



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Ανάλυση των θεωριών του κινητικού ελέγχου και της κινητικής
μάθησης και η σχέση τους με τη νευροπλαστικότητα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπάκα Ευαγγελία

Επιβλέπον Καθηγητής: Κουτσούρης Δημήτριος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Ανάλυση των θεωριών του κινητικού ελέγχου και της κινητικής
μάθησης και η σχέση τους με τη νευροπλαστικότητα**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μπάκα Ευαγγελία

Επιβλέπον Καθηγητής: Κουτσούρης Δημήτριος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα 2014

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. ΚΟΥΤΣΟΥΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (επιβλέπων μέλος ΔΕΠ)
2. ΜΑΚΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΥΡΣΙΝΗ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ
3. ΜΑΤΣΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή, κύριο Δημήτριο Κουτσούρη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου αυτή τη διπλωματική εργασία, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής κύρια Μακροπούλου Μυρσίνη και κύριο Γεώργιο Ματσόπουλο. Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω την ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη μου στον Λευτέρη Μπάκα για την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγηση κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του τμήματος της Φυσικής Ιατρικής και Αποκατάστασης του Νοσοκομείου ΚΑΤ για την πολύτιμη βοήθεια στην οργάνωση και υλοποίηση της βασικής λογικής του “εικονικού καθρέπτη” για την αισθητική επανεκπαίδευση του κινητικού ελέγχου σε άτομα με βλάβη του εγκεφάλου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή στον κινητικό έλεγχο και στη νευροεπιστήμη

1.1	Γενετικά καθορισμένες κινήσεις και αυτές που μαθαίνονται	18
1-2	Πως κατανοείται και μελετάται η κίνηση	20
1-3	Κινητικός έλεγχος και Νευροεπιστήμη	21
1-4	Στάση και κίνηση	23
1-5	Επιστημονικά πεδία που ασχολούνται με την κίνηση	27
1-6	Ορισμοί κινητικού ελέγχου, κινητικής μάθησης, κινητικής ανάπτυξης	29

2. Βασικά στοιχεία για τον κινητικό έλεγχο και τη διαταραχή του

2-1	Ιστορική αναδρομή του κινητικού ελέγχου και μάθησης	33
2-2	Σύγχρονη προσέγγιση του κινητικού ελέγχου και μάθησης	36
2-2-1	Συστημική θεωρία ή Θεωρία των συστημάτων	36
2-2-2	Κυβερνητική	37
2-2-3	Επανατροφοδότηση (feedback)	38
2-2-4	Λειτουργία της περιφερικής Επανατροφοδότηση	38
2-2-5	Εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων - Δημιουργία μαθηματικών μοντέλων	39
2-2-6	Πρακτική εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων	40
2-3	Διεύρυνση της μελέτης του κινητικού ελέγχου	41
2-4	Κινητικά προγράμματα και μυϊκή δράση	43
2-4-1	Μεταβλητά και σταθερά στοιχεία κινητικού προγράμματος	43
2-4-2	Μοντέλου του ελατηρίου μάζας	44
2-5	Αναδυόμενες (έμφυτες) ιδιότητες του νευρωνικών δικτύων	45
2-6	Προβλήματα χρονισμού – Συντονισμού	47
2-6-1	Μυϊκή συνέργεια και δυσσυνέργεια	48
2-7	Ανάρρωση και αντιστάθμιση της λειτουργίας	49
2-7-1	Ανάρρωση σε αντίθεση με την αντιστάθμιση	50
2-7-2	Στάδια της ανάρρωσης	51
2-7-3	Παράγοντες που συμβάλουν στην ανάρρωση της νευρικής λειτουργίας	51
2-7-3, α	Αποτέλεσμα της ηλικίας στην ανάρρωση	51
2-7-3, β	Ποιότητα της βλάβης και ανάρρωση	52
2-7-3, γ	Αποτελέσματα της εμπειρίας στην ανάρρωση	52

3. Θεωρίες του Κινητικού ελέγχου

3-1	Τι είναι η θεωρία και το μοντέλο του κινητικού ελέγχου	54
3-1-1	Υπάρχει σχέση ανάμεσα στη θεωρία και στην πράξη;	55
3-2	Θεωρίες του κινητικού ελέγχου	56
3-2-1	Βασικές σκέψεις επάνω στις θεωρίες του κινητικού ελέγχου	56
3-2-2	Θεωρία των αντανακλαστικών	57
3-2-2-α	Περιορισμοί της Θεωρία των αντανακλαστικών	59
3-2-3	θεωρία της Ιεραρχίας	60
3-2-3-α	Η εξέλιξη της θεωρίας	61
3-2-3-β	Σύγχρονη προσέγγιση της θεωρίας της ιεραρχίας	62
3-2-3-γ	Περιορισμοί της θεωρίας της ιεραρχίας	63
3-2-4	Θεωρία των κινητικών προγραμμάτων	63
3-2-4-α	Ερμηνεία της θεωρίας	64
3-2-4-β	Σύγχρονη προσέγγιση της θεωρίας	66
3-2-4-γ	Περιορισμοί της θεωρίας	67
3-2-5	Θεωρία του σχήματος (Schmidt's schema theory)	68
3-2-6	Θεωρία του εσωτερικού μοντέλου	69
3-2-6,α	Μοντέλο προς τα εμπρός προώθησης (φυγόκεντρο)	71
3-2-6,β	Μοντέλο αντίστροφης προώθησης (κεντρομόλο)	71
3-2-6,γ	Μη ελεγχόμενη πολλαπλή υπόθεση	72
3-2-7	Υπόθεση των πολλαπλών συνδυασμών των προ τα εμπρός προώθησης και των αντίστροφων μοντέλων	73
3-2-8	Υπόθεση του μοντέλο ελάχιστης απόκλισης	75
3-2-9	Θεωρία προσαρμοστικού ελέγχου	75
3-2-9,α	Διόρθωση λάθους, αισθητική πρόβλεψη και προσαρμογή στον κινητικό έλεγχο	77
3-2-10	Θεωρία του βέλτιστου ελέγχου ανατροφοδότησης	78
3-2- 11	Συστημική Θεωρία	79
3-2-11,α	Η συστημική θεωρία στην ανάπτυξη της κίνησης	80
3-2-11,β	Περιορισμοί της συστημικής θεωρίας	81

3-2-12	Θεωρία δυναμικής δράσης	81
	3-2-12,α Περιορισμοί της θεωρία δυναμικής δράσης	82
3-2-13	Θεωρία Παράλληλης Κατανεμημένης επεξεργασίας	83
3-2-14	Θεωρίες που προσανατολίζονται στη δραστηριότητα	84
	3-2-14,α Περιορισμοί της Θεωρίας που προσανατολίζονται στη δραστηριότητα	85
3-2-15	Οικολογική θεωρία	86
	3-2-15,α Περιορισμοί της οικολογικής θεωρίας	87
3-2-16	Άποψη των νευρώνων καθρέπτη και η θεωρία της προσομοίωσης	87
3-3	Ποια θεωρία κινητικού ελέγχου είναι η καλύτερη;	88

4. Μαθηματικό Μοντέλου του κινητικού ελέγχου

4-1	Η τελειότητα και η ευκολία της κίνησης	91
4-1-1	Τελειότητα του ανθρώπου σε σχέση με τα ρομποτικά συστήματα	91
4-1-2	Συζήτηση για τα θεωρητικά και μαθηματικά μοντέλα του κινητικού ελέγχου	93
4-1-3	Κινητική ανάλυση και κινητική συμπεριφορά	94
4-1-4	Η κανονιστική (normative) προσέγγιση μοντελοποίησης	95
4-2	Θεωρητικά μοντέλα του κινητικού ελέγχου	96
4-2-1	Κίνηση σε συγκεκριμένο περιβάλλον	96
4-2-2	Πολλαπλασιαστικός Θόρυβος και πλεονασμός	98
4-2-3	Συν-συσπάσεις και σημασία του πλεονασμού	99
4-3	Βέλτιστος – Κατάλληλος έλεγχος	101
4-3-1	Δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων της κίνησης	101
4-3-2.	Εξελιγμένα Μαθηματικά μοντέλα κινητικού ελέγχου	103
4-4	Έλεγχος ανατροφοδότησης (Feedback control)	107
4-4-1	Η σημασία της αισθητικής επαναπληροφόρησης	108

5. Βασικά στοιχεία για την κινητική μάθηση και τη διαταραχή της

5-1	Τι είναι η κινητική μάθηση;	110
5-1-1	Αρχικοί ορισμοί της κινητικής μάθησης	111
5-1-2	Διεύρυνση των ορισμών της κινητικής μάθησης	112
5-1-3	Η έννοια της εκτέλεσης σε σχέση με τη μάθηση	112
5-2	Τύποι μάθησης	113
5-2-1	Μη συνειρμικοί τύποι μάθησης	113
	5-2-1,α Εξοικείωση	113
	5-2-1,β Ευαισθητοποίηση	114
5-2-2	Συνειρμικοί τύποι μάθησης	114
	5-2-2,α Κλασική κατάσταση λειτουργικής προσαρμογής	115
	5-2-2,β Λειτουργική κατάσταση προσαρμογής	116
	5-2-2,γ Διαδικαστική μάθηση	117
	5-2-2,δ Δηλωτική μάθηση	118

6. Θεωρίες της Κινητικής μάθησης

6-1	Θεωρία της κλειστής αλυσίδας	119
6-1-1	Περιορισμοί της θεωρίας της κλειστής αλυσίδας	121
6-2	Θεωρία του σχήματος	121
6-2-1	Σχήμα ανάκλησης και σχήμα αναγνώρισης	122
6-2-2	Περιορισμοί της θεωρίας του σχήματος	123
6-3	Θεωρία των σταδίων της κινητικής μάθησης	123
6-3-1	Περιορισμοί της θεωρίας των σταδίων κινητικής μάθησης	125
6-4	Θεωρία της μάθησης σα διερεύνηση	125
6-4-1	Ρόλος των πληροφοριών αντίληψης	125
6-4-2	Διερεύνηση του αντιληπτικού-κινητικού χώρου	126
6-4-3	Περιορισμοί της θεωρία της μάθησης σα διερεύνηση	127
6-5	Νευροψυχολογική θεωρία της μάθησης κινητικής δεξιότητας	127
6-6	Παράγοντες που συμβάλουν στην κινητική μάθηση	128
6-6-1	Επαναπληροφόρηση (feedback)	128
	6-6-1,α Εσωτερική επαναπληροφόρηση	128
	6-6-1,β Εξωτερική επαναπληροφόρηση	129
	6-6-1,γ Γνώση του αποτελέσματος	129

6-6-1,δ	Εφαρμογή της λογικής της επαναπληροφόρησης	130
6-6-2	Συνθήκες πρακτικής για την κινητική μάθηση	130
6-6-2, α	Μαζική και κατανεμημένη πρακτική	131
6-6-2, β	Μεταβλητή και σταθερή πρακτική	131
6-6-3	Ολική σε αντίθεση με μερική εκπαίδευση	131
6-6-4	Νοητική εξάσκηση – Οραματισμός της κίνησης	132
6-6-5	Καθοδήγηση της κινητικής δράσης	133

7. Βασικά στοιχεία της Νευροπλαστικότητας

7-1	Ορισμός της νευροπλαστικότητας	135
7-2	Βασικοί κανόνες στη νευροπλαστικότητα	137
7-2-1	Πότε παρουσιάζεται η νευροπλαστικότητα	138
7-2-2	Τύποι της νευροπλαστικότητας	138
7-3	Αρχές της νευροπλαστικότητας	139
7-3-1	Ερεθίσματα και εκπροσώπηση στον εγκεφαλικό φλοιό	140
7-3-2	Οραματισμός της κίνησης και νευροπλαστικότητα	141
7-4	Περιορισμοί της νευροπλαστικότητας	142
7-4-1	Νευροπλαστικότητα και ύπνος	144
7-4-2	Αρνητική μάθηση	144
7-4-3	Εισροή μη ταυτόσημων ερεθισμάτων σε χρόνο και χώρο	146
7-4-4	Χρόνος από τη βλάβη και επανεκπαίδευση	147
7-5	Νευροφυσιολογία της νευροπλαστικότητας	147
7-5-1	Προσαρμογή της ομόλογης περιοχής και επέκταση της χαρτογράφησης	148
7-5-2	Νευρωνική εκβλάστηση (neuronal sprouting)	149
7-5-3	Νευρογένεση (Neurogenesis)	151
7-5-3, α	Εμφάνιση νευρογένεσης στους ενήλικες	151
7-5-3, β	Ο ρόλος της νευρογένεσης στη μάθηση	152
7-5-4	Νευροαναγέννηση (Neuroregeneration)	152
7-5-4, α	Νευροαναγέννηση στο Περιφερικό Νευρικό Σύστημα	154
7-5-4, β	Νευροαναγέννηση στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα	154

7-6	Νευροβιολογία και χαρτογράφηση του εγκεφάλου	155
7-6-1	Φλοιϊκή εκπροσώπηση (cortical maps)	155
7-6-2	Θετική και αρνητική νευροπλαστικότητα	157
7-7	Εμπλοκή της νευροπλαστικότητας στην καθημερινή πράξη	157
	Βιβλιογραφία	160

Περίληψη

Η κατανόηση της στάσης και της κίνησης του ανθρώπου αποτέλεσε εδώ και 2 αιώνες πεδίο έρευνας, συζητήσεων και αμφισβητήσεων. Τα τελευταία 50 χρόνια όμως αποτέλεσε ένα σοβαρό επιστημονικό πεδίο, το οποίο συγκέντρωσε την προσοχή πολλών επιστημών, όπως της Ιατρικής, της Φυσιολογίας και βιολογίας, των Μαθηματικών, της Φυσικής, της Ψυχολογίας και της επιστήμης της συμπεριφοράς. Όλες αυτές οι επιστήμες συγκλίνουν στη μελέτη της οργάνωσης, επεξεργασίας και έλεγχου της στάσης και της κίνησης του ανθρώπου, δημιουργώντας ένα σφαιρικό πλαίσιο για την ολιστική μελέτη της κίνησης, τον “κινητικό έλεγχο”. Αυτό αποτέλεσε το κίνητρο για την εργασία αυτή, που είχε σαν σκοπό να μελετηθούν οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου και της κινητικής μάθησης αλλά και οι διεργασίες που μεσολαβούν για στη νευροπλαστικότητα, την προσαρμογή και αναδημιουργία δηλαδή του νευρικού συστήματος μετά από μια βλάβη ή κάκωσή του.

Abstract

Understanding the human posture and movement, was up to two centuries the main field of research, debates and controversies. Although, the last 50 years, it consist a serious scientific field, which garnered the attention of many disciplines, such as Medicine, Physiology and Biology, Mathematics, Physics, Psychology and behavioral science. All these disciplines converge in the study of the organization, treatment and control of human posture and movement, creating a comprehensive framework for the holistic study of the movement, the "motor control". This was the motivation for this work, which was intended to study the theories of motor control and motor learning and the processes that mediate the neuroplasticity, adaptation and reconstruction that the nervous system after a failure or injuries.

1. Εισαγωγή στον κινητικό έλεγχο και στη νευροεπιστήμη

Η κίνηση θεωρείται μια από τις βασικές πλευρές της ζωής του ανθρώπου. Χωρίς την κίνηση βέβαια δεν θα μπορούσε ο άνθρωπος να ολοκληρώσει βασικά στοιχεία του φυλογενετικού του χαρακτήρα, όπως να σιτιστεί, να αναπαραχθεί και φυσικά δεν θα επιβίωνε. Βέβαια, η ικανότητα που έχει στην κίνηση ο άνθρωπος είναι κάτι περισσότερο από την ευκολία που τον κάνει ικανό να περπατά, να παίζει ή να χειρίζεται αντικείμενα. Είναι μια απόλυτα ουσιαστική πλευρά της αναπτυξιακής του εξέλιξης, όχι λιγότερο σημαντική από την νοητική του ανάπτυξη και τη συναισθηματική του ολοκλήρωση. Με βάση αυτά, μπορεί να υποστηριχθεί ότι οι γνωσιακές ικανότητες του ανθρώπου, που είναι ιδιαίτερα αναπτυγμένες σε σχέση με τα άλλα ζώα, εμπλέκονται σε τέτοιο βαθμό ώστε να κάνουν τις κινήσεις ουσιαστικές και σκόπιμες για την επιβίωση. Αυτό οδήγησε τους “πρώτους ανθρώπους” να κατασκευάσουν το χώρο διαμονής τους, να οργανωθούν σε κοινωνίες, να καθιερώσουν αρχές και να επιβάλλουν νόμους (και φόβους), να κατασκευάσουν εργαλεία για περεταίρω χειρισμό των αντικειμένων και των υλικών, και να δημιουργούν τρόπους επικοινωνίας. Έτσι η μελέτη της κίνησης και του τρόπου που αυτή ελέγχεται και συντονίζεται για σκόπιμες και επιδέξιες κινήσεις, αποτελεί ανεπιφύλακτα ουσιαστικό μέρος της εξέλιξης του ανθρώπινου είδους.

1-1. Γενετικά καθορισμένες κινήσεις και αυτές που μαθαίνονται

Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, η κίνηση λαμβάνει πολλές μορφές, αυτές όμως συνοψίζονται σε δύο βασικές μορφές. Ορισμένες κινήσεις μπορεί να θεωρηθούν ότι καθορίζονται γενετικά, όπως είναι ο τρόπος που ο άνθρωπος ελέγχει την κίνηση των ποδιών του ή ο τρόπος που κλείνει τα μάτια του σε ένα αιφνίδιο και απρόσμενο φύσημα του αέρα. Στην περίπτωση αυτή το πρότυπο τη κινητικής δράσης φαίνεται να καθορίζεται από γενετικά (φυλογενετικά) κατά την ανάπτυξη και εξέλιξη, όπου κάθε παρόμοια κινητική δραστηριότητα φαίνεται να είναι στερεότυπη για όλα τα μέλη του συγκεκριμένου ζωικού είδους. Η στερεότυπη αυτή κινητική συμπεριφορά αποτελεί τη βάση των αντανακλαστικών, με τα οποία είναι προικισμένο το ανθρώπινο είδος. Θα μπορούσε να θεωρήσει κάποιος ότι η κίνηση, της αντανακλαστικής αυτής μορφής, καθορίζει το είδος μια και αυτή εξυπηρετεί, γενετικά, συγκεκριμένες ανάγκες και προτεραιότητες.

Η δεύτερη μορφή των κινήσεων είναι αυτές που δεν είναι συνδεδεμένες με την στερεότυπη “αντανακλαστική” κινητική συμπεριφορά, και μπορεί να θεωρηθούν ότι “μα-

θαίνονται” στην πορεία της εξέλιξης του ανθρώπου. Αυτές είναι κινήσεις που εξυπηρετούν συγκεκριμένες επιθυμίες και ανάγκες του ανθρώπου, όπως είναι η οδήγηση του αυτοκινήτου ή άλλου μηχανοκίνητου εργαλείου, η χρήση γραφομηχανής, η χρήση ενός μουσικού οργάνου, ο χορός ή ειδικές κινήσεις στον αθλητισμό, όπως άλματα, καταδύσεις, τένις και ο χειρισμός της μπάλας. Οι κινήσεις αυτές που μαθαίνονται συνήθως χαρακτηρίζονται ως δεξιότητες. Δεν είναι έμφυτες και δεν συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του ανθρώπινου είδους. Η καθιέρωσή τους απαιτεί μεγάλες χρονικές περιόδους εκπαίδευσης και πρακτικής εξάσκησης, Από το 1952, ο Guthrie έδωσε το καλύτερο ορισμό για τις δεξιότητες σαν την ικανότητα του ανθρώπου να επιτυγχάνει μερικά τελικά αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη βεβαιότητα και την μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας και χρόνου.

Οι δεξιότητες είναι ιδιαίτερα ουσιαστικές για τη μελέτη της κινητικής συμπεριφοράς του ανθρώπου. Αυτό είναι αλήθεια, επειδή αυτές εμπλέκονται στις περισσότερες καθημερινές δραστηριότητες, κοινωνικές, μορφωτικές και επαγγελματικές. Εμπλέκονται στο χειρισμό μηχανών για την παραγωγή, επικοινωνία και πνευματική εργασία (υπολογιστές), στον έλεγχο οχημάτων για τη μεταφορά, στον αθλητικό, στην ψυχαγωγία όπως η μουσική και ο χορός αλλά και σε περισσότερες ουσιαστικές δραστηριότητες όπως η ατομική περιποίηση και υγιεινή, η αγορά προϊόντων και ο χειρισμός χρημάτων ή συσκευών για προετοιμασία γεύματος.

Η μελέτη αυτή αναφέρεται στα είδη αυτά της κίνησης, αυτών που καθορίζονται γενετικά ή μαθαίνονται μέσα από την εκπαίδευση. Αναφέρεται πως ελέγχονται οι διάφορες αυτές κινήσεις, πως δηλαδή το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) είναι οργανωμένο έτσι ώστε να συντονίζονται τόσο πολλοί και διάφοροι μυς (μυϊκές ομάδες) και αρθρώσεις και πως χρησιμοποιούνται οι αισθητικές πληροφορίες από το περιβάλλον και το ίδιο το σώμα προκειμένου να ελεγχθούν οι συγκεκριμένες κινήσεις. Το επιστημονικό πεδίο που επικεντρώνεται στα θέματα αυτά είναι γνωστό σαν “**κινητικός έλεγχος**” (motor control), δηλαδή η μελέτη του ελέγχου των κινήσεων του ανθρώπου και των ζώων.

