Schupp, H. The scalp distribution of the fractal dimension of the EEG and its variation with mental tasks. *Brain Topography* 1992b, 5, 27-34.

Rockstroh B., Elbert T., Canavan A.G.M., Lutzenberger W. and Birbaumer N. *Slow brain potentials and behaviour*. (second, completely revised edition). München, Urban & Schwarzenberg, 1989.

Rockstroh B., Elbert T., Birbaumer N. and Lutzenberger W. Biofeedback-produced hemispheric asymmetry of slow cortical potentials and its behavioral effects. *International Journal of Psychophysiology*, 1990, 9, 151-165.

Rockstroh B., Müller M., Elbert T. and Cohen R. P300 and cortical dysfacilitation. In A.J.W.

Boelhouwer and C.H.M. Brunia (Eds) *The First European Psychophysiology Conference*, Tilburg University Press, 1991.

Rockstroh B., Elbert T., Birbaumer N., Wolf P., Dürsting-Röth A., Reker M., Daum I., Lutzenberger W. and Dichgans J. Cortical self-regulation in patients with epilepsies. *Epilepsy Research*, 1993, 14, 63-72.

Schneider F., Rockstroh B., Heimann H., Lutzenberger W., Mattes R., Elbert T., Birbaumer N. and Bartels M. Self-regulation of slow cortical potentials in psychiatric patients: Schizophrenia. *Biofeedback & Self-Regulation*, 1992, 17, 277-292.

Schneider F., Heimann H., Mattes R., Lutzenberger W. and Birbaumer N. Self-regulation of slow cortical potentials in psychiatric patients: Depression. *Biofeedback & Self-Regulation*, 1992, 17, 203-214.

Skarda A. and Freeman W. How brains make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 1987, 10, 161-195.

Speckmann E.-J. and Elger C.E. Neurophysiological basis of the EEG and of DC-potentials. In E. Niedermeyer and F. Lopez da Silva (Eds) *Electroencephalography*. Baltimore MD, Urban & Schwarzenberg, 1984, pp. 1-13.

Βιβλιογραφία αναφερόμενη στις Εικόνες-Σχήματα

Basar E., Basar-Eroglu, Röschke J. and Schult J. Chaos and alpha-preparation in brain function. In R.M.J. Corterill (Ed.) *Models of brain function*. Cambridge University Press, 1989, pp. 365-395.

Elbert T., Rockstroh B., Canavan A., Birbaumer N., Lutzenberger W., von Biilow L. and Linden A. Self-regulation of slow cortical potentials and its role in epileptogenesis. In J. Carlson & R. Seifert (Eds) *International perspectives on self-regulation and health*. New York, Plenum Press, 1991, pp. 65-94.

Elbert T., Rockstroh B., Lutzenberger W. and Birbaumer N. Biofeedback of slow cortical potentials. Part 1. *Journal of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1980, 48, 293-301.