Μια σημαντική πλευρά του κινητικού ελέγχου είναι πως μαθαίνονται οι κινήσεις αυτές. Δηλαδή, πως δημιουργούνται και παράγονται οι κινήσεις αυτές διαφορετικά σαν αποτέλεσμα της πράξης ή της εξάσκησης. Στην πραγματικότητα, οι περισσότερες από τις κινήσεις που ήδη αναφέρθηκαν, και συνολικά η κινητική συμπεριφορά του ανθρώπου, είναι ένα σύμπλοκος συνδυασμός γενετικά καθορισμένων δράσεων με διάφορες τροποποιήσεις και διαμορφώσεις της κίνησης που γίνονται μέσα από την πρακτική εξάσκηση. Η κατανόηση του πως μαθαίνονται οι κινήσεις αυτές και εκτελούνται ως ιδιαίτερες δεξιότητες αποτελεί ένα το πεδίο της κινητικής μάθησης. Δεν θα πρέπει να γίνεται διαχωρισμός και απόμα-

κρη συσχέτιση των δύο αυτών βασικών πεδίων, ή διαφορά ή απόσπαση του πεδίου της κινητικής μάθησης από το γενικό πεδίο του κινητικού ελέγχου, καθώς ο διαχωρισμός αυτός παρεμποδίζει την βαθύτερη κατανόηση και των δύο πεδίων. Έτσι, η πιο σαφής και περιεκτική περιγραφή είναι αυτή που αναφέρει ο Schmidt, ως μελέτη του κινητικού ελέγχου και της μάθησης (motor control and learning).

1-2. Πως κατανοείται και μελετάται η κίνηση

Ένα βασικό ερώτημα που προβάλλει από την αρχή της μελέτης του συγκεκριμένου πεδίου είναι το πώς αποκτάται η γνώση και η πληροφόρηση σχετικά με την κίνηση; Ο πιο λογικός και δόκιμος τρόπος θα μπορούσε να ήταν η μελέτη των σχετικών διαδικασιών της κίνησης και του ελέγχου της, μέσα από διάφορους δόκιμες επιστημονικές μεθόδους. Εάν αυτό θεωρηθεί ως μια καλή λύση, τότε ποια από τις διαδικασίες που μεσολαβούν στην κίνηση θα μπορούσε να εξετασθεί και να μελετηθεί; Οι διαδικασίες αυτές είναι ουσιαστικά η βάση της μελέτης, όπως είναι (α) βιοχημικές, (β) κυτταρικές ή (γ) μηχανικές που επικεντρώνονται επάνω στην κίνηση. Η πρώτη πιθανότητα της διαδικασίας θα μπορούσε να εστιάσει στη φύση των βιοχημικών αλληλεπιδράσεων που παρουσιάζονται μέσα στα κύτταρα καθώς ο άνθρωπος κινείται. Μια άλλη επικέντρωση θα μπορούσε να είναι στα ίδια τα κύτταρα, διερευνώντας πως τα κύτταρα αυτά αλληλεπιδρούν μεταξύ τους για να δημιουργήσουν και να ελέγξουν την κίνηση. Με τον ίδιο τρόπο θα μπορούσε να ληφθούν ομάδες κυττάρων όπως ο εγκέφαλος, ο νωτιαίος μυελός, τα περιφερικά νεύρα, ο μυς ή μια μυϊκή ομάδα και να διερευνηθεί αντίστοιχα πως οι πιο σύμπλοκες αυτές κατασκευές αλληλεπιδρούν και εμπλέκονται έτσι στο έλεγχο της κίνησης. Τέλος, η άλλη διαδικασία είναι να επικεντρωθεί η μελέτη επάνω στη ίδια την κίνηση, διερευνώντας του παράγοντες που καθορίζουν την ακρίβειά της, τη επιλογή της ή το πρότυπο της συνολικής δράσης. Επεκτείνοντας περισσότερο την άποψη αυτή και πάνω στο ίδιο πρότυπο μελέτης, θα μπορούσε να μελετηθεί η κίνηση σφαιρικά, μέσα από συγκεκριμένες κινητικές συμπεριφορές, όπως η επιλογή δραστηριοτήτων που ενσωματώνονται σε αθλητικές ή ψυχαγωγικές δραστηριότητες, σε επαγγελματικές ή άλλες κοινωνικές δραστηριότητες και συμμετοχές, ατομικά ή ομαδικά (**σχήμα 1-1**).

Βέβαια, όπως αναφέρει και ο Schmidt, υπάρχουν διάφοροι τρόποι που παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο. Οι τρόποι αυτοί εμπλέκουν τη μελέτη του φαινομένου από διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης, και ανάλογα επίπεδα παρουσιάζονται σε κάθε ένα από τα επιστημονικά πεδία που μας ενδιαφέρουν. Ένα απλό παράδειγμα του επιπέδου ανάλυσης είναι η πάθηση ή η παθολογική βλάβη, όπως ακριβώς την παρατηρεί ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει ένα μεγάλο εύρος και εκτείνεται από τις απλές

βιοχημικές, ενδοκρινικές ή άλλες ορμονικές διαδικασίες μέχρι την εμπλοκή των κυττάρων ενός οργάνου ή του ίδιου του οργάνου ή ακόμη του ίδιου του οργανισμού, επηρεάζοντας τη δράση και τη συμμετοχή του ατόμου συνολικά. Έτσι, επειδή οι τρόποι παρατήρησης μια θεώρησης ενός απλού προβλήματος, όπως η κίνηση ή η διαταραχή της, διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό και αποκλίνουν σημαντικά, συνήθως γίνεται επικέντρωση σε ένα το πολύ δύο επίπεδα ανάλυσης του προβλήματος, όπως ακριβώς γίνεται στη συγκεκριμένη μελέτη.



Σχήμα 1-1: Διαδικασία κατανόησης του κινητικού έλεγχου και της κινητικής μάθησης

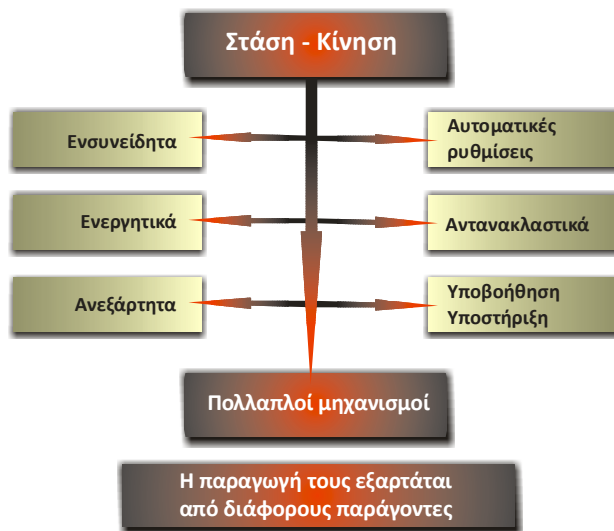
1-3. Κινητικός έλεγχος και Νευροεπιστήμη

Οι επιστήμες που σχετίζονται με τη μελέτη της ανθρώπινης κίνησης αποτελούν σήμερα ένα διεπιστημονικό πεδίο που εξελίσσεται ραγδαία. Στη μελέτη αυτή περιλαμβάνονται έννοιες και πεδία που οργανώνονται σε ένα νέο επιστημονικό πεδίο, τη νευροεπιστήμη, όπως είναι: (α) η οργάνωση της κινητικής δράσης, (β) η δημιουργία και εκτέλεση της κινητικής αυτής δράσης, (γ) ο έλεγχος του αποτελέσματος, (δ) η λειτουργικότητα που εκπληρώνεται σύμφωνα με τις εσωτερικές ανάγκες ή τις απαιτήσεις του προβάλλοντος, (ε) η οργάνωση της κινητικής δράσης σε μια συγκεκριμένη κινητική συμπεριφορά ανάλογα με τις ανάγκες του ατόμου, (στ) η εκπαίδευση των νοητικών και γνωσιακών λειτουργικών που σχετίζονται με την κίνηση και (ζ) η επανεκπαίδευση της κινητικής δραστηριότητας όταν αυτή επηρεαστεί ή προσβληθεί μετά από μια νευρολογική κυρίως βλάβη (διαταραχή της δημιουργίας και του ελέγχου της κίνησης) ή άλλη μηχανική διαταραχή (προσβολή των μηχανικών δομένων παραγωγής και εκτέλεσης της κίνησης). Η μελέτη αυτή της κινητικής δράσης αλλά και της συμπεριφοράς μέσα στην οποία αυτή οργανώνεται, περιλαμβάνεται στο διεπιστημονικό πεδίο του “κινητικού ελέγχου” (motor control) (σχήμα 1-2).



Σχήμα 1-2: Η σχέση της νευροεπιστήμης με τον κινητικό έλεγχο και τα ενδιάμεσα πεδία

Ο όρος “**κινητικός έλεγχος**” αναφέρεται στη μελέτη των στάσεων και των κινήσεων του ανθρώπου καθώς και των λειτουργιών του εγκεφάλου (γνωσιακή λειτουργία και νόηση) και του σώματος, που διέπουν τις στάσεις και κινήσεις. Στο πεδίο του κινητικού ελέγχου, η έννοια της στάσης (posture) δηλώνει τη στατική θέση κάθε μέλους του σώματος, όπως ακριβώς περιγράφεται ως όρθια, καθιστή, με πλάγια κλίση, ύπτια ή πρηνή θέση. Οι στάσεις των μελών, του κορμού και ολόκληρου του σώματος, σαν ένα πλήρες μηχανικό σύστημα υπομοχλίων (αρθρώσεων) και μοχλοβραχιόνων (άκρα και κορμός), για να ληφθούν και να διατηρηθούν απαιτούνται δυνάμεις και ροπές, που παράγονται από τη μυϊκή προσπάθεια. Από την άλλη μεριά, κίνηση (movement) είναι η μετάβαση από τη μία στάση στην άλλη. Οι στάσεις και οι κινήσεις μπορεί να γίνονται ανεξάρτητα ή με υποστήριξη, καθώς επίσης να λαμβάνονται ενσυνείδητα ή να αποτελούν μέρος αυτόματων ρυθμίσεων, μια διάκριση που εξαρχής υποδηλώνει την “ενεργητική” (ανεξάρτητη και ενσυνείδητη) σε αντίθεση με την “αντανακλαστική” (αυτόματη) δράση. Βέβαια, οι έννοιες αυτές δεν περιγράφουν με ακρίβεια αυτό που ουσιαστικά εννοούν, δεδομένου ότι για τη δημιουργία τους υπεισέρχονται πολλαπλοί μηχανισμοί ενώ η παραγωγή τους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες (**σχήμα 1-3**). Τα αντανακλαστικά ορίζονται καλύτερα σαν απαντήσεις (κινητικές, αισθητικές, ορμονικές) που προκαλούνται με μεγαλύτερη πιθανότητα και ακρίβεια από ειδικά σε κάθε



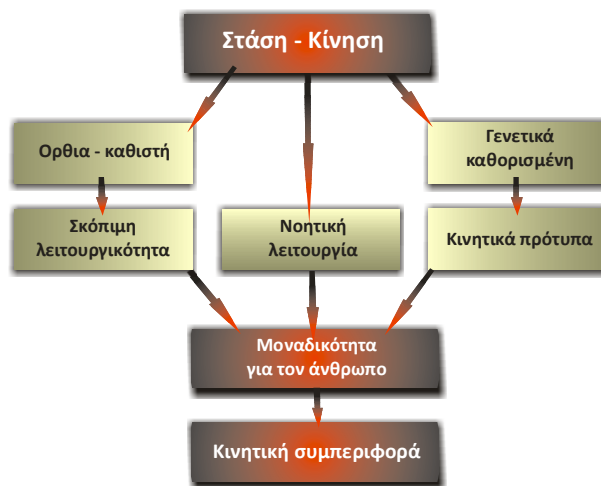
Σχήμα 1-3: Η σχέση της νευροεπιστήμης με τον κινητικό έλεγχο και τα ενδιάμεσα πεδία

περίπτωση ερεθίσματα, ενώ ένα συγκεκριμένο ερέθισμα θα προκαλέσει πάντοτε την ίδια αντανακλαστική απάντηση. Από την άλλη η ενεργητική, σκόπιμη και λειτουργική, κίνηση επηρεάζεται επίσης από πολλούς παράγοντες, εσωτερικούς και εξωτερικούς (περιβαλλοντικούς), ενώ στην πραγματικότητα, υπάρχει συνέχεια στο βαθμό στον οποίο η βούληση και το γνωσιακό επίπεδο επηρεάζει τις συγκεκριμένους κινήσεις.

1-4. Στάση και κίνηση

Ο άνθρωπος γεννιέται με στοιχειώδεις μόνον κινητικές ικανότητες, οι οποίες αναφέρονται κυρίως σε αυτοματικές (αντανακλαστικές) δράσεις, που έχουν ως σκοπό την επιβίωση. Οι κινητικές αυτές ικανότητες, που παράγονται από τη χρονισμένη κίνηση των μελών και του κορμού, είναι μοναδικές για το ανθρώπινο είδος (αλλά και για κάθε ζώο ξεχωριστά) και είναι οργανωμένες σε ειδικά “κινητικά πρότυπα” που εξασφαλίζουν τη συγκεκριμένη κινητική ικανότητα. Για παράδειγμα, ο άνθρωπος σε σχέση με άλλα ζώα, έχει όρθια στάση, ενώ σε σχέση με άλλα ζώα που επίσης έχουν όρθια στάση, αυτή ολοκληρώνει μια σκοπιμότητα και λειτουργικότητα ενώ επηρεάζεται και καθοδηγείται από νοητικές και γνωσιακές λειτουργίες. Αυτό επιτυγχάνεται με συγκεκριμένους συνδυασμούς μηχανικών δράσεων, για να διατηρούνται οι στάσεις και οι κινήσεις αυτές, που είναι μοναδικές για το ανθρώπινο είδος. Αυτά επιτυγχάνονται από τη δράση των μυών. Οι συγκεκριμένοι συνδυασμοί επομένως των μυϊκών δράσεων αποτελούν τα ειδικά “κινητικά πρότυπα”, όπως το καμπτικό και το εκτατικό πρότυπο, τα διάφορα είδη σύλληψης, η βάδιση και το τρέξιμο.

Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνονται σε αυτές με τις οποίες γεννιέται ο άνθρωπος και προσδιορίζουν το είδος του. Οι υπόλοιπες θα πρέπει να μαθευτούν με ενεργητική προσπάθεια και συνεχή πρακτική κατά τη διάρκεια της νεογνικής, παιδικής, εφηβικής ηλικίας ή ακόμη και μετά την ενηλικίωση. Το πως θα σηκωθεί ένα παιδί και θα σταθεί όρθιο, θα βαδίσει, θα χρησιμοποιήσει τα χέρια του για να ολοκληρώσει λεπτές δραστηριότητες και πιθανόν επιδέξιες κινήσεις για συγκεκριμένο στόχο, αναφέρεται στις έμφυτες κινητικές ικανότητες του ανθρώπινου είδους, με τις οποίες φυσιολογικά γεννιέται και οι οποίες εντάσσονται μέσα στα κινητικά πρότυπα. Όλα αυτά υπακούουν στους φυλογενετικούς κανόνες που καθορίζουν το είδος και προσφέρουν τις μικρές διακρίσεις του ενός ζώου από το άλλο. Πέρα από αυτά, υπάρχουν και πολλές άλλες κινητικές δραστηριότητες και “συμπεριφορές” που μπορεί να εκτελέσει οργανωμένα ο άνθρωπος, που μπορεί περιορισμένα και με ελάχιστες εξαιρέσεις να εκτελέσουν τα υπόλοιπα ζώα, κινητικές δραστηριότητες που του αποδίδουν τη μοναδικότητα (σχήμα 1-4). Ο άνθρωπος μπορεί να μάθει να παίζει μουσική, να συνθέτει, να διορθώνει και να τροποποιεί δράσεις, να χορεύει, να συμμετέχει ανταγωνιστικά σε αθλητικές δραστηριότητες, να εκτελεί λεπτές και επιτηδευμένες κινήσεις και δραστηριότητες. Οι δραστηριότητες αυτές δεν εκτελούνται από όλους, τις εκτελούν μόνον όσοι ασχολούνται και εκπαιδεύονται ανάλογα, ενώ άλλοι δυσκολεύονται σε μεγάλο βαθμό να τις εκτελέσουν (λεπτές κινήσεις των χεριών ή χορευτικές κινήσεις) ή τουλάχιστον προσπαθούν για αυτό. Εκτός επομένως από τις έμφυτες κινητικές ικανότητες με τις οποίες γεννιέται ο άνθρωπος, οι υπόλοιπες θα πρέπει ή μπορεί να μαθευτούν κατά τη διάρκεια της ζωής.



Σχήμα 1-4: Η έμφυτη σχέση της στάσης και κίνησης που προσδιορίζουν τη μοναδικότητα του ανθρώπινου είδους

Η μάθηση αυτή ποτέ δεν κατευθύνεται στον έλεγχο απλών και ξεχωριστών μυών, αντίθετα μάλιστα απευθύνεται στην επιλογή και χρονισμό πολλών από αυτούς. Ο γενετικός

δηλαδή προσδιορισμός των προτύπων δεν αναφέρεται σε ξεχωριστούς μυς αλλά σε σύνολο καλά συντονισμένων μυϊκών ομάδων που ολοκληρώνουν μια κινητική δράση (έκταση ποδιού πρόταση χεριού). Επομένως, ο έλεγχος που εξασκείται θα πρέπει να αποκτηθεί επάνω στους λειτουργικούς συνδυασμούς των μυϊκών ομάδων που ενεργούν στις αρθρώσεις τις οποίες ελέγχουν. Στην πραγματικότητα, ο έλεγχος θα πρέπει να αποκτηθεί επάνω στις σχετικές αρθρώσεις που εμπλέκονται στην κίνηση. Με άλλα λόγια, δεν μπορεί φυσιολογικά να ξεπεραστούν τα φυσιολογικά “κινητικά πρότυπα”, αλλά με τη βοήθεια τους ή με τη χρήση τμημάτων τους, μπορεί να δημιουργηθούν νέες επιδέξιες κινήσεις και να οργανωθούν σε μια νέα κινητική συμπεριφορά, διατηρώντας πάντοτε σα βάση τα ίδια κινητικά πρότυπα (όρθιας στάσης, βάδισης, τρεξίματος, σύλληψης κλπ).



Σχήμα 1-5: Οι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην κινητική μάθηση

Η κινητική μάθηση επομένως αναφέρεται στο συγχρονισμό και στο συντονισμό των αρθρώσεων, και πιο συγκεκριμένα, στις μυϊκές ομάδες που ελέγχουν την κίνησή τους. Από τις μυϊκές αυτές ομάδες, άλλες λειτουργούν για να σταθεροποιήσουν τις αρθρώσεις, και άλλες για να προκαλέσουν περισσότερο λεπτές και λειτουργικές κινήσεις επάνω στη βάση στήριξης που προσφέρουν οι πρώτοι, ενώ άλλες αντιτίθενται στην κίνηση αυτή, προσφέροντας ουσιαστικά συγκράτηση και ένα μέτρο χρονισμού. Δηλαδή, η δράση των μυϊκών αυτών ομάδων, ολοκληρώνεται μέσα από επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις, με δυνάμεις που δρουν σε διάφορους άξονες, δημιουργώντας διανύσματα που κατευθύνονται στον άξονα της κύριας δράσης. Λόγω όμως των πολλαπλών επιδράσεων του περιβάλλοντος και των δράσεων των μυών, η κατεύθυνση αυτή των διανυσμάτων είναι σε πολλαπλά επίπεδα ελευθερίας της κίνησης και προς όλες τις διαστάσεις. Επιπρόσθετα σε όλα αυτά, ένα ξεχωριστό και μοναδικό χαρακτηριστικό της κινητικής δράσης του ανθρώπου είναι ότι αυτή επηρεάζεται, καθοδηγείται, καθορίζεται και ελέγχεται από γνωσιακές, ψυχολογικές, συναισθηματικές και άλλες νοητικές λειτουργίες. Στην κινητική επομένως μάθηση ουσιαστικό ρόλο

παίζουν το κίνητρο, η εγρήγορση, η συγκέντρωση, η προσοχή, το ενδιαφέρον και άλλα χαρακτηριστικά της πνευματικής κατάστασης του ατόμου. Και αυτό επειδή η νοητική κατάσταση του ατόμου καθορίζει πόσο καλά αυτό συγκεντρώνεται και προσέχει στην μάθηση και στην εκτέλεση κάθε κινητικής δράσης, ενώ παίζει καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο του αποτελέσματος της κινητικής δράσης (σχήμα 1-5).



Σχήμα 1-6: Η αλληλεξάρτηση που υπάρχει ανάμεσα στα πεδία της νευροεπιστήμης στη μελέτη, έρευνα και διαχείριση της στάσης και κίνησης

Όπως φαίνεται υπάρχει μια σαφής αλληλεξάρτηση ανάμεσα στις στάσεις και στις κινήσεις που περιγράφηκαν, που έχει ουσιαστική εμπλοκή, τόσο στη μελέτη και στην έρευνα όσο και στη διαχείριση της σωματικής εκπαίδευσης, μέσα στα πλαίσια της Νευροεπιστήμης και της Αποκατάστασης (σχήμα 1-6). Μελετώνται οι στάσεις και οι κινήσεις μέσα από τα κινητικά πρότυπα που αναπτύσσονται και μέσα από τους τρόπους που μπορεί να επηρεάσουν τη μάθηση. Ερευνώνται οι μηχανισμοί που υπεισέρχονται στη δημιουργία του κινητικού φάσματος, είτε σε επίπεδο νευρωνικών κυκλωμάτων και κέντρων ελέγχου στον εγκέφαλο, είτε νευροφυσιολογικών διεργασιών αναστολής και διευκόλυνσης της κινητικής δράσης, είτε σε επίπεδο νευροορμονών και άλλων νευρομεταβιαστικών ουσιών που διευκολύνουν, επηρεάζουν ή τροποποιούν τη νευρική δράση και επομένως το κινητικό αποτέλεσμα. Διαχειρίζονται (ουσιαστικά χρησιμοποιούνται στη θεραπευτική πράξη) τα κινητικά δεδομένα για την κινητική εκπαίδευση, είτε σε περίπτωση που στόχος είναι η βελτίωση της κινητικής απόδοσης, είτε η εκμάθηση μιας νέας κινητικής συμπεριφοράς (χορός, μουσικό όργανο), είτε η επανεκπαίδευση της κινητικής δραστηριότητας σε περίπτωση που αυτή έχει επηρεαστεί μετά από μια νευρολογική βλάβη στα κέντρα που την οργανώνουν και την ε-

λέγχουν. Στις περιπτώσεις αυτές, θα πρέπει να μαθευτούν νέες στάσεις των μελών και του κορμού συνολικά για να επιτρέψουν την εκτέλεση κινήσεων που δεν μπορούσαν να γίνουν προηγουμένως, λόγω της προσβολής και της αδυναμίας ή ανικανότητας. Στόχος ουσιαστικά είναι να υπολογιστούν νέοι συνδυασμοί στάσεων και κινήσεων που χρησιμοποιούνται και οι οποίοι θα μπορούσαν να αντικαταστήσουν αυτούς που είναι ανεπαρκείς ή έχουν διαταραχθεί. Με τον τρόπο αυτό, το άτομο θα μπορούσε να διδαχθεί και να εκπαιδευτεί στους νέους αυτούς συνδυασμούς, δημιουργώντας μια νέα κινητική συμπεριφορά (σχήμα 1-6).

1-5. Επιστημονικά πεδία που ασχολούνται με την κίνηση

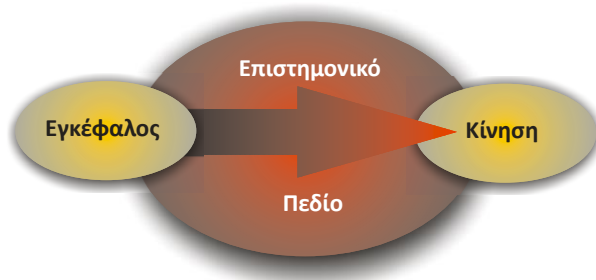
Η κατανόηση της κινητικής συμπεριφοράς και του τρόπου ή των μηχανισμών που αυτή ελέγχεται είναι απαραίτητη για τη μελέτη, την εκτίμηση και τη διαχείριση: (α) φυσιολογικών ατόμων, κυρίως παιδιών, για τα οποία απαιτείται μεγαλύτερη και ακριβέστερη κινητική λειτουργία (επειδή ασχολούνται με τη μουσική ή το χορό), (β) νεαρών ατόμων που χρειάζεται βελτίωση της κινητικής απόδοσης (επειδή ασχολούνται με τον αθλητισμό), και (γ) ατόμων, παιδιών ή ενηλίκων, που εκδηλώνουν κινητικούς λειτουργικούς περιορισμούς, λόγω κάποιας νευρολογικής βλάβης (εγκεφαλικής παράλυσης, αγγειακού εγκεφαλικού επεισοδίου ή κρανιοεγκεφαλικής κάκωσης), και για τα οποία απαιτείται επανεκπαίδευση του κινητικού ελέγχου που έχει διαταραχθεί.



Σχήμα 1-7: Τα επιστημονικά πεδία που ασχολούνται με τον έλεγχο της κίνησης

Υπάρχουν πολλές επιστήμες που ασχολούνται με την κίνηση, και όλες αποσκοπούν σε έναν κοινό στόχο: στη βαθύτερη κατανόηση των μηχανισμών που υπεισέρχονται για την οργάνωση, προγραμματισμό και ολοκλήρωση της κινητικής δράσης αλλά και για την διόρθωση και “αποκατάστασή” της όταν αυτή διαταραχθεί. Οι προσεγγίσεις για τη μελέτη της ανθρώπινης κίνησης των επιστημονικών αυτών πεδίων είναι πιθανόν διαφορετικές, αλλά όλες καταλήγουν σε κοινή συνισταμένη: τον έλεγχο της κίνησης. Τα επιστημονικά πεδία

που ασχολούνται με την κίνηση του ανθρώπου είναι: (α) η Ιατρική, όπου εμπλέκονται πολλές επιστήμες, όπως Φυσιολογία, Αποκατάσταση, Νευρολογία, Αναπτυξιακή Ιατρική, και άλλα πεδία σε μικρότερη ή μεγαλύτερη έκταση, (β) η Εμβιομηχανική και η Φυσική, (γ) τα Μαθηματικά, (δ) η Ψυχολογία και η επιστήμη της συμπεριφοράς (**σχήμα 1-7**).

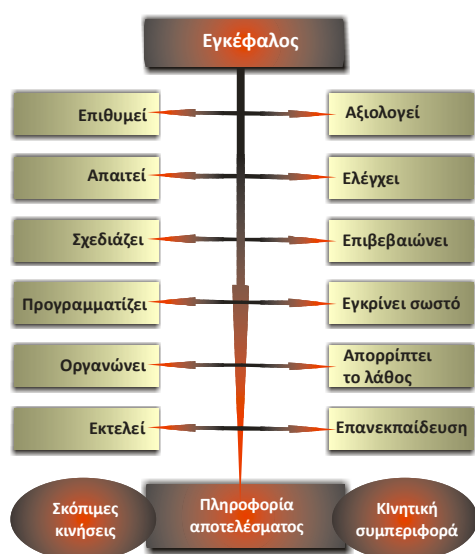


Σχήμα 1-8: Οι ενδιάμεσοι μηχανισμοί και επιστημονικά πεδία για τον έλεγχο της κίνησης

Όλα αυτά τα πεδία ασχολούνται ουσιαστικά με τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου και το τελικό αποτέλεσμα του που είναι η κίνηση, με όλες τις ενδιάμεσες λειτουργίες και μηχανισμούς να απλώνονται σε όλα τα επιστημονικά πεδία (**σχήμα 1-8**). Ο κύριος άξονας αναφοράς των πεδίων αυτών είναι η μελέτη του πως ο εγκέφαλος επιθυμεί, απαιτεί, σχεδιάζει, προγραμματίζει, οργανώνει και εκτελεί τις απαραίτητες σκόπιμες κινητικές δράσεις, ενώ έχει τεράστιο ενδιαφέρον πως πληροφορείται για το αποτέλεσμα, το αξιολογεί, το ελέγχει, το επιβεβαιώνει και το εγκρίνει ως σωστό (ότι δηλαδή εκπλήρωσε το λόγο για τον οποίο σχεδιάστηκε και εκτελέστηκε) ή το απορρίπτει σα λάθος και κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις προκειμένου την επόμενη φορά που θα εκτελεσθεί, να αποφύγει παρόμοια λάθη. Επίσης πως μπορεί να βελτιώσει τη συγκεκριμένη λειτουργία, πως μπορεί αυτή να επανεκπαιδευτεί και να αποκατασταθεί όταν διαταραχθεί ο πρωτογενής έλεγχος που εξασκείται από αυτόν, ενώ έχουν τεράστιο ενδιαφέρον από ποιους παράγοντες επηρεάζεται, διευκολύνεται ή αναστέλλεται, η κινητική απόδοση ή πως μπορεί να αναπτυχθούν αντισταθμιστικές δράσεις και συμπεριφορές (**σχήμα 1-9**). Η λειτουργία του εγκεφάλου είναι ο βασικός άξονας μελέτης όλων των επιστημονικών πεδίων που αναφέρθηκαν, και που ενσωματώνονται στην βασική έννοια της νευροεπιστήμης (βλ. σχήμα 1-2).

Η άποψη της Ιατρικής, μέσα από όλα τα εξειδικευμένα πεδία αλλά κυρίως από αυτό της Νευροεπιστήμης και της Αποκατάστασης, επικεντρώνεται στις νευρωνικές διασυνδέσεις συγκεκριμένων ανατομικών περιοχών, στις αλληλεπιδράσεις που εξασκούνται για τον προγραμματισμό, τη δημιουργία και τον έλεγχο της κίνησης που σχεδιάζεται, και στον τρόπο που ελέγχεται το αποτέλεσμα, μέσω της αισθητικής επαναπληροφόρησης (κατά βάση

την περιφερική εκπροσώπηση του εγκεφάλου), γεγονός που προσφέρει μεγάλο πεδίο για τη δυνατότητα επανεκπαίδευση της κίνησης όταν αυτή διαταραχθεί από μια παθολογική βλάβη. Η άποψη της εμβιομηχανικής και της Φυσικής επικεντρώνεται στο κινητικά και κινηματικά μοντέλα της κίνησης, δηλαδή στην ανάλυση των δυνάμεων και των ροπών που αναπτύσσονται κατά την εκτέλεση μιας κίνησης, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην καθοδήγηση στη σωστή εμβιομηχανική και εργονομική χρήση, ενώ βοηθά στην αποφυγή υπερβολών για πιθανούς τραυματισμούς και υπερκαταπονήσεις. Η άποψη των Μαθηματικών επικεντρώνεται στην ανάλυση και δημιουργία μαθηματικών μοντέλων, τόσο για τις θεωρητικές προσεγγίσεις του τρόπου που ελέγχεται η κίνηση όσο και για αυτούς με τους οποίους διευκολύνεται η μάθηση με τα ανάλογα μαθηματικά μοντέλα, προσφέροντας ένα ουσιαστικό βήμα για την υποστήριξη νέων θεωριών και την ανάπτυξη νέων μεθόδων και προσεγγίσεων, είτε στα παραδοσιακά πεδία της επανεκπαίδευσης είτε μέσω ρομποτικών και άλλων ηλεκτρονικών συστημάτων νευρωνικής αλληλεπίδρασης. Η άποψη της Ψυχολογίας και της επιστήμης της συμπεριφοράς επικεντρώνεται στους γνωσιακούς και ψυχολογικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τη δημιουργία και έκφραση της κινητικής δράσης αλλά και αυτούς που θα τροποποιήσουν την οργανωμένη κινητική συμπεριφορά.



Σχήμα 1-9: Οι βασικές λειτουργίες του εγκεφάλου που σχετίζονται με τον έλεγχο της κίνησης

1-6. Ορισμοί κινητικού ελέγχου, κινητικής μάθησης, κινητικής ανάπτυξης

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε το πώς ο εγκέφαλος ελέγχει την κίνηση και τη συμπεριφορά του ανθρώπου, θα πρέπει να δώσουμε τους βασικούς ορισμούς των εννοιών που σχετίζονται άμεσα με το πεδίο αυτό, όπως, του κινητικού ελέγχου, της κινητικής μάθη-

σης και της κινητικής ανάπτυξης, οι οποίοι αντιπροσωπεύουν τρία βασικά πεδία της νευροεπιστήμης.

Το πρώτο πεδίο είναι ο κινητικός έλεγχος. Σύμφωνα με τον Brooks, ενός νευροφυσιολόγου, “...κινητικός έλεγχος είναι η μελέτη της στάσης και κίνησης που ελέγχονται από κεντρικές εντολές και νωτιαία αντανακλαστικά καθώς επίσης και των λειτουργιών του πνεύματος και του σώματος που διέπουν τη στάση και την κίνηση...”. Με άλλα λόγια, στο πλαίσιο του κινητικού ελέγχου, μελετάται η στάση και η κίνηση του ανθρώπου, που διέπονται, καθορίζονται και ελέγχονται από νευρωνικούς μηχανισμούς, ενώ αναγνωρίζονται και όσοι παράγοντες, εσωτερικοί και εξωτερικοί, μπορεί να επηρεάσουν ή να τροποποιήσουν τη συγκεκριμένη κινητική δράση. Επίσης αναγνωρίζεται ο ρόλος της πνευματικής και γνωσιακής κατάστασης του ατόμου, εφόσον ουσιαστικά ο έλεγχος αυτός, κυρίως στα επίπεδα της οργάνωσης και σχεδιασμού, αποτελεί συνειδητή πράξη (**σχήμα 1-10**). Παρόλα αυτά, η βάση του κινητικού ελέγχου αποτελεί ουσιαστικά μέρος των ακούσιων – αυθόρμητων κινητικών δραστηριοτήτων της καθημερινότητας, η κύρια φύση των οποίων είναι αντανακλαστική και στηρίζονται στην εμπειρία και στη μάθηση.



Σχήμα 1-10: Ο βασικός ορισμός του κινητικού ελέγχου

Το δεύτερο πεδίο είναι η κινητική μάθηση. Σύμφωνα με τους φυσιολόγους Schmitt και Lee, η κινητική εκμάθηση ορίζεται σαν ένα σύνολο νευρωνικών διαδικασιών που συνοδεύεται (αλλά και συνδέεται άμεσα) με την πράξη και την εμπειρία, οδηγεί δε σε σχεδόν μόνιμες (νευροφυσιολογικές) αλλαγές στην ικανότητα παραγωγής επιδέξιων δραστηριοτήτων. Με άλλα λόγια, η κινητική μάθηση είναι μια νευροφυσιολογική διαδικασία, με βάση την οποία και μέσα από τη συνεχή πρακτική, εξάσκηση και εμπειρία, το άτομο μπορεί: (α) να βελτιώσει μια κινητική δράση που υπάρχει φυσιολογικά (να βαδίζει με έναν ιδιαίτερο τρόπο ή να λειτουργεί μέσα από συγκεκριμένο κινητικό πλαίσιο), (β) να αποκτήσει μια νέα κινητική δράση όπως το επιθυμεί και το επιδιώκει με ανάλογο ενδιαφέρον (να μάθει χορό ή ένα μουσικό όργανο), (γ) να βελτιώσει την απόδοση και δεξιότητα μιας ήδη καθιερωμένης

κινητικής συμπεριφοράς (να βελτιώσει την αθλητική του επίδοση), και (δ) να εκπαιδεύσει εκ νέου την κινητική του δράση εάν αυτή έχει επηρεαστεί ή προσβληθεί από μια νευρολογική διαταραχή ή κάκωση (σχήμα 1-11).

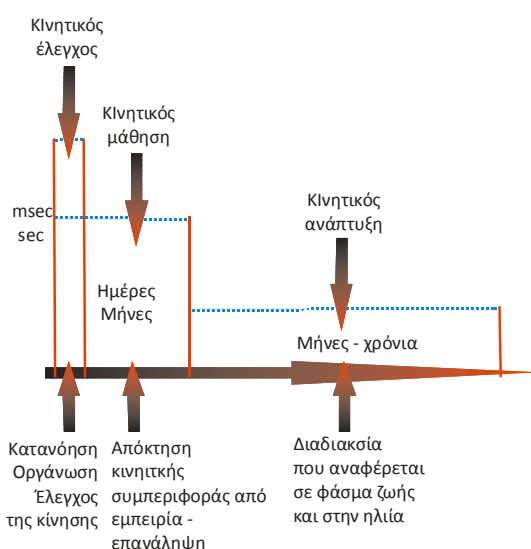


Σχήμα 1-11: Η νευροφυσιολογική διαδικασία της κινητικής μάθησης

Το τρίτο πεδίο τέλος, είναι η κινητική ανάπτυξη η οποία σύμφωνα με τον Roberton αποτελεί τη μελέτη των δια βίου αλλαγών της κινητικής συμπεριφοράς. Με άλλα λόγια αποτελεί μια μελέτη των αλλαγών που παρουσιάζονται από τις διάφορες επιδράσεις, καταστάσεις και παράγοντες που επιδρούν κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων, όπου αναπτύσσονται προσαρμογές και αντισταθμίσεις. Είναι προφανές ότι στις μακροχρόνιες αυτές προσαρμογές επιδρούν διάφοροι ενδογενείς, εξωγενείς, περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί, επαγγελματικοί και μορφωτικοί παράγοντες, που μπορεί να επηρεάσουν κατά τις περιόδους αυτές την κινητική συμπεριφορά του ατόμου.

Κάθε πεδίο από τα παραπάνω, συμβάλλει ουσιαστικά στην κατανόηση της κινητικής συμπεριφοράς, η οποία μπορεί να διευκολυνθεί μέσα από ουσιαστικές ερωτήσεις και προβληματισμούς. Η βασική ερώτηση για το πεδίο του κινητικού ελέγχου είναι “πως οργανώνεται ο έλεγχος της κινητικής συμπεριφοράς;”, για το πεδίο της κινητικής μάθησης, “πως αποκτάται η κινητική συμπεριφορά μέσω της εξάσκησης ή της εμπειρίας;” ενώ τέλος για το πεδίο της κινητικής ανάπτυξης αναφορικά, το ερώτημα είναι “πως αλλάζει η κινητική συμπεριφορά με την ηλικία;” Στις ερωτήσεις αυτές, το “πως”, αναφέρεται ουσιαστικά στην έρευνα των διαδικασιών που μεσολαβούν στην κατανόηση της κινητικής συμπεριφοράς. Για τις διαδικασίες αυτές πρωτεύοντα ρόλο παίζει η χρονική κλίμακα βάσει της οποίας μελετώνται. Οι νευροεπιστήμονες που ασχολούνται με τον κινητικό έλεγχο, ενδιαφέρονται

για διαδικασίες που διαρκούν χιλιοστά του δευτερολέπτου (msec) ή το πολύ δευτερόλεπτα (sec) (σχήμα 1-12). Από την άλλη, όσοι ασχολούνται με την κινητική μάθηση ενδιαφέρονται για διαδικασίες που παρουσιάζονται σε ώρες, ημέρες ή και εβδομάδες, αν και για δραστηριότητες υψηλής δεξιοτήτας (όπως ο χορός και ο χειρισμός ενός μουσικού οργάνου), οι διαδικασίες εκμάθησης μπορεί να διαρκούν μήνες ή ακόμη και χρόνια. Αυτοί που μελετούν την κινητική ανάπτυξη γενικά ενδιαφέρονται για διαδικασίες αλλαγών που αφορούν χρονικές περιόδους που κυμαίνονται από μήνες έως δεκαετίες, δηλαδή σε πλάνο ζωής. Το σχετικό χρονικό διάστημα που προσελκύει το ενδιαφέρον έχει να κάνει με το ρυθμό των αλλαγών στην κινητική συμπεριφορά που συζητιέται.



Σχήμα 1-12: Η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στον κινητικό έλεγχο, την κινητική μάθηση και την κινητική ανάπτυξη

Επομένως, οι εξειδικευμένες περιοχές του κινητικού ελέγχου, της κινητικής μάθησης και της κινητικής ανάπτυξης, διαχέουν το επίκεντρο της κινητικής συμπεριφοράς του ανθρώπου, από την παιδική ηλικία μέχρι την ενηλικίωση. Έτσι, όσοι ενδιαφέρονται για τον κινητικό έλεγχο επιδιώκουν να κατανοήσουν πως ελέγχεται και οργανώνεται η κινητική αυτή συμπεριφορά. Όσοι ενδιαφέρονται για την κινητική μάθηση, μελετούν πως αποκτάται η κινητική συμπεριφορά, μέσα από την εξάσκηση και την εμπειρία που αποκτάται με την επανάληψη, ενώ όσοι ενδιαφέρονται για την κινητική ανάπτυξη, εξετάζουν τις διαδικασίες που σχετίζονται με την ηλικία που παρουσιάζονται οι αλλαγές της συμπεριφοράς, σε ειδικές ηλικιακές ομάδες, σε ειδικές πληθυσμιακές ομάδες (ασθενών ή υγιών) και φυσικά σε ολόκληρο το φάσμα της ζωής τους. Οι προοπτικές σε κάθε επιστημονικό πεδίο για τη μελέτη της κινητικής συμπεριφοράς, επηρεάζουν και εμπλουτίζουν τα υπόλοιπα, προσφέροντας έτσι σε όσους ενδιαφέρονται και ασχολούνται εναλλακτικές απόψεις για να βοηθήσουν στην επίλυση των προβλημάτων δυσλειτουργίας της ανθρώπινης κίνησης (σχήμα 1-12).

2. Βασικά στοιχεία για τον κινητικό έλεγχο και τη διαταραχή του

Το εξειδικευμένο πεδίο του κινητικού ελέγχου, δηλαδή η μελέτη του ελέγχου των κινήσεων του ανθρώπου και των ζώων, όπως το γνωρίζουμε σήμερα, πηγάζει από υποπεδία της νευροεπιστήμης, όπως επίσης είναι το υποπεδίο της νευροφυσιολογίας της λειτουργίας του εγκεφάλου, της φυσιολογία της γνωσιακής και νοητικής λειτουργίας του, καθώς και αυτό της κινητικής, αισθητικής και ψυχολογικής συμπεριφοράς. Η βασική μελέτη του κινητικού ελέγχου αναφέρεται στο πρώτο πεδίο, αυτό που αφορά τους μηχανισμούς που υπεισέρχονται για το σχεδιασμό και την οργάνωση της κινητικής δράσης. Το ενδιαφέρον όμως για τον κινητικό έλεγχο αμείωτο επεκτείνεται και στα υπόλοιπα επιστημονικά (υπο)πεδία της νευροεπιστήμης, εφόσον αποδεδειγμένα και μέσα από σαφείς μηχανισμούς, η κινητική δραστηριότητα επηρεάζεται σημαντικά από αυτά και κυρίως σε μεγάλο βαθμό από τη νόσηση ή το περιβάλλον μέσα στο οποίο εκτελείται.

Είναι μεν ένα υποπεδίο τη νευροεπιστήμης, αλλά όλα της τα πεδία ασχολούνται με αυτό, λίγο ή περισσότερο, και συμβάλουν αποτελεσματικά στη διαμόρφωση της κινητικής συμπεριφοράς. Μπορεί ένας και μόνον άξονας του όλου πλαισίου να υπολείπεται, να παραμελείται ή να υπολειτουργεί, το αποτέλεσμα όμως για όλη την κινητική συμπεριφορά θα είναι λανθασμένο, ή επηρεασμένο σε τέτοιο βαθμό ώστε να θεωρείται ως τέτοιο. Για παράδειγμα, μπορεί ένας μουσικός να έχει προετοιμαστεί άριστα για ένα κονσέρτο που πρόκειται να δώσει, εάν όμως το περιβάλλον που θα παίξει είναι ακατάστατο, υποφωτισμένο ή με πολύ θόρυβο, η εκτέλεσή του θα είναι επηρεασμένη, έως κακή, παρά την προετοιμασία και εκπαίδευση που έκανε. Δεν ευθύνεται επομένως ο μουσικός για την κακή απόδοση, μια και αυτός έκανε ότι μπορούσε από την δική του πλευρά, αλλά άλλοι παράγοντες που δεν εξαρτώνται από αυτόν ή έπρεπε να ληφθούν σοβαρότερα υπόψη. Έτσι, ο κινητικός έλεγχος, είναι ένα άθροισμα γνωστικών πεδίων μέσα στο πλαίσιο της νευροεπιστήμης, που η βαθύτερη μελέτη του απαιτεί τη συνολική κατανόηση όλων των ανάλογων πεδίων (**σχήμα 2-1**).

2-1. Ιστορική αναδρομή του κινητικού ελέγχου και μάθησης

Το ενδιαφέρον για το πώς ελέγχεται η λεπτή και εξειδικευμένη κίνηση του ανθρώπου ξεκίνησε από τις αρχές του 19ου αιώνα και ίσως παλαιότερα, όταν οι πρωτοπόροι φυσιολόγοι ερευνητές ωθήθηκαν στη μελέτη της κινητικής συμπεριφοράς. Οι πρώτες προσπάθειες επι-

κεντρώθηκαν κυρίως επάνω στην ερμηνεία των νευρωνικών-νευροφυσιολογικών μηχανισμών που υπεισέρχονται στη συγκεκριμένη συμπεριφορά.



Σχήμα 2-1: Ο κινητικός έλεγχος, είναι άθροισμα γνωστικών πεδίων μέσα στο πλαίσιο της νευροεπιστήμης,

Ιστορικά θα μπορούσαμε να παρακολουθήσουμε το θέμα σε διάφορα πεδία του, όπως της νευροφυσιολογίας, της φυσιολογίας και της μηχανικής ή της εμβιομηχανικής του ελέγχου. Δεν αλλάζει όμως η αξία της αναφοράς από όποιο πεδίο και να το παρακολουθήσεις. Η αναφορά θα μπορούσε όμως να γίνει σε μια καταλυτική περίοδο, πριν και μετά το 2ο Παγκόσμιο πόλεμο.

Οι πρώτες ιδέες προέρχονται από τη βασική σκέψη των φιλοσόφων όπως ο Πλάτωνας, ο Αριστοτέλης και ο Γαλιλαίος, ενώ οι πρώιμες εμπειρικές διερευνήσεις των κινητικών δεξιοτήτων έγινε το 1920 από τον αστρονόμο Bessel, που προσπάθησε να κατανοήσει τη διαφορά ανάμεσα στους συνεργάτες του, που κατέγραφαν τους χρόνους διέλευσης των κινήσεων των αστερών (μέσω του νήματος του τηλεσκοπίου), καθώς ορισμένοι από αυτούς έκαναν σωστή εκτίμηση και άλλοι όχι, πυροδοτώντας ενδιαφέρον για το σύμπλοκο αυτό θέμα. Αρκετά αργότερα, ο Bowditch το 1882, μελέτησε την οπτική συμβολή στις κινήσεις των χεριών σε ένα συγκεκριμένο στόχο. Το 1906, αναπτύχθηκε από τον Sherrington η άποψη της αμοιβαίας νεύρωσης των ανταγωνιστών μυών, από παρατηρήσεις της αναστολής των αντανακλαστικών κινήσεων ενός μέλους με τον αισθητικό ερεθισμό του δέρματος του αντίθετου μέλους. Ο Sherrington εισήγαγε επίσης την ίδια εποχή την έννοια της ιδιοδεκτικότητας με την αναγνώριση των ιδιοδεκτικών υποδοχέων στην περιφέρεια, εμπλέκοντας την έννοια της αντίληψης της κίνησης, ενώ τόνισε ιδιαίτερα την έννοια των αντανακλαστικών και των κινητικών εντολών. Το 1940, ο φυσιολόγος Nikolai Bernstein εισήγαγε τις έννοιες των βαθμών ελευθερίας της κίνησης, θεωρώντας ότι το κινητικό σύστημα έχει πολλά ανεξάρτητα μεταξύ τους τμήματα που πρέπει να κινήσει αλλά και θα πρέπει επίσης να ελέγξει

κατά την κινητική μάθηση, του συντονισμού και αυτό-οργάνωσής της, του νευρικού ελέγχου και της κινητικής συμπεριφοράς.

Μετά τον 2ο Παγκόσμιο πόλεμο, Ο Melton το 1945, στην προσπάθειά του να επιλέξει ικανούς πιλότους στην πολεμική Αεροπορία, εισήγαγε μια ψυχοκινητική εκτίμηση για τη νοητική και συναισθηματική συμπεριφορά τους. Ο Wiener το 1948 εισήγαγε την έννοια της κυβερνητικής (cybernetics) και ο Fitt το 1954 προέβλεπε ότι ο χρόνος που απαιτείται για να κινηθεί γρήγορα σε έναν στόχο είναι συνάρτηση της απόστασης προς τα στόχο και του μεγέθους του στόχου. Έτσι, εισήγαγε το πρώτο μαθηματικό μοντέλο του νόμου του Fitt. Το 1950 ο Feldman εισήγαγε την υπόθεση του σημείου ισορροπίας (equilibrium point hypothesis) ή της θεωρίας του ελέγχου του ουδού (threshold control theory), όπου η λύση του προβλήματος προτείνεται στον πλεονασμό πολλαπλών μυών και πολλών βαθμών ελευθερίας, ενσωματώνοντας γνωσιακές πλευρές, ερμηνεύοντας πως οι νευρώνες αναγνωρίζουν ότι τα εσωτερικά και εξωτερικά γεγονότα ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Το 1960 ο Henry αναθέρμανε το ενδιαφέρον για την ψυχολογική πλευρά της κινητικής συμπεριφοράς και τα κινητικά προγράμματα, ενώ την ίδια χρονιά ο Stark εφάρμοσε της μεθόδους της μηχανικής στη μοντελοποίηση του κινητικού ελέγχου.

Το 1968 ο Jack Adams εισήγαγε τη θεωρία του κλειστού δακτυλίου της μάθησης, αναγνωρίζοντας ουσιαστικά το ρόλο της αισθητικής επαναπληροφόρησης στην κινητική μάθηση και μεταφέροντας το ενδιαφέρον από τον έλεγχο στη μάθηση. Εισήγαγε επίσης την έννοια της βραχυπρόθεσμης κινητικής μνήμης. Το 1970 ο Schmidt εισήγαγε τη θεωρία του σχήματος (schema theory) που περιλαμβάνει και τη ψυχολογία και αναφέρεται στο πνευματικό πλαίσιο που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος να αντιλαμβάνεται και να οργανώνει τις πληροφορίες που λαμβάνει σε όλα τα επίπεδα. Εδώ περιλαμβάνεται η έννοια της προσαρμογής μια και τα "σχήματα" επεκτείνονται και αλλάζουν με το χρόνο λόγω απόκτησης νέων πληροφοριών. Το 1984 ο Ito σημείωσε τη κινητικά μάθηση στην παρεγκεφαλίδα, το 1987 ο Kawato τη μάθηση μέσω των λαθών από την επαναπληροφόρηση, και το 1990 ο Winters αναφέρθηκε στο σύστημα πολλαπλών μυών. Το 1996 ο Towhidkham ανέφερε ένα πιο σύμπλοκο μοντέλο του ελέγχου πρόβλεψης της αντίστασης (Model Predictive Impedance Control), που προσαρμόζεται στην ικανότητα μάθησης και λειτουργεί με τον ανοικτό ή τον κλειστό δακτύλιο. Τέλος, το 1997 ο Shadmehr υποστήριξε το εσωτερικό μοντέλο και κινητική μάθηση. Υποστήριξε δηλαδή ότι το ΚΝΣ μπορεί να συνδυάζει αποτελεσματικά τα εσωτερικά μοντέλα δύο προηγούμενων διαμορφώσεων που είχαν μαθευτεί, όταν ασχολείται με ένα νέο περιβάλλον όπου υπάρχουν και οι δύο διαμορφώσεις. Αναφέρεται επίσης η υπόθεση της αποσύνθεσης (decomposition hypothesis) που υποστηρίζει ότι όταν υπάρχει ένα

σύμπλοκο περιβάλλον, το ΚΝΣ μπορεί να αποσυνθέσει το περιβάλλον σε διαφορετικά εσωτερικά μοντέλα κατάλληλα για κάθε μια ξεχωριστή αισθητικοκινητική διαμόρφωση.

2-2. Σύγχρονη προσέγγιση του κινητικού ελέγχου και μάθησης

Από τότε και μέχρι σήμερα οι νευροεπιστήμονες επικεντρώνονται στην κατανόηση των εσωτερικών διαδικασιών, σε μικροσκοπικό ή μακροσκοπικό επίπεδο, σε ατομική ή συνολική σφαίρα. Αυτοί προσλαμβάνουν, μεταφράζουν, επεξεργάζονται, συντονίζουν και ελέγχουν την κινητική συμπεριφορά σε ζώα, με μελέτες που κυρίως διεξήχθησαν σε συνθήκες εργαστηρίου (αναισθητοποιημένα πειραματόζωα). Η τεχνολογική εξέλιξη όμως προσφέρει τη δυνατότητα στους νευροεπιστήμονες να μελετήσουν όλες τις παραπάνω διαδικασίες, όπως ο έλεγχος των φυσικών κινήσεων των ζώων σε κατάσταση εγρήγορσης, αλλά και των ανθρώπων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης απλών ή και επιδέξιων κινητικών δραστηριοτήτων.

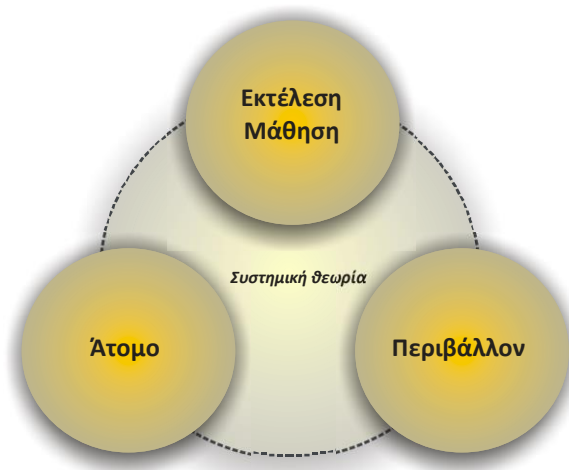
Τα τελευταία χρόνια, για τη μελέτη του κινητικού ελέγχου, χρησιμοποιήθηκαν απόψεις που προέρχονται από την κυβερνητική (cybernetics) και την επεξεργασία πληροφοριών. Η κυβερνητική είναι ένα υποσύνολο της επιστήμης των συστημάτων, η οποία αποτελεί διεπιστημονικό γνωστικό πεδίο που παρέχει ένα κοινό τρόπο σκέψης, που έχει σαν σκοπό τη διαμόρφωση μεθοδολογικών πλαισίων για τη μελέτη συστημάτων με εσωτερική δομή, όπως ακριβώς είναι τα βιολογικά ή τα γνωσιακά συστήματα. Η επιστήμη αυτή βασίζεται στη θεωρία των συστημάτων (συστημική θεωρία), σύμφωνα με την οποία δημιουργείται ένα ολιστικό σφαιρικό πλαίσιο, στηριζόμενο σε διάφορες επιστήμες, προκειμένου να ερμηνευτούν πολύπλοκα συστήματα.

2-2-1. Συστημική θεωρία ή Θεωρία των συστημάτων

Η θεωρία των συστημάτων είναι μια σύγχρονη προσπάθεια σύνθεσης των διαφόρων όψεων της πραγματικότητας, υιοθετώντας μια ολιστική και “σχεσιακή” αντίληψη των γεγονότων. Εδώ και πολλά χρόνια, από τον αρχικό ακόμη προβληματισμό, οι επιστήμονες έκαναν προσπάθεια να ερμηνεύσουν τα πολύπλοκα φαινόμενα, ξεκινώντας από τα βασικά συστατικά τους στοιχεία, που ήταν όμως πολύ απλά στη φύση τους για να δώσουν μια ολοκληρωμένη ερμηνεία για το σύνολο. Ίσως το πλέον δισεπίλυτο πρόβλημα είναι η εξήγηση της σκοπιμότητας, που διέπει την συμπεριφορά με βάση απλές, μηχανιστικές διαδικασίες.

Η συστημική θεωρία πρόσφερε μια εναλλακτική λύση στο αδιέξοδο αυτό, δείχνοντας τον τρόπο με τον οποίο η σκόπιμη συμπεριφορά εμφανίζεται ως ιδιότητα ενός συστήματος που αποτελείται από απλά στοιχεία, τα ίδια όμως δεν χαρακτηρίζονται από σκοπιμό-

τητα. Η συστημική επομένως θεωρία μπορεί να ενσωματωθεί πολύ ικανοποιητικά στο πεδίο του κινητικού ελέγχου, μεταφράζοντας τις δράσεις των απλών στοιχείων της μηχανικής της κίνησης του σώματος σε μια συνολική κινητική συμπεριφορά μέσα σε ένα συγκεκριμένο κάθε φορά περιβάλλον. Το περιβάλλον αυτό εντάσσεται στο “σύνολο” και εξασκεί σαφείς επιδράσεις στα ιδιαίτερα του μέρη (**σχήμα 2-2**).



Σχήμα 2-2: Η συστημική θεωρία

2-2-2. Κυβερνητική

Η κυβερνητική, ως υποσύνολο της επιστήμης αυτής, αναπτύχθηκε παράλληλα με τη θεωρία των συστημάτων, ασχολείται όμως περισσότερο με τη κατασκευή των πολύπλοκων συστημάτων, ειδικά των διαδικασιών της επικοινωνίας, των μηχανισμών ελέγχου και των αρχών της επαναπληροφόρησης. Η κυβερνητική ισχύει πάντα και εμπλέκεται μόνον τότε όταν το σύστημα που ελέγχεται είναι σε ένα κλειστό δακτύλιο, όπου η δράση από το συγκεκριμένο σύστημα σε ένα περιβάλλον προκαλεί κάποια αλλαγή στο περιβάλλον αυτό, και ότι η αλλαγή αυτή που προκαλεί γίνεται εμφανής στο σύστημα μέσω πληροφορίας ή επαναπληροφόρησης (feedback) που προκαλεί αλλαγές στον τρόπο που το σύστημα αυτό συμπεριφέρεται στη συνέχεια, με όλα αυτά να εξυπηρετούν ένα βασικό στόχο ή στόχους. Η αιτιολογική αυτή κυκλική σχέση είναι η αναγκαία και ικανή συνθήκη για μια κυβερνητική προοπτική.

Το επιστημονικό πεδίο της κυβερνητικής έχει πολύ στενή σχέση με τη θεωρία ελέγχου και τη συστημική θεωρία. Η μεταφορά των δύο αυτών προσεγγίσεων και ο συνδυασμός τους, θα μπορέσει να δώσει σαφείς απαντήσεις στα βασικά ερωτήματα της νευροεπιστήμης του κινητικού ελέγχου. Η κεντρική της ιδέα από την αρχή ήταν η ομοιότητα μεταξύ ζωντανών οργανισμών και τεχνολογικών μηχανισμών και είναι τελικά αυτή που μελετά τα συστήματα ελέγχου και επικοινωνιών συγκρίνοντάς τις λειτουργίες του ανθρώπινου εγκε-

φάλου με εκείνες των ηλεκτρονικών συστημάτων, ξεπερνώντας έτσι τις φυσιολογικές αποδόσεις της ανθρώπινης πρωτοβουλίας.

2-2-3. Επανατροφοδότηση (feedback)

Όπως αναφέρθηκε, τα παραπάνω ισχύουν εφόσον μελετάται ένα σύστημα που βρίσκεται σε κλειστό δακτύλιο, επομένως προσφέρει διαρκώς και ανελλιπώς πληροφορίες για την κατάσταση του συστήματος. Η λήψη πληροφοριών από τη λειτουργία ή το αποτέλεσμα της λειτουργίας του συστήματος προσφέρει μέσα από τη διαδικασία της επανατροφοδότησης. Η επανατροφοδότηση, feedback, η οποία υποστηρίζεται από τη θεωρία των συστημάτων και κατ' επέκταση της κυβερνητικής, αποτελεί ένα στοιχείο ρουτίνας για τα μοντέλα του κινητικού ελέγχου. Η επανατροφοδότηση (ή διαφορετικά επαναπληροφόρηση ή βιοανάδραση - biofeedback), ως βιολογική διαδικασία, υποστηρίχθηκε στις αρχές του αιώνα, κυρίως από τους Ψυχιάτρους και τους Ψυχολόγους, προκειμένου να ελέγξουν τη συναισθηματική συμπεριφορά, τις λειτουργίες του σώματος αλλά και τη μάθηση.

Στη διαδικασία του κινητικού ελέγχου η επανατροφοδότηση παίζει έναν πιο ρεαλιστικό και σαφή ρόλο. Η όλη διαδικασία αναφέρεται στην πληροφόρηση του εγκεφάλου (κεντρικά) από την περιφέρεια για το τι ακριβώς συμβαίνει, κάθε στιγμή στα περιφερικά συστήματα (τους μυς και τις αρθρώσεις) που ουσιαστικά εκτελούν τις κεντρικές εντολές. Η πληροφορία αυτές μεταφέρονται προς τον εγκέφαλο, από τη διέγερση των ειδικών αισθητικών υποδοχέων που είναι διάσπαρτοι στα περιφερικά εκτελεστικά όργανα, μυς και αρθρώσεις. Όταν για παράδειγμα εκτελείται μια κινητική δραστηριότητα, επιδέξια ή μη, τότε παράλληλα με την “εκτελεστική” διέγερση των μυϊκών ομάδων για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης δραστηριότητας, διεγείρονται και οι περιφερικοί αυτοί υποδοχείς που εντοπίζονται βέβαια στα εκτελεστικά αυτά όργανα, προκειμένου να προσφέρουν την περισσότερο αξιόπιστη πληροφορία σχετικά με το αποτέλεσμα της εκτελούμενης δραστηριότητας.

2-2-4. Λειτουργία της περιφερικής Επανατροφοδότηση

Οι περιφερικοί υποδοχείς που προσφέρουν τις ανάλογες πληροφορίες στον εγκέφαλο κατά την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας είναι: (α) οι μυϊκές άτρακτοι, που είναι ειδικά διαμορφωμένες μυϊκές ίνες μέσα στο σύνολο των μυϊκών ινών που ανιχνεύουν τις αλλαγές στο μήκος της μυϊκής ίνας καθώς και το ρυθμό με τον οποίο παρουσιάζονται οι αλλαγές αυτές, (β) τα τενόντια όργανα του Golgi, τα οποία ανιχνεύουν την τάση που εφαρμόζεται στον τένοντα του μυός κατά τη διάρκεια τόσο της μυϊκής σύσπασης όσο και της μυϊκής διάτασης, (γ) τασεοϋποδοχείς, μηχανοϋποδοχείς και υποδοχείς των αρθρώσεων, που

εντοπίζονται κυρίως στην περιοχή των αρθρώσεων που ανιχνεύουν το μέγεθος της μηχανικής φόρτιση μιας άρθρωσης, τις αλλαγές που παρουσιάζονται στη φόρτιση αυτή καθώς και τον άξονα φόρτισης, (δ) υποδοχείς του δέρματος, όπως αυτοί της αφής, του πόνου και της θερμοκρασίας (θερμού και κρύου), που ο καθένας ανιχνεύει τα ειδικά για αυτόν αισθητικά ερεθίσματα, όπως είναι τα απτικά, επώδυνα και επιβλαβή και θερμικά ερεθίσματα αντίστοιχα, (ε) άλλα αισθητικά ερεθίσματα, όπως οπτικά, ακουστικά και αιθουσαία, που ανιχνεύουν κυρίως πληροφορίες και αλλαγές του περιβάλλοντος ενώ παράλληλα πληροφορούν τον εγκέφαλο για τη θέση και στάση του σώματος μέσα στο συγκεκριμένο περιβάλλον και κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες.

Όλοι οι παραπάνω αισθητικοί υποδοχείς πληροφορούν για το τελικό κινητικό αποτέλεσμα, προσφέρουν όμως πληροφορίες και κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, δεδομένου ότι στα φυσιολογικά άτομα η πυροδότησή τους είναι άμεση και με ελάχιστη, έως μηδενική στην αντίληψη, καθυστέρηση. Με τον τρόπο αυτόν ο εγκέφαλος πληροφορείται άμεσα και μεγάλη ακρίβεια τι ακριβώς συμβαίνει ή συνέβη στην περιφέρεια. Δηλαδή με άλλα λόγια, οι υποδοχείς αυτοί, και κυρίως οι μυϊκές άτρακτοι και τα τενόντια όργανα του Golgi, μπορεί να θεωρηθούν ως “οι περιφερικοί εκπρόσωποι του εγκεφάλου”. Προσλαμβάνοντας τις πολλαπλές και λεπτομερείς αυτές πληροφορίες ο εγκέφαλος μπορεί άμεσα να ταυτοποιήσει την ακρίβεια και καταλληλότητα της εκτέλεσης, εάν δηλαδή αυτή έγινε σύμφωνα με το “αρχικό κινητικό πρόγραμμα” και εάν ικανοποίησε το σκοπό ή στόχο για το οποίο εκτελέσθηκε. Εάν είναι “θετική” η απάντηση, τότε η εκτέλεση αυτή καταχωρείται ως επιτυχημένη και σκόπιμη κινητική δραστηριότητα, και αποτελεί ουσιαστικά μέρος της “πρακτικής εμπειρίας” της συγκεκριμένης δράσης. Διαφορετικά, θα πρέπει να αναγνωριστεί και να ταυτοποιηθεί το λάθος (ή τα λάθη), να διαπιστωθεί σε ποιο ακριβώς σημείο του προγράμματος παρουσιάστηκε, να επιτρέψει σε αυτό και να γίνουν οι κατάλληλες εσωτερικές διορθώσεις ή (εάν η παρέμβαση είναι εξωτερική) οι κατάλληλες προσαρμογές στο περιβάλλον προκειμένου την επόμενη φορά να είναι επιτυχής και να ικανοποιήσει το στόχο της επιλογής της.

2-2-5. Εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων –

Δημιουργία μαθηματικών μοντέλων

Η ενσωμάτωση με την πάροδο του χρόνου όλων αυτών των θεωριών και των συστημάτων ελέγχου στο πεδίο του κινητικού ελέγχου, είναι σαν αποτέλεσμα να διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό η κινητική, αισθητική και γνωσιακή λειτουργία του εγκεφάλου. Έτσι, όλα αυτά βοήθησαν ώστε η λειτουργία του εγκεφάλου να μοντελοποιηθεί και να αναγνωρισθεί παράλληλη και αρκετά ταυτόσημη με τις λειτουργίες του ηλεκτρονικού υπολογιστή, χωρίς όμως

ποτέ να μπορεί να μοντελοποιηθεί και να ενσωματωθεί στους υπολογισμούς αυτούς η λογική και το συναίσθημα, παρά τη μεγάλη προσπάθεια μέσω της τεχνικής νοημοσύνης. Ο όρος τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) αναφέρεται στον κλάδο της πληροφορικής που ασχολείται με τη σχεδίαση και την υλοποίηση υπολογιστικών συστημάτων, που μιμούνται στοιχεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς και τα οποία υποδηλώνουν έστω και στοιχειώδη ευφυΐα, όπως μάθηση, προσαρμοστικότητα, εξαγωγή συμπερασμάτων, κατανόηση από συμφραζόμενα και επίλυση προβλημάτων.

Με τον τρόπο αυτόν δημιουργήθηκαν μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης της λειτουργίας του εγκεφάλου, μέσα από τα κινητικά προγράμματα, την κινητική και αισθητική μνήμη της κίνησης, που εξυπηρετούν τους βασικούς ρόλους της κινητικής συμπεριφοράς. Σαν κινητικά προγράμματα εννοούνται οι σταθερές διαδικασίες οργάνωσης και εκτέλεσης των αισθητικών μνημονικών αποτυπωμάτων της κίνησης (αισθητική μνήμη της κίνησης), ώστε κάθε φορά που πυροδοτούνται να παράγουν τη συγκεκριμένη κινητική δράση.

2-2-6. Πρακτική εφαρμογή των παραπάνω συστημάτων

Εκτός από τους τομείς της νευροεπιστήμης και της ψυχολογίας, η Ιατρική Αποκατάσταση είναι παραδοσιακά από τις πρώτες ιατρικές ειδικότητες, που μελετά σε βάθος πως είναι οργανωμένο το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) και πώς αυτό ελέγχει την κινητική συμπεριφορά του ατόμου. Μέσα στο πλαίσιο αυτό, μετά το 1960 αναπτύχθηκαν όλα τα οργανωμένα συστήματα διαχείρισης των προβλημάτων της κίνησης, όπως οι βασικές νευροεξελικτικές προσεγγίσεις, που οργανώθηκαν σε ολοκληρωμένα θεραπευτικά προγράμματα. Ανάμεσα σε αυτά είναι αυτά των Knott και Voss, της Rood, των Bobath, της Brunnstrom και του Fay, τα οποία αντιπροσωπεύουν μια σαφή απομάκρυνση από τις απόψεις που βασίζονται αποκλειστικά και μόνο στις εμβιομηχανικές αρχές της κίνησης, ενώ για την επίλυση των κινητικών προβλημάτων του ασθενή χρησιμοποιούν τα μοντέλα του κινητικού ελέγχου και των κινητικών προγραμμάτων. Τα μοντέλα αυτά κυριαρχούν ακόμη από την πρώτη εποχή της δημιουργίας των θεωριών του κινητικού ελέγχου, όπως αυτή του μοντέλου της ιεραρχίας ή των αντανεκλαστικών, βασικές θεωρίες που παρουσιάζονται ως η θεμέλιος βάση για τον ενεργητικό έλεγχο των κινήσεων.

Το μοντέλο του κινητικού ελέγχου έχει κατανοηθεί πλέον επαρκώς και χρησιμοποιείται στη καθημερινή πράξη για να ερμηνεύσει τη μη φυσιολογική κινητική συμπεριφορά ατόμων που παρουσιάζουν διαταραχή του ΚΝΣ. Με απλά λόγια, τα άτομα που έχουν μια εγκεφαλική δυσλειτουργία ή κάποια άλλη παθολογική διαταραχή εκδηλώνουν αντανεκλαστικές κινητικές συμπεριφορές, οι οποίες δε βρίσκονται κάτω από ενεργητικό έλεγχο (πα-

ρουσιάζονται δηλαδή ακούσια). Τα αντανακλαστικά αυτά, με βάση τη θεωρία της ιεραρχίας και των αντανακλαστικών που θα αναλυθούν παρακάτω, εκτελούνται από το άθικτο “κατώτερο επίπεδο” της ιεραρχίας του κινητικού ελέγχου, δηλαδή την περιφέρεια. Επομένως, εάν στηριχθούμε στη θεωρία αυτή, που παρά τις επικρίσεις και τροποποιήσεις που έλαβε στην πορεία του χρόνου, παραμένει βαθιά στη φιλοσοφία πολλών νευροεπιστημόνων, μπορεί να θεωρηθεί ότι, μετά μια εγκεφαλική βλάβη, η επανοργάνωση και η ανακατασκευή του χαμένου (λόγω της βλάβης) κινητικού ελέγχου θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί, εάν ενεργοποιηθούν και πάλι τα υψηλότερα κέντρα ελέγχου. Αυτό μπορεί να γίνει μέσα από ολοκληρωμένα θεραπευτικά προγράμματα, όπως αυτά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, που όλα βασικά χρησιμοποιούν τον αισθητικό ερεθισμό που αποτελεί ουσιαστικά το βασικό κίνητρο για την ενεργητική δράση.

Το ιεραρχικό μοντέλο του κινητικού ελέγχου υποστηρίζει ότι όλα τα στοιχεία του προγραμματισμού και της εκτέλεσης της κίνησης είναι αποκλειστική ευθύνη ενός ή περισσότερων κέντρων του φλοιού ή άλλων βαθύτερων κέντρων του εγκεφάλου, τα οποία αντιπροσωπεύουν το υψηλότερο επίπεδο διοίκησης στην ιεραρχία του ΚΝΣ. Δηλαδή, ο αισθητικός ερεθισμός, μέσω των υποδοχέων που αναφέρθηκαν παραπάνω, αποτελεί το μέσο πυροδότησης του ανώτερου επιπέδου της ιεραρχίας και την επανοργάνωση της διαταραγμένης κινητικής δράσης.

2-3. Διεύρυνση της μελέτης του κινητικού ελέγχου

Με την πάροδο του χρόνου, έγινε μια γενική αλλαγή στον τρόπο που ανασκοπούνται τα θέματα που σχετίζονται με τον έλεγχο της κινητικής συμπεριφοράς. Η αλλαγή αυτή στο μεγαλύτερο μέρος της είναι αποτέλεσμα των εργασιών του Bernstein, ενός Ρώσου φυσιολόγου, που υποστήριξε το θέμα των “βαθμών ελευθερίας”, στηριζόμενος στη θεωρία των Δυναμικών Συστημάτων. Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή, ο έλεγχος των κινήσεων είναι αποτέλεσμα της δυναμικής συνεργασίας πολλών συστημάτων και η πολυπλοκότητα της συνεργασίας αυτής υποδηλώνει ότι υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να διαφέρουν ή και να αλλάζουν. Αυτά τα διαφορετικά στοιχεία χαρακτήρισε ο Bernstein ως “βαθμούς ελευθερίας”, όσον αφορά την κινητική λειτουργία. Παράλληλα προσπαθεί να απαντήσει το βασικό του ερώτημα, πώς δηλαδή ο εγκέφαλος ελέγχει τόσες διαφορετικές αρθρώσεις με τη δράση τόσων μυών στο σώμα (αγωνιστών, ανταγωνιστών και σταθεροποιητών), προκειμένου να εκτελεστεί μια επιδέξια κινητική δραστηριότητα. Η προσέγγιση αυτή ενισχύει το ενδιαφέρον για τη φυσική πλευρά του σώματος και ιδιαίτερα εστιάζεται

στο μυοσκελετικό σύστημα και στο ρόλο που κατέχει αυτό στον κινητικό έλεγχο, έρχεται δε σε αντίθεση με παλαιότερες απόψεις που τον έλεγχο των κινήσεων το κυριότερο ρόλο έπαιζε σχεδόν αποκλειστικά το νευρικό σύστημα.

Ο τρόπος με τον οποίο ο εγκέφαλος επιλύει το πρόβλημα των βαθμών ελευθερίας και των διάφορων συνθηκών που παρουσιάζονται κάθε στιγμή, είναι μέσα από τις πολλαπλές μυϊκές συνέργειες (που αναφέρονται παρακάτω) ή τις μυϊκές και άλλες δομές που οργανώνει και συντονίζει κατάλληλα. Ο εγκέφαλος απλοποιεί τη δράση του ελέγχου πολυάριθμων μυών με το να τους περιορίζει να λειτουργούν επιλεκτικά. Αυτό σημαίνει ότι ο εγκέφαλος δεν αναγνωρίζει τη δράση των μεμονωμένων μυών αλλά μόνο τη δραστηριότητα που αυτοί παράγουν. Για παράδειγμα ο εγκέφαλος δεν αναγνωρίζει τον τετρακέφαλο μυ, παρά μόνο την έκταση του γόνατος ή την κάμψη του ισχίου. Η κίνηση είναι αυτή που εκπροσωπείται στον εγκέφαλο και όχι η δράση κάθε μεμονωμένου μυ. Δηλαδή, για να προκύψει μια κίνηση θα πρέπει ο εγκέφαλος να ενεργοποιήσει τους αγωνιστές μυς, να χαλαρώσει τους ανταγωνιστές και να ενισχύσει τη δράση των σταθεροποιητών μυών.

Η ερμηνεία των μυϊκών αυτών διασυνδέσεων ή συνεργειών δίνεται μέσα από δύο προσεγγίσεις. Η μία δίνει έμφαση στα κινητικά προγράμματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως και θα αναλυθούν παρακάτω. Η άλλη τονίζει ότι οι μυϊκές αυτές συνέργειες, δεν είναι προκαθορισμένες όπως συμβαίνει με ένα πρόγραμμα του υπολογιστή, αλλά είναι το αποτέλεσμα μιας σύμπλοκης αλληλεπίδρασης ανάμεσα στο άτομο και στο περιβάλλον στο οποίο αυτό λειτουργεί. Τα κινητικά προγράμματα, όπως είναι οργανωμένα, περιλαμβάνουν πληροφορίες (φυγόκεντρες) μέσα από τις οποίες εξειδικεύουν σταθερές συσχετίσεις (συνέργειες) ανάμεσα στους μυς, αποθηκεύονται σε (αισθητικές) μνήμες και ανακαλούνται οποτεδήποτε πρόκειται να καθοδηγήσουν τη συγκεκριμένη μυϊκή δράση. Οι μυϊκές αυτές διασυνδέσεις και συσχετίσεις προκύπτουν, οργανώνονται και αναδύονται από το ΚΝΣ, λαμβάνοντας πάντοτε υπόψη τη φυσική κατασκευή του σώματος (εξατομικευμένη κινητική συμπεριφορά) και το πλαίσιο στο οποίο θα πρέπει να εκτελεστεί η δραστηριότητα.

Παρότι η άποψη της μυϊκής συνέργειας ή της λειτουργίας των μυών σε καθορισμένες συσχετίσεις δεν αποτελούν ουσιαστικά νέα νευροφυσιολογική προσέγγιση, οι διαδικασίες που μεσολαβούν για την εμφάνιση της μυϊκής αυτής διασύνδεσης είναι καινοτόμες. Οι συνέργειες, κλασικά, παρατηρούνται ως η συμπεριφερειολογική εκδήλωση των αντανακλαστικών που παρουσιάζονται από τη γέννηση του ανθρώπου. Οι συνέργειες παρατηρούνται είτε ως κινητικά προγράμματα είτε ως αναδυόμενες ιδιότητες (emergent properties) των συστημάτων του σώματος (νευρομυϊκού, αισθητικού, εμβιομηχανικού) σε σχέση πάντα με το περιβάλλον που λειτουργεί. Το νευρικό σύστημα (κινητικό, αισθητικό και αυτόνομο),

το μυοσκελετικό σύστημα και άλλα συστήματα όπως το κάρδιο-αναπνευστικό, όλα συμβάλλουν στην παραγωγή της κίνησης. Επομένως, δεν μπορεί πλέον να θεωρηθεί ότι το νευρικό σύστημα αποτελεί τη μόνη πηγή του κινητικού ελέγχου.

2-4. Κινητικά προγράμματα και μυϊκή δράση

Ένα κινητικό πρόγραμμα, απλοποιεί το πρόβλημα των “βαθμών ελευθερίας” που αναφέρθηκε παραπάνω, προσφέροντας για έλεγχο μια μόνο απλή κινητική μονάδα αντί για πολλές. Σαν κινητική μονάδα ορίζεται το κυτταρικό σώμα του νευρικού κυττάρου, ο νευράξονας με τις τελικές του απολήξεις και το σύνολο των μυϊκών ινών που νευρώνεται από το συγκεκριμένο νευράξονα. Τα κινητικά αυτά προγράμματα ενσωματώνονται με έναν καθαρά ιεραρχικό τρόπο (μια συγκεκριμένη ακολουθία σε σειρά), όπως υποστηρίζεται από μερικά πιο σύγχρονα μοντέλα του κινητικού ελέγχου. Στα μοντέλα αυτά, τα κινητικά προγράμματα επιλέγονται μέσα από διαδικασίες που ελέγχονται από υψηλότερα κέντρα, τα οποία όμως εκτελούνται από τα χαμηλότερα επίπεδα (εκτελεστικές μυϊκές δομές). Η ιεραρχική αυτή διάταξη, απελευθερώνει τα υψηλότερα κέντρα, προκειμένου αυτά να εμπλακούν στις διαδικασίες του σχεδιασμού της κινητικής δράσης που αντιπροσωπεύουν. Ένα θέμα που ενδιαφέρει όσους ασχολούνται με το επιστημονικό αυτό πεδίο είναι να καθοριστούν ποιά στοιχεία των κινητικών προγραμμάτων είναι αμετάβλητα και σταθερά και ποιά στοιχεία από αυτά υπόκεινται σε υψηλότερο έλεγχο. Αυτό έχει σημασία, επειδή τα τμήματα του κινητικού προγράμματος που υπόκεινται σε υψηλότερο έλεγχο, μπορεί να εκπαιδευτούν.

2-4-1. Μεταβλητά και σταθερά στοιχεία του κινητικού προγράμματος

Ένα κινητικό πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από μια αμετάβλητη και σταθερή σειρά (νευροφυσιολογικών δράσεων και αποκρίσεων) σύμφωνα με την οποία ενεργοποιούνται τα βασικά του στοιχεία. Αν λάβουμε για παράδειγμα, μια χορευτική κίνηση, ένα ριέ (κίνηση με κάμψη των γονάτων και συνήθως με έξω στροφή των ισχίων ενώ οι ποδοκνημικές παραμένουν σταθερές), τότε η σειρά με την οποία θα συσπαστούν οι μύες για να προκληθεί η συγκεκριμένη δράση με ακρίβεια και επιτυχία, πρέπει να είναι σταθερή. Με άλλα λόγια η διάρκεια των μυϊκών συσπάσεων των μυών που επιστρατεύονται για τη συγκεκριμένη δράση θα είναι σταθερή, όπως ακριβώς θα είναι και τα σχετικά επίπεδα των δυνάμεων που αναπτύσσονται ανάμεσα στους μυς που λειτουργούν για το κινητικό αυτό πρόγραμμα. Τα στοιχεία αυτά επομένως μπορεί να χαρακτηριστούν ως σταθερά και αμετάβλητα. Αντίθετα, αυτό που μπορεί να διαφέρει στο κινητικό πρόγραμμα και ως εκ τούτου θα μπορούσε να

υπόκειται σε έλεγχο, είναι το απόλυτο επίπεδο της δύναμης που κάθε στιγμή απαιτείται (ανάλογα με τη χορογραφία, τη δοσμένη άσκηση, την έκφραση, τη συναισθηματική φόρτιση) και η συνολική διάρκεια της συγκεκριμένης χορευτικής κίνησης, δηλαδή του κινητικού προγράμματος που την επενδύει. Δηλαδή μια τέτοια χορευτική κίνηση μπορεί να είναι ήπια ή με μεγαλύτερη ένταση, να ολοκληρώνεται αργά ή πιο γρήγορα, σύμφωνα με το ρυθμό της μουσικής που δίνεται (adagio, allegro) ή να αποτελεί μια σταθερή στάση (να βρίσκεται σε παύση) για την υποστήριξη απλά μιας άλλης κίνησης της χορογραφίας.

Ωστόσο, τόσο η ταχύτητα όσο και η δύναμη που μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ειδικό κινητικό πρόγραμμα είναι περιορισμένες. Για παράδειγμα, εάν σε μια παρόμοια χορευτική κίνηση αυξηθεί η ταχύτητα, μπορεί να αλλάξει ο σχετικός χρονισμός των διάφορων μυών του συγκεκριμένου προγράμματος και πλέον ξεκινά να χρησιμοποιείται ένα νέο πρόγραμμα, καθώς ο χορευτής αρχίζει να χρησιμοποιεί ένα πιο γρήγορο πρότυπο κίνησης αλλάζοντας την αρχική έκφραση με την οποία ξεκίνησε. Μια παρόμοια αλλαγή από τον ένα τύπο κίνησης στον άλλο μπορεί να φανεί χρησιμοποιώντας το παράδειγμα τη βάδισης: ενώ το άτομο βαδίζει με έναν σταθερό ρυθμό, όταν η ταχύτητα της βάδισης αυξάνεται, αλλάζει το πρότυπο της κίνησης του σώματος και μετατρέπεται σε γρηγορότερο περπάτημα. Εάν αυξηθεί ακόμη περισσότερο σε ήπιο τρέξιμο, φτάνει σε οριακό σημείο όπου παρουσιάζεται μια αλλαγή από το πρότυπο της γρήγορης βάδισης στο πρότυπο του τρεξίματος. Τα παραδείγματα αυτά μπορεί να εξηγηθούν ως μετακινήσεις από το ένα πρόγραμμα στο άλλο.

2-4-2. Μοντέλου του ελατηρίου μάζας

Ένα μοντέλο που εμπλέκεται στην ερμηνεία του ελέγχου μέσα από την άποψη του προγραμματισμού της κίνησης είναι αυτό του ελατηρίου μάζας (mass spring model). Η υποστήριξη για το μοντέλο αυτό προσφέρεται από το Feldman σύμφωνα με τον οποίο ο έλεγχος της τελικής θέσης επιτυγχάνεται με την εξειδίκευση της σχετικής “ακαμψίας” των ανταγωνιστών μυών. Σύμφωνα με αυτό, οι κινήσεις τελειώνουν στο σημείο όπου ισορροπείται η ακαμψία των αγωνιστών και ανταγωνιστών κατά μήκος του μέλους που κινείται. Τμήμα επομένως του μοντέλου αυτού, είναι οι μη συσταλτές ελαστικές ιδιότητες του μυός, δηλαδή οι αγωνιστές και ανταγωνιστές μύες παρατηρούνται σαν δύο αντίθετα ελατήρια. Αυτό είναι δράση που φαίνεται να μοντελοποιείται και να αποθηκεύεται κεντρικά, όπως υποστηρίζεται από πειράματα σε εργαστήριο που έγιναν σε πιθήκους. Οι πίθηκοι, αφού μάθουν να εκτελούν απλές κινήσεις μιας άρθρωσης με σκοπό, για παράδειγμα, να δείξουν προς ένα σημείο, είναι ικανοί να δείξουν προς το σημείο αυτό ακόμη και όταν περιορίζεται το οπτικό τους πεδίο (δηλαδή ακολουθούν την αναστολή των κεντρομόλων ερεθισμάτων από το μέ-

λος, ανεξάρτητα από τη θέση έναρξης της κίνησης). Φαίνεται ότι οι πίθηκοι αποθηκεύουν πληροφορίες σχετικά με την τάση των μυών τους όταν φτάσουν στην τελική θέση κατά την οποία δείχνουν το στόχο. Το πείραμα αυτό υποστηρίζει τη θεωρία ότι το σύστημα του κινητικού ελέγχου επιλύει το πρόβλημα της “ελευθερίας της κίνησης”, αντιμετωπίζοντας το μυοσκελετικό σύστημα σαν αυτό να αποτελείται από σύστημα ελατηρίου μάζας.

2-5. Αναδυόμενες (έμφυτες) ιδιότητες του νευρωνικών δικτύων

Η έννοια των αναδυόμενων (έμφυτων) ιδιοτήτων (emergent property) των νευρωνικών δικτύων, που καθορίζεται γενετικά, αποτελεί ένα τμήμα του πλαισίου εφαρμογής των μοντέλων του δικτύου, που απευθύνεται στον κινητικό έλεγχο, ιδιαίτερα στον έλεγχο της μετακίνησης και μεταφοράς. Τα πρότυπα της νευρικής λειτουργίας μπορούν να μοντελοποιηθούν, εξειδικεύοντας και τοποθετώντας, για παράδειγμα, με λεπτομέρεια τα στοιχεία που απεικονίζουν νευρώνες σε μια σειρά. Εάν στην αλυσίδα αυτή των νευρώνων σε σειρά, ενεργοποιηθεί ένα στοιχείο της αλυσίδας αυτής, τότε θα ενεργοποιηθούν αναπόφευκτα και τα υπόλοιπα της στοιχεία, σε μια σταθερή ακολουθία και με ένα σταθερό και πάντοτε καθορισμένο τρόπο. Δηλαδή υπακούει στις θεμελιώδεις αρχές του συντονισμού και της συνέργειας. Με άλλα λόγια, η πυροδότηση των στοιχείων αυτών της νευρωνικής αλυσίδας εξαναγκάζει σε στερεότυπη ενεργοποίηση, θεωρώντας ότι τα στοιχεία αυτά “είναι υποχρεωμένα” να παράγουν ένα σταθερό πρότυπο δραστηριότητας.

Εκτός από την υποχρεωτική αυτή παραγωγή των σταθερών προτύπων δραστηριότητας από τη σε σειρά λειτουργία του δικτύου, οι ομάδες των νευρώνων μπορούν διαταχθούν σε ένα κυκλικό μοτίβο, έτσι ώστε να εξαναγκαστούν για να προκύψει μια κυκλική λειτουργία. Η συγκεκριμένη επομένως κυκλική λειτουργία, σαν ένα πρότυπο ενεργοποίησης, αποτελεί ουσιαστικά μια έμφυτη ιδιότητα του δικτύου. Εφόσον περιοριστεί η σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα στα στοιχεία του συστήματος (σε σειρά λειτουργία), τότε αναδύεται μια νέα ιδιότητα που δεν είναι έμφυτη για τα στοιχεία αυτά του συστήματος. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε νευρωνικό στοιχείο δεν έχει από τη φύση του την ιδιότητα της κυκλικής δραστηριότητας και επομένως θα πρέπει να διαταχθεί κατάλληλα, να αποτελεί δηλαδή μέρος, σε ένα κύκλωμα, ώστε να προκύψει αυτή.

Οι αναδυόμενες αυτές ιδιότητες του συστήματος έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ιδιαίτερο μειονέκτημα είναι η τάση των κυκλωμάτων αυτών να διατάσσονται κυκλικά και να παράγουν χαρακτηριστικά συντονισμένα ταλαντωτική συμπεριφορά. Αυτό σημαίνει ότι προοδευτικά μπορεί να παρασυρθούν και να εξαναγκασθούν κατά τη διάρκεια

μιας επανειλημμένης λειτουργίας. Για να ελεγχθούν οι ταλαντώσεις στο μοντέλο των νευρωνικών δικτύων είναι απαραίτητοι μηχανισμοί απόσβεσης. Ο βαθμός αυτός απόσβεσης, όταν διαχέεται η ενέργεια του συστήματος, επαναφέρει τελικά τις ταλαντώσεις που έχουν προκύψει σε ένα σημείο “στατικής ισορροπίας”.

Παρόλο ότι οι ταλαντώσεις είναι συνήθεις για τα βιολογικά συστήματα, δεν φαίνεται να παρουσιάζεται ανεξέλεγκτα στα συστήματα αυτά το φαινόμενο του συντονισμού. Τα βιολογικά συστήματα *in vivo*, διαθέτουν την ικανότητα να διατηρούν σταθερά τα επίπεδα της ταλαντωτικής τους συμπεριφορά, και έτσι, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο των δικτύων προκειμένου να εξηγηθούν κάποιες από τις θεμελιώδεις τους ιδιότητές τους, όπως η ταλάντωση και ο συντονισμός. Το πρόβλημα με τη μοντελοποίηση των νευρικών δικτύων είναι ότι στηρίζεται στη φυσική των κλειστών συστημάτων, δηλαδή σε αυτά που δεν επιτρέπουν την ανταλλαγή ενέργειας ή μάζας με το περιβάλλον. Κατά συνέπεια, τα συστήματα αυτά δε μπορεί να θεωρηθούν ως τα πλέον κατάλληλα για τη μοντελοποίηση της λειτουργίας των βιολογικών (ζώντων) συστημάτων. Οι βιολογικές ταλαντώσεις φαίνεται να απεικονίζονται καλύτερα από τις μη γραμμικές ταλαντώσεις ή τις οριακές κυκλικές ταλαντώσεις, που αντιπροσωπεύουν τα ανοιχτά συστήματα της φυσικής.

Η μοντελοποίηση των ανοικτών συστημάτων αποτελεί σχετικά νέο πεδίο της φυσικής. Ακόμη, η δημιουργία των νεότερων μοντέλων του κινητικού ελέγχου στηρίζεται σε αρχές που σχετίζονται με τη θερμοδυναμική των ανοικτών συστημάτων, που δεν πρέπει να συγχέεται με την ανοικτή αλυσίδα του ελέγχου της κίνησης, και τις αρχές των μη γραμμικών οριακών κυκλικών ταλαντώσεων (nonlinear limit cycle oscillation). Με μία πρώτη ματιά, η χρήση προτύπων ταλάντωσης για το μοντέλο του κινητικού ελέγχου φαίνεται να περιορίζεται στις επαναλαμβανόμενες κυκλικές δραστηριότητες, όπως ακριβώς είναι τα διάφορα πρότυπα βάδισης. Ακόμη, οι ταλαντωτές (με συγκεκριμένα πρότυπα ταλάντωσης) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιήσουν τις διακριτές, μη κυκλικές συμπεριφορές, προσφέροντας σταθερά σημεία έναρξης και λήξης, χαρακτηρίζοντας ένα συγκεκριμένο κύκλο δράσης, όπως η βάδιση.

Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την επανεκπαίδευση παρουσιάζει η άποψη των νεώτερων μοντέλων ελέγχου της κίνησης, που υποστηρίζουν ότι οι συνέργειες εκδηλώνονται (αναδύονται) αλλά και αναχαιτίζονται από τα φυσικά χαρακτηριστικά του ανθρωπίνου σώματος και από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εκτελείται η δράση. Εδώ θα μπορούσε να βοηθήσει το κλασικό παράδειγμα των βασικών βιβλίων του κινητικού ελέγχου που αναφέρονται στη ωρίμανση της κινητικής συμπεριφοράς του παιδιού. Σύμφωνα με αυτό, ας θεωρήσουμε ένα μικρό παιδί σε μια τεράστια κουνιστή πολυθρόνα.

Εάν θελήσει να κατέβει από την πολυθρόνα, υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να το επιτύχει. Ένας είναι να γλιστρήσει από τα βασικό άνοιγμα της πολυθρόνας με έκταση των ποδιών και του κορμού του, ενώ παράλληλα συγκρατείται από τους βραχίονες της πολυθρόνας. Ένας άλλος είναι να γυρίσει στην πρηνή θέση επάνω στην καρέκλα και να κατέβει χαμηλώνοντας τα πόδια προς το πάτωμα. Αυτό που δεν μπορεί να ολοκληρώσει το μικρό παιδί από τη συγκεκριμένη πολυθρόνα είναι να ακολουθήσει το σύνηθες πρότυπο μεταφοράς από την καθιστή θέση στην όρθια. Αυτό αποτελεί το κλασικό πρότυπο έγερσης των ενηλίκων, σύμφωνα με το οποίο γίνεται κάμψη του κορμού προς τα εμπρός πάνω στα πόδια που έρχονται σε επαφή με το πάτωμα και ακολουθείται από έκταση των ποδιών και του κορμού προκειμένου να διατηρηθεί η όρθια στάση. Το συγκεκριμένο πρότυπο δε μπορεί να πραγματοποιηθεί επειδή η καρέκλα που χρησιμοποιείται είναι πολύ ψηλή και το παιδί πολύ μικρό για να μπορέσει να καθίσει ενώ διατηρείται επαφή των ποδιών με το πάτωμα. Μπορεί όμως να εκτελέσει άλλες δράσεις που πιθανότατα οι μεγαλύτεροι άνθρωποι δεν μπορούν. Το παιδί μπορεί να κουλουριαστεί στο ένα του πλάι επάνω στην κάθισμα της πολυθρόνας και ίσως έτσι να μπορέσει να ολισθήσει προς τα κάτω, περνώντας μέσα από τα πλαϊνά υποστηρίγματα της πολυθρόνας. Η ολοκλήρωση επομένως μιας δράσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες που εξαρτώνται τόσο από το σωματικά χαρακτηριστικά όσο και από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Παρατηρούμε δηλαδή στο παράδειγμά μας, ότι τόσο το μέγεθος του σώματος του παιδιού όσο και το μέγεθος της πολυθρόνας περιορίζουν ουσιαστικά τις πιθανές αυτές δράσεις ή διευκολύνουν άλλες.

2-6. Προβλήματα χρονισμού – Συντονισμού

Όταν προκύψει μια νευρολογική διαταραχή, το κύριο αποτέλεσμά της θα είναι η διαταραχή του ελέγχου της κίνησης, γενικώς και άμεσα αυτός της στάσης και της ισορροπίας. Η διαταραχή αυτή δεν σχετίζεται απαραίτητα με την ικανότητα δημιουργίας δυνάμεων (μυϊκό έργο), αλλά προκαλείται από την αδυναμία χρονισμού (συντονισμού) της εφαρμογής των δυνάμεων που παράγονται στους μυς αποτελεσματικά, έτσι ώστε να αποκατασταθεί η σταθερότητα και ο έλεγχος της κίνησης.

Όταν υπάρχει καθυστέρηση στην έναρξη της κινητικής δραστηριότητας, όπως για παράδειγμα αυτήν της στάσης, μετά από μια νευρολογική, διαταραχή, τότε κατά τη διάρκεια της ανάρρωσης της ισορροπίας θα υπάρχει και καθυστέρηση στην ανάπτυξη των διορθωτικών απαντήσεων, που σε πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της ισορροπίας. Από πειραματικά στοιχεία διαπιστώθηκε ότι οι λανθάνοντες χρόνοι της έναρξης της σύ-

σπασης των μυών στα άτομα με μια κεντρική βλάβη (όπως το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο) είναι συνήθως πολύ αργοί, (περίπου 220 msec), σε σύγκριση με τα φυσιολογικά άτομα (90 έως 100 msec).

Με άλλα λόγια η καθυστέρηση αυτή της έναρξης της κινητικής δράσης, έχει ως αποτέλεσμα τη διαταραχή του χρονισμού των μυϊκών συσπάσεων, με αποτέλεσμα να προκύπτει διαταραχή της συνέργειας. Όταν υπάρχει μια διαταραχή στο συντονισμό ανάμεσα στους μυς που ενεργοποιούνται για να ελέγξουν το κέντρο βάρους του σώματος, το αποτέλεσμα αναπόφευκτα θα είναι η διαταραχή της ισορροπίας και φυσικά ο αποσυντονισμός αυτός των κινήσεων μπορεί να παρεμποδίζουν την αποκατάσταση της ισορροπίας.

2-6-1. Μυϊκή συνέργεια και δυσσυνέργεια

Η διακοπή του συντονισμού και της ακολουθίας των μυών που λειτουργούν συνεργικά, αναφέρεται σε δυσσυνέργεια. Η δυσσυνέργεια είναι ένας γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ποικιλία προβλημάτων που σχετίζονται με το συντονισμό και την ακολουθία των μυών για δράση.

Είναι σημαντικό ότι κατά τη διάρκεια του φυσιολογικού ελέγχου της κίνησης, το ΚΝΣ κάνει χρήση των μυϊκών συνεργειών σαν ένα τρόπο απλοποίησης του ελέγχου της κίνησης. Η συνέργεια είναι μια καλά συντονισμένη δράση, από μια ομάδα μυών που περιορίζονται να δράσουν από κοινού για να επιτύχουν μια λειτουργική δραστηριότητα. Αυτές παρατηρούνται σε όλες τις κινητικές δραστηριότητες, αλλά είναι ιδιαίτερα εμφανείς σε δραστηριότητες που καθορίζουν τη λειτουργικότητα του ατόμου, όπως η ισορροπία, η στάση και η βάδιση. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των φυσιολογικών συνεργειών της στάσης για παράδειγμα, και οι οποίες διακρίνονται από τις μη φυσιολογικές συνέργειες της διαταραχής της, είναι η ικανότητά τους να τροποποιούνται. Οι φυσιολογικές συνέργειες δεν παραμένουν αμετάβλητες, δηλαδή, δεν παρουσιάζουν αδυναμία να αλλάξουν με την πορεία του χρόνου. Αντίθετα, συναρμολογούνται για να ολοκληρώσουν μια δράση, και είναι “εύκαμπτες” και προσαρμόσιμες στις απαιτήσεις των αλλαγών.

Στα άτομα με νευρολογική διαταραχή, η δυσσυνέργεια, ή απουσία των φυσιολογικών συνεργειών της κίνησης, περιορίζεται η ανάρρωση του φυσιολογικού κινητικού ελέγχου, περιλαμβάνοντας φυσικά και τον έλεγχο της ισορροπίας και της στάσης. Ο όρος δυσσυνέργεια χρησιμοποιείται συνήθως για να περιγράψει το μη φυσιολογικό ή το διαταραγμένο κινητικό έλεγχο. Οι μη φυσιολογικές συνέργειες είναι στερεότυπα πρότυπα κινήσεων που δεν μπορούν να αλλάξουν ή να προσαρμοστούν σε αλλαγές των δραστηριοτήτων ή των απαιτήσεων του περιβάλλοντος. Στα άτομα με ημιπληγία, μετά από ένα αγγειακό εγκεφα-

λικό επεισόδιο, έχει περιγραφεί ένας μεγάλος αριθμός μη φυσιολογικών συνεργειών που παρεμποδίζουν τη φυσιολογική κίνηση. Η διαδικασία της ανάρρωσης μετά από παρόμοιες καταστάσεις περιλαμβάνει τη λύση των μη φυσιολογικών συνεργειών των κινήσεων, για έναν ανεξάρτητο ή επιλεκτικό έλεγχο.

Όλοι οι τύποι των προβλημάτων χρονισμού της μυϊκής δραστηριότητας ταξινομούνται σε δυσσυνέργειες, και παρουσιάζεται σε άτομα με βλάβη ή κάκωση του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού. Άτομα με δυσσυνέργεια εκδηλώνουν όπως αναφέρθηκε προηγουμένως μη φυσιολογική καθυστέρηση στο χρόνο έναρξης των “συνεργειών” των κεντρικών μυών. Υπάρχουν μηχανικές και εμβιομηχανικές συνέπειες της καθυστερημένης ενεργοποίησης των κεντρικών μυών σε σύγκριση με τους περιφερικούς μυς, όπου εκτός από τη διαταραγμένο χρονικό των μυϊκών συσπάσεων, προκαλείται και υπερβολική κίνηση και αυξημένη αστάθεια στο γόνατο και στο ισχίο. Αυτό συμβαίνει επειδή το πρότυπο χρονισμού δεν είναι επαρκές για να ελέγξει στις πιο κεντρικές αρθρώσεις, τα έμμεσα αποτελέσματα των δυνάμεων που δημιουργούνται στην ποδοκνημική.

2-7. Ανάρρωση και αντιστάθμιση της λειτουργίας

Για να κατανοηθούν οι έννοιες που σχετίζονται με την ανάρρωση της λειτουργίας, μετά από μια νευρολογική βλάβη (όπως ένα αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο), θα πρέπει πρώτα να γίνει διάκριση ανάμεσα σε ορισμένους όρους όπως λειτουργία και ανάρρωση.

Η λειτουργία ορίζεται σαν μια σύμπλοκη δραστηριότητα ολόκληρου του οργανισμού, που κατευθύνεται στην εκτέλεση μιας συμπεριφορολογικής δραστηριότητας (26). Η σωστή ή κατάλληλη λειτουργία χαρακτηρίζεται από συμπεριφορές που είναι επαρκείς για την ολοκλήρωση ενός στόχου δράσης σε ένα σχετικό περιβάλλον.

Η ανάρρωση, χαρακτηρίζεται σαν μια μοναδική διαδικασία αλλαγής και αποκατάστασης της λειτουργίας και της κινητικής συμπεριφοράς ενός ατόμου, αλλαγή που μπορεί να παρουσιαστεί και στα συναισθήματα, τους στόχους, τις δεξιότητες και τους ρόλους του ατόμου. Συνήθως είναι συνυφασμένη με την αποκατάσταση της βλάβης που προκάλεσε τη συγκεκριμένη διαταραχή από την οποία προκύπτει η ανάρρωση. Μετά από μια βλάβη, που προκαλεί συγκεκριμένες βιολογικές, νευροφυσιολογικές ή άλλες φυσιολογικές διαταραχές, η επαναφορά της βλάβης αυτή προς την πορεία του φυσιολογικού μπορεί να μην είναι απόλυτα αποτελεσματική, γεγονός που εξαρτάται από την ποιότητα και βαρύτητα της βλάβης. Εάν αυτή είναι μη αναστρέψιμη τότε η ανάρρωση που αναμένεται θα είναι πολύ μι-

κρή, ενώ αντίθετα εάν η βλάβη είναι μικρή τότε το αποτέλεσμα από την ανάρρωσή της θα είναι πολύ μεγάλο.

Η αντιστάθμιση (compensation) από την άλλη μεριά, ορίζεται η εφαρμογή εναλλακτικών στρατηγικών συμπεριφοράς, που προσαρμόζονται για να ολοκληρώσουν μια δραστηριότητα. Σε μια σοβαρή βλάβη, η πιθανότητα εφαρμογής εναλλακτικών στρατηγικών είναι πολύ μεγαλύτερη. Όσο σοβαρότερη η βλάβη, επομένως μεγάλη διάσταση από το πλαίσιο του φυσιολογικού, τόσο μεγαλύτερη αντιστάθμιση απαιτείται.

Η ανάρρωση, έχει πολλές και διαφορετικές έννοιες που αφορούν στην επανάκτηση της λειτουργίας που έχει χαθεί μετά από μια βλάβη ή κάκωση. Ένας αυστηρός ορισμός της ανάρρωσης, θα απαιτούσε την επιτυχία του λειτουργικού στόχου με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που αυτός ολοκληρωνόταν πριν από τη βλάβη, δηλαδή, να χρησιμοποιείται η ίδια διαδικασία που χρησιμοποιούταν πριν τη βλάβη. Οι λιγότερο αυστηροί ορισμοί, θεωρούν την ανάρρωση σαν την ικανότητα που αποκτά το άτομο να επιτυγχάνει τους στόχους δράσης, χρησιμοποιώντας αποτελεσματικά και επαρκή μέσα, αλλά όχι απαραίτητα αυτά που χρησιμοποιούσε πριν τη βλάβη.

2-7-1. Ανάρρωση σε αντίθεση με την αντιστάθμιση

Με βάση τα παραπάνω, η ανάρρωση μπορεί να είναι ταυτόσημη ή διαφορετική από την αντιστάθμιση ή την προσαρμογή. Μια από τις βασικές τους διαφορές είναι ότι η ανάρρωση επιτυγχάνει τη λειτουργία της μέσα από τις αρχικές λειτουργικές διαδικασίες (πάνω στις οποίες επέδρασε η βλάβη), ενώ η αντιστάθμιση επιτυγχάνει τη λειτουργία μέσα από εναλλακτικές διαδικασίες. Έτσι η λειτουργία, επειδή ακριβώς στηρίζεται στην ίδια βάση, μπορεί να επιστρέψει, πλήρως ή μερικώς σε σχέση με την κατάστασή της πριν από τη βλάβη, ενώ η αντιστάθμιση είναι μια άλλη, διαφορετική συμπεριφορά που ανταγωνίζεται σε μεγάλο βαθμό την αρχική, αυτή δηλαδή που έχει προσβληθεί από τη βλάβη.

Εδώ προκύπτει μια ερώτηση που κατευθύνεται προς όλους όσους ασχολούνται με τη διαχείριση των ατόμων με διαταραχές του κινητικού ελέγχου: που θα πρέπει να εστιάζεται η “θεραπευτική παρέμβαση” μετά από μια νευρολογική διαταραχή, στην ανάρρωση ή στην αντιστάθμιση της λειτουργίας; Η απάντηση αλλάζει, όσο αλλάζει η γνώση μας σχετικά με την πλαστικότητα και την ευελιξία του εγκεφάλου και γενικά του ΚΝΣ του ενήλικα.

Για πολλά χρόνια ο εγκεφάλος του ενήλικα χαρακτηριζόταν από “ακαμψία” και χωρίς καμία δυνατότητα τροποποίησης ή αλλαγής της νευροφυσιολογικής του λειτουργίας, εάν αυτή είχε υποστεί κάποια σοβαρή βλάβη. Όσο ωριμάζει το άτομο, η λειτουργία του εγκεφάλου επικεντρώνεται σε συγκεκριμένα τμήματά του. Από τα πειραματικά δεδομένα

θεωρήθηκε ότι δεν ήταν δυνατή η αναγέννηση και επανοργάνωση του ενήλικα εγκεφάλου, εάν αυτός υποστεί μια οργανική βλάβη. Η άποψη αυτή, της μη δυνατότητα αναγέννησης του εγκεφάλου και γενικώς του ΚΝΣ, που διατηρήθηκε για πάρα πολλά χρόνια, οδήγησε στην αποδοχή ότι η θεραπευτική στρατηγική πρέπει να επικεντρώνεται στην αντιστάθμιση, εφόσον δεν ήταν δυνατή η ανάρρωση, με τη στενή της έννοια.

Πιο πρόσφατα όμως ερευνητικά δεδομένα στα πεδία της νευροεπιστήμης απέδειξαν ότι ο εγκεφάλος του ενήλικα έχει μεγάλη “πλαστικότητα” και διατηρεί μια εξαιρετική ικανότητα για επανοργάνωση της λειτουργίας του εάν αυτή επηρεαστεί από μια βλάβη, όπως θα αναφερθούν παρακάτω.

2-7-2. Στάδια της ανάρρωσης

Η ανάρρωση της εγκεφαλικής λειτουργίας, εάν αυτή διαταραχθεί από μια νευρολογική βλάβη, εξελίσσεται σε διάφορα διακριτά στάδια που έχουν περιγραφεί από πολλούς. Κλασικά, η ανάρρωση διακρίνεται σε αυτόματη (spontaneous) και σε αναγκασμένη (forced) ανάρρωση. Η αυτόματη ανάρρωση σχετίζεται με τη διαδικασία της επανεμφάνισης μιας λειτουργίας η οποία έχει διαταραχθεί ή έχει χαθεί. Η αναγκασμένη ανάρρωση είναι αυτή που επιτυγχάνεται μέσα από ειδικές παρεμβάσεις, που σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επηρεάσουν τους νευρωνικούς μηχανισμούς.

2-7-3. Παράγοντες που συμβάλουν στην ανάρρωση της λειτουργίας

Υποστηρίχθηκε ότι η τελική έκβαση της βλάβης του εγκεφάλου καθώς και η έκταση της υποκείμενης ανάρρωσης μπορεί να επηρεαστεί από έναν αριθμό παραγόντων, όπως είναι η ηλικία στην οποία παρουσιάστηκε η βλάβη, η ποιότητα και η έκταση της βλάβης αυτής και η διαδικασία της μάθησης.

2-7-3-α. Αποτέλεσμα της ηλικίας στην ανάρρωση

Η ηλικία του ατόμου κατά τη στιγμή της βλάβης, επηρεάζει την ανάρρωση της λειτουργίας με έναν σύμπλοκο τρόπο. Παλαιότερες μελέτες από τη δεκαετία του 1940 πρότειναν ότι η βλάβη κατά τη διάρκεια της βρεφικής ηλικίας προκαλεί λιγότερα ελλείμματα από τη βλάβη κατά την ενήλικη ζωή. Στον άνθρωπο, το αποτέλεσμα αυτό παρατηρήθηκε στη λειτουργία του λόγου, όπου βλάβη στο επικρατούν ημισφαίριο έχει μικρό ή καθόλου αποτέλεσμα στο λόγο σε νεογνά, προκαλεί όμως διαφορετικού βαθμού αφασία στους ενήλικους.

Βέβαια, από τη βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου, φαίνεται ότι δεν εκδηλώνουν την ίδια ικανότητα αναγέννησης όλες οι περιοχές του που έχουν πιθανότητα να υποστούν βλάβη. Υποστηρίχθηκε ότι εάν η περιοχή που έχει υποστεί τη βλάβη είναι ώριμη, τότε η βλάβη που θα προκληθεί θα είναι παρόμοια στα νεογνά και στους ενήλικους, Εάν όμως η περιοχή που υπέστη βλάβη δεν έχει ακόμη ωριμάσει, τότε θα πρέπει να αναλάβει τη λειτουργία της προσβεβλημένης περιοχής κάποια άλλη. Εάν δεν συμβεί αυτό, δεν φαίνεται να παρουσιάζεται πρόβλημα στα νεογνά, αργότερα όμως μπορεί να γίνει εμφανές κάποιο νευρολογικό έλλειμμα.

Επιπρόσθετα, όταν τα παιδιά υποστούν μια κάκωση στην περιοχή του λόγου υπάρχει πιθανότητα για να διαφυλαχθεί η λειτουργία του λόγου, να χαθούν άλλες λειτουργίες του εγκεφάλου. Βρέθηκε ότι το IQ των παιδιών με διαφυλαγμένο το λόγο μετά από κάκωση του εγκεφάλου ήταν σταθερά χαμηλότερο από τα παιδιά εκείνα που είχαν παρόμοια κάκωση σε μεγαλύτερη ηλικία. Αυτό δείχνει ότι όταν μετά από μια βλάβη διαφυλάσσεται μια λειτουργία, μπορεί να παρουσιαστεί ένα φαινόμενο παραγκωνισμού, και αυτό παρουσιάζεται σε βάρος άλλων λειτουργιών και συμπεριφορών.

2-7-3-β. Ποιότητα της βλάβης και ανάρρωση

Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά της βλάβης που μπορεί δυνητικά να επηρεάσουν την έκταση της ανάρρωσής της. Για παράδειγμα, μια μικρής έκτασης βλάβη έχει μεγαλύτερη πιθανότητα για ανάρρωση, ιδίως εάν περιοχή δεν έχει επηρεαστεί από αυτή ολόκληρη η λειτουργικότητά της. Επίσης βλάβες που αναπτύσσονται με αργό ρυθμό φαίνεται να προκαλούν μικρότερη λειτουργική απώλεια από ότι βλάβες που προκαλούνται γρήγορα.

2-7-3-γ. Αποτελέσματα της εμπειρίας στην ανάρρωση

Αναφέρθηκε ότι τα τρωκτικά που αναπτύχθηκαν σε ένα “εμπλουτισμένο περιβάλλον” παρουσίασαν πολλές αλλαγές στη μορφολογία του εγκεφάλου και στη βιοχημεία του, περιλαμβάνοντας αυξημένο βάρος εγκεφάλου και αυξημένες δενδριτικές διακλαδώσεις, και ενζυματική δραστηριότητα. Από τα ευρήματα αυτά προκύπτει το ερώτημα εάν το εμπλουτισμένο περιβάλλον βελτιώνει τις απαντήσεις στην κάκωση του εγκεφάλου. Τα πειράματα έδειξαν ότι η παρουσία του ζώου σε εμπλουτισμένο περιβάλλον πριν τη βλάβη, τα προστατεύει από ορισμένα ελλείμματα μετά από την κάκωση του εγκεφάλου.

Υποστηρίχθηκε ότι τα άτομα που βιώνουν σε εμπλουτισμένο περιβάλλον, με πολλαπλές δηλαδή εμπειρίες, μπορεί να έχουν αναπτύξει λειτουργικά νευρωνικά κυκλώματα που είναι πιο διαφοροποιημένα από ότι αυτά των ατόμων που βιώνουν περισσότερο περι-

ορισμένα, γεγονός που τους προσφέρει με μεγαλύτερη ικανότητα να επανοργανώσουν το νευρικό τους σύστημα μετά από μια βλάβη, ή απλά να χρησιμοποιούν εναλλακτικές οδούς για να εκτελέσουν μια δραστηριότητα.

2-7-3-δ. Αποτελέσματα της εκπαίδευσης στην ανάρρωση

Η εκπαίδευση αποτελεί μια διαφορετική μορφή έκθεσης στο “εμπλουτισμένο περιβάλλον” όπου οι δραστηριότητες που χρησιμοποιούνται είναι περισσότερο ειδικές από ότι γενικευμένες. Άτομα που έχουν ανάλογη κινητική εκπαίδευση πριν από τη βλάβη, παρουσιάζουν μεγαλύτερη πιθανότητα καλύτερη λειτουργικής ανάρρωσης από αυτά που υστερούσαν σε κινητική εκπαίδευση. Επίσης υποστηρίχθηκε ότι όταν η εκπαίδευση ήταν καθυστερημένη, η ανάρρωση ήταν μικρότερη από ότι όταν αυτή ξεκινούσε από την αρχή ή αμέσως μετά τη βλάβη.

3. Θεωρίες του κινητικού ελέγχου

3-1. Τι είναι η θεωρία και το μοντέλο του κινητικού ελέγχου

Με τον όρο θεωρία του κινητικού ελέγχου εννοούμε μια ομάδα αφηρημένων ιδεών που αναφέρονται στη φύση και στην αιτία της κίνησης που συχνά στηρίζεται σε μοντέλα της λειτουργίας του εγκεφάλου. Από την άλλη, ως μοντέλο ορίζουμε την παρουσίαση ενός πραγματικού θέματος μέσα από μια απλοποιημένη άποψη ή πλευρά. Όσο πιο αξιόπιστο είναι ένα μοντέλο, τόσο καλύτερα θα μπορούσε να προβλεφθεί πώς το πραγματικό αυτό θέμα (που προσδιορίζεται με την θεωρία) θα συμπεριφερθεί σε μια πραγματική κατάσταση. Με βάση τον ορισμό ένα μοντέλο του εγκεφάλου θα παρουσιάζει με απλοποιημένο τρόπο μια πραγματικά σύμπλοκη λειτουργία. Ο λόγος, επομένως που χρειαζόμαστε ένα μοντέλο της λειτουργίας του εγκεφάλου είναι ότι ο εγκέφαλος είναι τόσο σύμπλοκος που ένα μοντέλο θα μπορούσε να παρουσιάσει και να απλοποιήσει, μέχρι ένα σημείο, κάποιες σύμπλοκες απόψεις της λειτουργίας του ή θα μπορούσε να αποσαφηνίσει άλλες. Ένα τέτοιο μοντέλο της λειτουργίας του εγκεφάλου, το οποίο θα σχετιζόταν με τον κινητικό έλεγχο, θα είναι ουσιαστικά μια απλοποιημένη εκπροσώπηση των κατασκευαστικών δομών και της λειτουργίας του, ιδίως αυτών που συσχετίζεται με τον προγραμματισμό και το συντονισμό της κίνησης. Οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου, βαδίζουν παράλληλα με μικρές μόνον αποκλίσεις (τεχνολογικής κυρίως φύσης) με τα μοντέλα του εγκεφάλου που τις εκπροσωπούν.

Το ότι υπάρχουν διαφορετικές θεωρίες για το πώς δημιουργείται και φυσικά ελέγχεται η κίνηση, οφείλεται στις φιλοσοφικά διαφορετικές απόψεις σχετικά με το πώς ο εγκέφαλος ολοκληρώνει τις συγκεκριμένες του λειτουργίες. Άλλωστε η ύπαρξη πολλαπλών θεωριών βοηθά καλύτερα στην σε βάθος κατανόηση του όλου θέματος, μια και η παρουσία τους από τη μια γεννά δημιουργικό προβληματισμό και από την άλλη προσθέτει μια παραπάνω γνώση και άποψη στο πάζλ του κινητικού ελέγχου. Η προσπάθεια είναι να διευκολυνθεί η κατανόηση και να δοθεί αξιόπιστη λύση που θα γίνει όσο το δυνατόν περισσότερο αποδεκτή. Σκοπός κάθε θεωρίας είναι, δηλαδή, να εξηγή μέσα από το δικό της πλαίσιο, τα πολλαπλά χαρακτηριστικά της ανθρώπινης κίνησης. Για παράδειγμα, για τον έλεγχο της κινητικής συμπεριφοράς, μερικές θεωρίες δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στις περιφερικές επιδράσεις, άλλες τονίζουν τις κεντρικές, ενώ άλλες το ρόλο των πληροφοριών από το περιβάλλον. Οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου, συνεπώς, είναι κάτι περισσότερο από μια απλή προσέγγιση για την ερμηνεία της κινητικής δράσης. Συχνά εστιάζουν σε διαφορετικές πλευρές της

οργάνωσης της υποκείμενης νευροφυσιολογίας και της νευροανατομίας που σχετίζεται με τη συγκεκριμένη δράση. Υπάρχουν θεωρίες του κινητικού ελέγχου που θεωρούν τον εγκέφαλο σαν ένα σφραγισμένο μαύρο κουτί και απλά μελετούν τον τρόπο με τον οποίο αυτό αλληλεπιδρά με τις αλλαγές του περιβάλλοντος.

3-1-1. Υπάρχει σχέση ανάμεσα στη θεωρία και στην πράξη;

Μια θεωρία αναπτύσσεται για να ερμηνεύσει μηχανισμούς και διαδικασίες που αναφέρονται στο θέμα που μελετάει. Ουσιαστικά προσπαθεί να γεφυρώσει το θεωρητικό με το πρακτικό πλαίσιο, να προσπαθήσει να ερμηνεύσει πως οι προτεινόμενοι μηχανισμοί και διαδικασίες μπορούν να εφαρμοστούν σε πραγματικό και ουσιαστικό επίπεδο. Πραγματικά, οι θεωρίες ενημερώνουν, επικαιροποιούν, διαμορφώνουν και βασικά επηρεάζουν τι εφαρμόζεται στην καθημερινή πράξη., δηλαδή τι εφαρμόζει ο θεραπευτής στον ασθενή του. Αυτό είναι απόλυτα αληθές. Οι πρακτικές της Ιατρικής Αποκατάστασης στο πεδίο της Ιατρικής για παράδειγμα, αντανακλούν τις θεωρίες, ή τις βασικές ιδέες, που αυτές διαχέουν σχετικά με τη φύση και τα αίτια της λειτουργίας και δυσλειτουργίας. Με άλλα λόγια, οι “θεραπευτικές παρεμβάσεις” στηρίζονται στις υποθέσεις που προέρχονται από τις ανάλογες θεωρίες. Άλλωστε, οι θεωρητικές απόψεις επιβεβαιώνονται και επικυρώνονται μέσα από την αποτελεσματικότητά τους στη “θεραπευτική παρέμβαση” ενώ εκπληρώνουν το μεγαλύτερο στόχο τους: να εφαρμοστούν στην πράξη.

Οι ειδικές πρακτικές-τεχνικές που διαμορφώνονται μέσα από θεωρία, χρησιμοποιούνται κυρίως ως “θεραπευτικές παρεμβάσεις”, αλλά και σαν εργαλεία εκτίμησης σε άτομα που παρουσιάζουν διαταραχή του κινητικού ελέγχου. Υπάρχει δηλαδή μια σαφής αλληλεπίδραση ανάμεσα στη θεωρητική άποψη και στην πρακτική της εφαρμογή, εφόσον η πρώτη επηρεάζεται από τη δυνατότητα υλοποίησης και της πρακτικής της εφαρμογής, ενώ η δεύτερη καθορίζεται από υποκείμενες υποθέσεις σχετικά με τη φύση και την αιτία της κίνησης. Έτσι, οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου αποτελούν τη βάση στήριξης της κλινικής του πράξης, εφόσον μια τόσο σύμπλοκη διαδικασία λαμβάνει τόσο απλή, υλοποιήσιμη μορφή, η οποία επιβεβαιώνεται από το αποτέλεσμα. Η αμοιβαία αυτή σχέση, επιβεβαιώνεται με τη διευκόλυνση της κατανόησης του πεδίου του ελέγχου της κίνησης μέσα από την πράξη.

Η χρήση των θεωριών του κινητικού ελέγχου στη “θεραπευτική παρέμβαση” συνοδεύεται με σοβαρά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, μια και οι θεωρίες προσφέρουν: (α) ένα πλαίσιο για τη ερμηνεία της κινητικής συμπεριφοράς, μέσα από την ερμηνεία των μηχανισμών και των διαδικασιών που μεσολαβούν, (β) έναν οδηγό για την καθημερινή κλινική πράξη, (γ) νέες ιδέες με μεγαλύτερες προοπτικές και μελλοντικές εξελίξεις ή προβληματι-

σμούς, (δ) μια υπόθεση εργασίας και εκτίμησης της “θεραπευτικής παρέμβασης”, (ε) την εφαρμογή πρακτικών-τεχνικών που απομένει να αποδειχθούν και να επιβεβαιωθούν ή μέσα από τη συγκεκριμένη εφαρμογή να αποτελέσουν εμπειρία, και (στ) μια βοήθεια στην ερμηνεία της συμπεριφοράς του ατόμου, επιτρέποντας ο εαυτόν που την εφαρμόζει, μελετώντας τη συμπεριφορά, να διευρύνει την εφαρμογή και σε άλλα άτομα.

Οι θεωρίες αυτές μπορεί να βοηθούν, λίγο ή πολύ, ανάλογα με την ικανότητά τους να προβλέπουν ή να ερμηνεύουν τη συμπεριφορά ενός ατόμου, είτε αυτό είναι φυσιολογικό είτε παρουσιάζει κάποια διαταραχή του κινητικού ελέγχου. Έτσι, όταν μια θεωρία και οι υποθέσεις που τη συνοδεύουν δεν προσφέρουν ακριβή ερμηνεία της συμπεριφοράς του ατόμου, χάνει τη χρησιμότητα που μπορεί στη “θεραπευτική παρέμβαση”. Το μεγαλύτερο επομένως μειονέκτημα που μπορεί να επωμισθούν οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου είναι ότι μπορούν δυνητικά να περιορίσουν την ικανότητα του “θεραπευτή” να παρατηρεί και να ερμηνεύει τα προβλήματα της κινητικής συμπεριφοράς του ατόμου

3-2. Θεωρίες του κινητικού ελέγχου

Αναφέρθηκε προηγουμένως ότι υπάρχει σαφής συσχέτιση ανάμεσα στη θεωρητική πρόταση για την ερμηνεία του σύμπλοκου προβλήματος του κινητικού ελέγχου, ουσιαστικά της λειτουργίας του εγκεφάλου, και της πρακτικής εφαρμογής της μέσα από τη “θεραπευτική παρέμβαση”. Έτσι πάντοτε υπάρχει ένας αρχικός ενθουσιασμός για την κριτική εξέταση των μοντέλων που προτείνονται, διαμορφώνοντας ανάλογα την πρακτική εφαρμογή. Στην περίπτωση αυτή πάντοτε θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί άλλων προηγούμενων θεωριών ώστε να υπάρχει πιθανότητα να επεκταθούν οι νέες προτάσεις.

3-2-1. Βασικές σκέψεις επάνω στις θεωρίες του κινητικού ελέγχου

Είναι επομένως απαραίτητο να γίνει μια ανασκόπηση των βασικών θεωριών του κινητικού ελέγχου, έτσι ώστε να ισχυροποιηθεί η βάση της γνώσης και να διερευνηθούν οποιοδήποτε περιορισμοί, εμπόδια ή αμφισβητήσεις προβάλλονται και να δοθεί χώρος για νέους δημιουργικούς προβληματισμούς χωρίς προκαταλήψεις και εσωστρέφεια. Δεν θα πρέπει να παραγνωρίζονται οι συνθήκες όταν αναπτύχθηκαν οι θεωρίες αυτές και δεν θα πρέπει να είμαστε έτοιμοι να τις διαγράψουμε ή να τις απομυθοποιήσουμε. Αυτό που βοήθησε στην εξέλιξη, όταν παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά, ήταν ο εποικοδομητικός διάλογος και η αιτιολογημένη απορία και όχι η απόρριψη και η εγωιστική θέση που πολλές φορές επιβάλλει η ανώριμη επιστήμη.

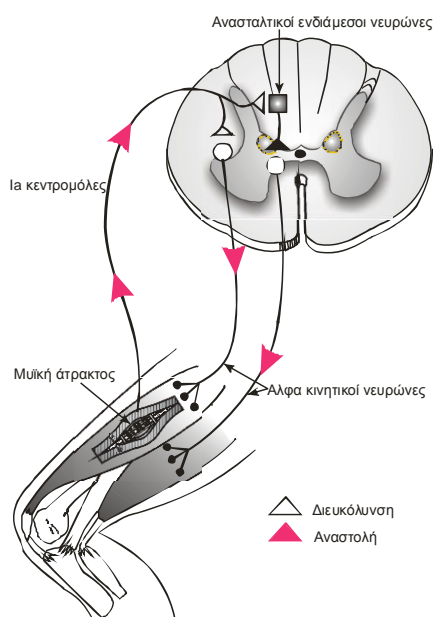
Είναι σημαντικό να κατανοηθεί ότι όλα τα θεωρητικά μοντέλα είναι ενιαία (και εξαρχής αποδεκτά) εφόσον στηρίζονται στη μεγάλη επιστημονική επιθυμία για να κατανοηθεί η φύση και η αιτία της κίνησης. Η διαφορά κάθε πλαισίου είναι στην προσέγγιση. Για να γίνει αντιληπτό το παραπάνω μπορεί να δοθεί ένα παράδειγμα ορισμένων ανθρώπων που προσπαθούν να μελετήσουν και να κατανοήσουν τη φύση και λειτουργία ενός άγριου λιονταριού. Ο ένας από αυτούς μελετά προσεκτικά και συστηματικά τον κορμό του ζώου, και μαθαίνει γεγονότα που έχουν σχέση με τον τρόπο που κινείται το ζώο, όταν κάθεται ή όταν επιτίθεται. Ο άλλος μελετά τη φύση και τη λειτουργία των ποδιών του, ενώ άλλος τον τρόπο που παρατηρεί και ανιχνεύει το περιβάλλον του για να βρει την τροφή του, άλλος τη συμπεριφορά του ζώου όταν βρίσκεται μπροστά από ένα θήραμα και τέλος άλλος μελετά τη συμπεριφορά του ζώου όταν βρίσκεται ανάμεσα σε άλλα παρόμοια ζώα. Ο καθένας από αυτούς με το δικό του τρόπο προσέφερε ουσιαστικές πληροφορίες για το λιοντάρι. Βέβαια, η πραγματική κατανόηση σχετικά με τη φύση και τη λειτουργία του συγκεκριμένου ζώου είναι πιθανή, μόνον εάν γίνει συνδυασμός των πληροφοριών από όλες τις πηγές. Διαφορετικά θα υπάρχουν αποσπασματικές πληροφορίες που θα υπολείπονται σε αιτιολόγηση και ερμηνεία. Με το πνεύμα αυτό θα πρέπει να γίνει και η προσέγγιση των θεωριών του κινητικού ελέγχου, των περιορισμών τους και των πιθανών τους εφαρμογών.

3-2-2. Θεωρία των αντανakλαστικών

Η θεωρία των αντανakλαστικών είναι μία από τις πρώτες ολοκληρωμένες θεωρίες που αναπτύχθηκαν, στις αρχές του 1900, για να εξηγήσουν τον έλεγχο της κίνησης και βασίστηκε στη μελέτη του Charles Sherrington, ενός νευροφυσιολόγου, ο οποίος το 1906 υποστήριξε ότι τα “αντανakλαστικά” είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του κινητικού ελέγχου. Η έρευνά του σχημάτισε το πειραματικό ίδρυμα για την κλασσική θεωρία των αντανakλαστικών του κινητικού ελέγχου. Για τον Sherrington, τα αντανakλαστικά είναι τα δομικά στοιχεία της σύμπλοκης συμπεριφοράς και λειτουργούν μαζί ή σε αλληλουχία για να επιτύχουν ένα κοινό σκοπό. Σαν αντανakλαστικό ορίζεται μια ακούσια και σχεδόν αυτόματη κίνηση, σαν απάντηση σε ένα ερέθισμα, που για να προκληθεί απαιτείται ένα συγκεκριμένο αντανakλαστικό τόξο. Ο Sherrington υποστήριξε ότι τα αντανakλαστικά, δεν αποτελούν μεμονωμένη δραστηριότητα, αλλά απαιτούν ολοκληρωμένη ενεργοποίηση εφόσον υπάρχει αμοιβαία νεύρωση των μυών. Ένα ερέθισμα προκαλεί πάντοτε την ίδια απάντηση, ενώ όταν αυτό ενεργοποιεί ένα αντανakλαστικό, η απάντηση που προκύπτει θα είναι στερεότυπα η ίδια.

Η έρευνα του Sherrington στηρίχθηκε σε πειράματα με ζώα, στα οποία απέκοπτε το νωτιαίο μυελό ακριβώς κάτω από τον εγκέφαλο και μελετούσε τους μηχανισμούς του νω-

τιαίου μυελού, όπως ακριβώς ήταν απομονωμένος από την επίδραση των ανώτερων κέντρων του εγκεφάλου. Με τον τρόπο αυτό απέδειξε την παρουσία των αντανακλαστικών, τα οποία πλέον όρισε και περιέγραψε ανάλογα. Για να ολοκληρωθεί ένα αντανακλαστικό απαιτούνται τρεις διαφορετικές κατασκευές (**σχήμα 3-1**): έναν περιφερικό υποδοχέα, μια νευρική οδό για την αγωγή της νευρικής ώσης που παράγεται από τον υποδοχέα, και ένα τελικό εκτελεστικό όργανο (μυ). Η νευρική οδός αποτελείται τουλάχιστον από δύο νευρικά κύτταρα: ένα που συνδέεται με τον υποδοχέα και ένα με το τελικό όργανο.



Σχήμα 3-1: Το βασικό μυοτατικό αντανακλαστικό, σαν βάση της οργάνωσης της θεωρίας των αντανακλαστικών

Ο Sherrington προσπάθησε να περιγράψει τη συμπεριφορά αυτή χρησιμοποιώντας την έννοια των σύμπλοκων αντανακλαστικών, τους διαδοχικούς τους συνδυασμούς ή την αλυσιδωτή τους σύνδεση. Έδωσε, έτσι, το κλασικό παράδειγμα του βάτραχου που συλλαμβάνει και τρώει μια μύγα. Όταν αυτός βλέπει τη μύγα να κάθεται σε ένα άνθος (ερεθίσμα), αυτό προκαλεί την αντανακλαστική ενεργοποίηση της γλώσσας του, την οποία βγάζει για να συλλάβει τη μύγα (απάντηση). Εάν η προσπάθεια είναι επιτυχημένη, η επαφή της μύγας στη γλώσσα προκαλεί αντανακλαστική σύγκλιση του στόματος, και η σύγκλιση του στόματος προκαλεί αντανακλαστική κατάποση. Η συγκεκριμένη αλυσιδωτή απάντηση είναι η βασική υπόθεση της θεωρίας αυτής. Τα φυσικά γεγονότα που συμβαίνουν στο περιβάλλον χρησιμεύουν ως ερεθίσματα για την κίνηση, ενεργοποιώντας μια αλυσίδα αντανακλαστικών διαδικασιών που ευθύνονται για την παραγωγή των κινητικών αντιδράσεων.

Από τα παραπάνω, ο Sherrington έβγαλε το συμπέρασμα ότι όταν το νευρικό σύστημα είναι άθικτο, η αντίδραση των διάφορων τμημάτων του, δηλαδή τα απλά αντανα-

κλαστικά, συνδυάζονται σε μεγαλύτερες δράσεις, οι οποίες αποτελούν τη συμπεριφορά του ατόμου, ως σύνολο. Το **σχήμα 3-2** αντιπροσωπεύει την άποψη αυτή της αλυσίδας των αντανακλαστικών, η οποία παρέμεινε αναλλοίωτη για περισσότερο από έναν αιώνα και συνεχίζει να επηρεάζει τη σκέψη για τον κινητικό έλεγχο μέχρι και σήμερα. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, ο άνθρωπος είναι ένας παθητικός δέκτης αισθητικών πληροφοριών που παράγονται εξωτερικά, που προκαλούν στερεότυπες απαντήσεις.



Σχήμα 3-2: Η αντανακλαστική αλυσίδα ως βάση της κινητικής δράσης. Ένα ερέθισμα οδηγεί ε και απάντηση, η οποία χρησιμεύει σαν ερέθισμα για την πρόκληση της επόμενης απάντησης, κατάσταση που συνεχίζεται.

3-2-2-α. Περιορισμοί της Θεωρία των αντανακλαστικών

Επειδή η βάση της θεωρίας του Sherrington είναι τα αντανακλαστικά θεωρώντας ότι το ΚΝΣ σχετίζεται με αυτά, δημιουργήθηκε παράλληλα και η εντύπωση ότι ο κινητικός έλεγχος οδηγείται στην πλευρά του αντανακλαστικού ελέγχου. Έτσι, προέκυψαν πολλοί περιορισμοί. Εφόσον οι ενεργητικές κινήσεις αναγνωρίζονται ως αποδεκτές στην κινητική συμπεριφορά, τότε είναι δύσκολο να θεωρηθεί το αντανακλαστικό ως η βασική μονάδα της συμπεριφοράς αυτής, καθώς αυτά πρέπει να ενεργοποιούνται από εξωτερικούς παράγοντες.

Ένας περιορισμός της συγκεκριμένης θεωρίας είναι ότι δεν εξηγεί επαρκώς τις κινήσεις που παρουσιάζονται σε απουσία του αισθητικού ερεθίσματος, όπως συμβαίνει σε πολλά ζώα. Υπάρχει επίσης δυσκολία στην ερμηνεία γρήγορων κινήσεων. Με τον όρο “γρήγορες κινήσεις” υπονοείτε μια ακολουθία κινήσεων που παρουσιάζεται τόσο γρήγορα που δεν επιτρέπει την αισθητική επαναπληρόφρηση κατά τη διαδοχή της μιας κίνησης στην επόμενη. Για παράδειγμα, ένας πιανίστας που εκτελεί ένα κομμάτι σε ρυθμούς *allegro* ή *presto* (γρήγορα έως πολύ γρήγορα), μετακινεί τα δάχτυλα του από το ένα πλήκτρο στο άλλο τόσο γρήγορα ώστε δεν υπάρχει χρόνος για αισθητική πληροφόρηση από το χτύπημα του ενός πλήκτρου στο άλλο, παρά μόνο από το ακουστικό αποτέλεσμα..

Το μοντέλο της αντανακλαστικής αλυσίδας αποτυγχάνει να ερμηνεύσει το γεγονός ότι ένα απλό ερέθισμα μπορεί να προκαλέσει διάφορες απαντήσεις που εξαρτώνται από το περιεχόμενο αλλά και από τις οργανωμένες κατιούσες κινητικές εντολές. Υπάρχουν, δηλαδή, φορές που χρειάζεται να παρακαμφθούν τα αντανακλαστικά για να πραγματοποιηθεί

ένας στόχος. Για παράδειγμα, εάν ακουμπήσει κάποιος ένα καυτό αντικείμενο προκαλείται αντανάκλαστική απόσυρση του χεριού του. Εάν όμως πέσει στη φωτιά ένα πολύτιμο αντικείμενο, θα παρακάμψει την αντανάκλαστική απόσυρση, προκειμένου να τραβήξει έξω το συγκεκριμένο αντικείμενο.

Τέλος, η θεωρία των αντανάκλαστικών δεν ερμηνεύει ικανοποιητικά τη δημιουργία νέων κινήσεων. Μία νέα κίνηση ομαδοποιεί τους μοναδικούς συνδυασμούς ερεθίσματος και απάντησης, σύμφωνα με τους κανόνες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ένας βιολιστής, που έχει μάθει ένα κομμάτι στο βιολί, γνωρίζει για παράδειγμα και την τεχνική παιξίματος του τσέλο, άρα μπορεί να παίξει ακριβώς το ίδιο κομμάτι στο όργανο αυτό χωρίς να χρειάζεται να κάνει πρώτα εξάσκηση. Ο βιολιστής, δηλαδή, έχει μάθει τους κανόνες που απαιτούνται για να εκτέλεση το κομμάτι και τους εφαρμόζει σε μια νέα κατάσταση.

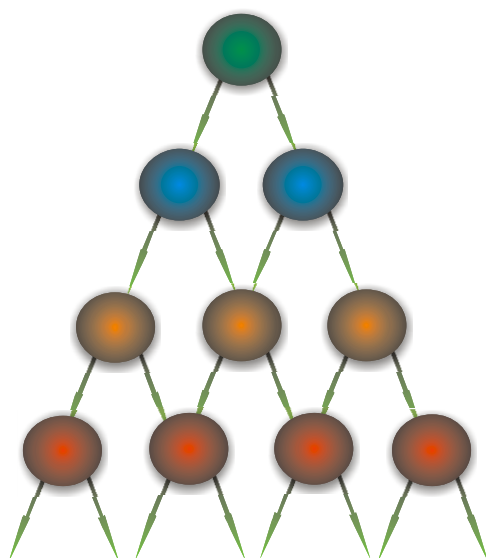
3-2-3. Θεωρία της Ιεραρχίας

Η θεωρία της Ιεραρχίας υποστηρίζει είναι ότι μια κίνηση που έχει προσχεδιασθεί, εκτελείται από εντολές που δίνονται από τα υψηλότερα κέντρα προς τα χαμηλότερα. Έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την προηγούμενη θεωρία των αντανάκλαστικών, υποθέτοντας ότι όλα τα στοιχεία προγραμματισμού και εκτέλεσης μιας κίνησης είναι αποκλειστική ευθύνη ενός ή περισσότερων κέντρων του φλοιού του εγκεφάλου, τα οποία αντιπροσωπεύουν το υψηλότερο επίπεδο ιεραρχίας του ΚΝΣ.

Με την άποψη αυτή, ότι δηλαδή το ΚΝΣ είναι οργανωμένο σε μια βάση ιεραρχίας αρχικά συμφώνησαν οι περισσότεροι ερευνητές. Ανάμεσα σε αυτούς ήταν ο Άγγλος γιατρός Hughlings Jackson, ο οποίος δημιούργησε ένα από τα πρώτα ιεραρχικά μοντέλα, προτείνοντας ότι ο εγκέφαλος έχει τρία επίπεδο ελέγχου: (α) το υψηλότερο, που αντιστοιχεί στον ανώτερο συνειρμικό φλοιό, στον κινητικό και αισθητικό φλοιό και στα βαθύτερα κέντρα του εγκεφάλου όπως τα βασικά γάγγλια, η παρεγκεφαλίδα και άλλα, (β) το μεσαίο επίπεδο, που αντιστοιχεί στα κατώτερα κέντρα του εγκεφάλου, τον προμήκη και το νωτιαίο μυελό και (γ) το κατώτερο επίπεδο ελέγχου που αντιστοιχούν στα περιφερικά νεύρα και τους μύς. Υποστήριζε ότι οι κινήσεις απεικονίζονται πρώτα στα υψηλότερα κέντρα του εγκεφάλου και στη συνέχεια προβάλλονται προς τα κάτω με αυστηρό ιεραρχικό τρόπο, καθοδηγώντας την εκτέλεση.

Ο ιεραρχικός έλεγχος (hierarchical control) γενικά έχει ορισθεί ως μια οργανωτική κατασκευή που λειτουργεί από πάνω προς τα κάτω. Δηλαδή, κάθε υψηλότερο επίπεδο ασκεί, διαδοχικά, έλεγχο στο ακριβώς κατώτερο από αυτό (**σχήμα 3-3**). Σε μια αυστηρά κά-

θετη ιεραρχία, οι γραμμές ελέγχου δε διασταυρώνονται και ποτέ δεν υπάρχει έλεγχος από κάτω προς τα επάνω.



Σχήμα 3-3: Η θεωρία του ιεραρχικού μοντέλου

3-2-3-α. Η εξέλιξη της θεωρίας της ιεραρχίας

Το 1920, ο Rudolf Magnus, συνεργάτης του Sherrington, διερεύνησε τη λειτουργία των αντανακλαστικών μέσα σε διαφορετικά τμήματα του νευρικού συστήματος. Υποστήριξε ότι αντανακλαστικά που ελέγχονται από χαμηλότερα επίπεδα της νευρικής ιεραρχίας παρουσιάζονται μόνο όταν καταστραφούν τα ανώτερα φλοιϊκά κέντρα. Αυτό ήταν ουσιαστικό για να υποστηριχθεί λίγο αργότερα ότι τα αντανακλαστικά αποτελούν μέρος της ιεραρχίας του κινητικού ελέγχου, όπου φυσιολογικά τα ανώτερα κέντρα αναστέλλουν τα αντανακλαστικά των χαμηλότερων κέντρων.

Λίγο αργότερα, το 1928, ο Georg Schaltenbrand, προσπαθώντας να εξηγήσει την ανάπτυξη της κινητικότητας σε παιδιά και σε ενήλικες, περιέγραψε την ανάπτυξη της κινητικότητας στον άνθρωπο με τους όρους της εμφάνισης και της εξαφάνισης των αντανακλαστικών με την εξέλιξη της ηλικίας. Υποστήριξε ότι η παθολογία του εγκεφάλου μπορεί να επηρεάσει την επιμονή των πρωτόγονων αντανακλαστικών, χαμηλότερου επιπέδου, και ότι η πλήρης κατανόηση όλων των αντανακλαστικών θα επέτρεπε να προσδιοριστεί η νευρική ηλικία του παιδιού ή ενός ατόμου με κινητική δυσλειτουργία.

Στα τέλη του 1930, ο Stephan Weisz αναφέρθηκε στην αντανακλαστική αντίδραση και υποστήριξε ότι αποτελεί τη βάση της ισορροπίας του ανθρώπου. Περιέγραψε τη γένεση των αντανακλαστικών ισορροπίας σε ένα φυσιολογικά αναπτυσσόμενο παιδί και πρότεινε

μια σχέση ανάμεσα στην ωρίμανση των αντανακλαστικών αυτών και της ικανότητας του παιδιού να κάθεται, να στέκεται και να βαδίζει.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων και των παρατηρήσεων αυτών, αναφέρονται συχνά στη βιβλιογραφία, ως αντανακλαστική/ιεραρχική θεωρία (reflex/hierarchical theory) του κινητικού ελέγχου, που ενσωματώνει σε μια την αντανακλαστική και την ιεραρχική θεωρία. Ο συνδυασμός αυτός υπονοεί ότι ο κινητικός έλεγχος αναδύεται από αντανακλαστικά που είναι έμφυτα και οργανωμένα με έναν ιεραρχικό τρόπο στα ανάλογα επίπεδα του ΚΝΣ. Το 1940, ο Arnold Gasell και η Myrtle McGraw, δύο αναπτυξιολόγοι, ανέφεραν λεπτομερείς περιγραφές για την ωρίμανση των νεογνών. Με την τρέχουσα επιστημονική άποψη σχετικά με την ιεραρχία των αντανακλαστικών για τον κινητικό έλεγχο, προσπάθησαν να ερμηνεύσουν τις συμπεριφορές που έβλεπαν στα νεογνά. Απέδωσαν τη φυσιολογική κινητική ανάπτυξη στην αυξημένη επίδραση του φλοιού, με αποτέλεσμα την ανάδυση των υψηλότερων κέντρων ελέγχου επάνω στα αντανακλαστικά χαμηλότερου επιπέδου. Αυτό αναφέρθηκε ως “θεωρία της νευρικής ωρίμανσης της ανάπτυξης” (neuromaturational theory of development). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, υπεύθυνη για τις αλλαγές στην ανάπτυξη του παιδιού είναι η ωρίμανση του ΚΝΣ, που ελαχιστοποιεί τη σημασία άλλων παραγόντων όπως οι μυοσκελετικές αλλαγές.

3-2-3-β. Σύγχρονη προσέγγιση της θεωρίας της ιεραρχίας

Οι σύγχρονοι νευροεπιστήμονες έχουν επιβεβαιώσει τη σημασία των στοιχείων της ιεραρχικής οργάνωσης στον κινητικό έλεγχο. Ωστόσο, η αυστηρή άποψη της στενής ιεραρχίας που ξεκίνησε από τον Hughlings Jackson, κατά την οποία τα υψηλότερα κέντρα εξασκούν αυστηρό έλεγχο στα χαμηλότερα, έχει τροποποιηθεί, έτσι ώστε να επιτρέπεται η επικοινωνία μεταξύ των επιπέδων. Οι σύγχρονες απόψεις, περιγράφοντας τον κινητικό έλεγχο, αναγνωρίζοντας το γεγονός ότι κάθε επίπεδο του νευρικού συστήματος μπορεί να επιδρά επάνω σε άλλα (υψηλότερα και χαμηλότερα) έτσι ώστε να προωθούνται πληροφορίες, ανάλογα με τη δραστηριότητα. Πολλοί ερευνητές αναφέρονται στην τροποποιημένη αυτή άποψη ως ετεραρχικό μοντέλο του κινητικού ελέγχου, η ιδέα όμως ότι ο κινητικός έλεγχος ξεκινά από τα υψηλότερα κέντρα του εγκεφάλου, είναι κοινή και για τα δύο μοντέλα. Έχει, επίσης, τροποποιηθεί και ο ρόλος των αντανακλαστικών στην κίνηση. Τα αντανακλαστικά δε θεωρούνται ως ο μόνος καθοριστικός παράγοντας του κινητικού ελέγχου, αλλά μία από τις πολλές σημαντικές διαδικασίες της δημιουργίας, οργάνωσης και ελέγχου της κίνησης.

Σύμφωνα με τις ιεραρχικές θεωρίες, υπάρχουν στη μνήμη αποθηκευμένες αναπαραστάσεις των κινήσεων με τη μορφή κινητικών προγραμμάτων. Αυτά αποτελούν τα αισθη-

τικά αποτυπώματα της κίνησης, γνωστά και ως “engrams”, η εγχάραξη-καθιέρωση των οποίων στηρίζεται στην επανάληψη και στη επιτυχημένη εμπειρία της κινητικής δραστηριότητας. Τα κινητικά αυτά προγράμματα αποτελούνται από σύνολα κινητικών εντολών (εξειδικευμένων δηλαδή νευρωνικών κυκλωμάτων), που δομούνται και οργανώνονται στο υψηλότερο επίπεδο του φλοιού του εγκεφάλου και στη συνέχεια διοχετεύονται στα χαμηλότερα κέντρα της ιεραρχίας που είναι υπεύθυνα για την εκτέλεση της κίνησης (μυϊκές ομάδες και το υπόλοιπο εριστικό σύστημα). Η άποψη αυτή καθοδήγησε τις ερμηνείες των μελετητών του κινητικού ελέγχου από το 1968, όπου ο Keele έδωσε τον πρώτο λειτουργικό ορισμό, όπου κινητικό πρόγραμμα είναι “ένα σύνολο μυϊκών εντολών που δομούνται πριν από την έναρξη της κίνησης, επιτρέποντας την ολοκλήρωσή της χωρίς την επίδραση της περιφερικής ανατροφοδότησης”. Ο ορισμός αυτός, ωστόσο, έχει τροποποιηθεί, για να εξηγήσει καλύτερα το ευρύ πεδίο των κινήσεων που ένα άτομο είναι ικανό να εκτελεί. Η σημαντικότερη υποστήριξη για την ιεραρχική θεωρία και τον ενεργητικό έλεγχο της κίνησης μέσα από τα κινητικά προγράμματα, προέρχεται από την εφαρμογή των τεχνικών της αισθητικής αποκοπής, που οδήγησαν στην απόρριψη της θεωρίας των αντανάκλαστικών. Για τη θεωρία των κινητικών προγραμμάτων θα αναφερθούμε παρακάτω.

3-2-3-γ. Περιορισμοί της θεωρίας της ιεραρχίας

Ένας από τους περιορισμούς της αντανάκλαστικής / ιεραρχικής θεωρίας του κινητικού ελέγχου είναι ότι δε μπορεί να ερμηνεύσει πως σε φυσιολογικούς ενήλικες επικρατεί ορισμένες φορές η αντανάκλαστική συμπεριφορά. Για παράδειγμα όταν βαδίζει τυχαία πάνω σε ένα αιχμηρό αντικείμενο (καρφί) τότε θα υπάρχει άμεση απόσυρση του ποδιού. Αυτό είναι ένα παράδειγμα αντανάκλαστικού οργανωμένο στο κατώτερο επίπεδο της ιεραρχίας, που κυριαρχεί αιφνίδια στον κινητικό έλεγχο, και κινείται από κάτω προς τα επάνω, ανατρέποντας ουσιαστικά τη θεωρία. Έτσι χρειάζεται προσοχή για το συμπέρασμα ότι τα χαμηλότερα επίπεδα είναι πρωτόγονα, ανώριμα και χωρίς προσαρμογή, ενώ οι υψηλότεροι επιπέδου (φλοιϊκές) συμπεριφορές είναι ώριμες και προσαρμόσιμες.

3-2-4. Θεωρία των κινητικών προγραμμάτων

Στην εξέλιξη των θεωριών του κινητικού ελέγχου, επεκτείνεται η κατανόηση και η καλύτερη αντίληψη του ΚΝΣ. Οι απόψεις ότι το ΚΝΣ είναι το πιο αντιδραστικό σύστημα άρχισαν να υποχωρούν και διερευνάται πλέον η φυσιολογία των δράσης και όχι της αντίδρασης. Οι θεωρίες των αντανάκλαστικών είναι χρήσιμες και απαραίτητες για την ερμηνεία ορισμένων στερεότυπων προτύπων κίνησης. Ένας ενδιαφέρων τρόπος να παρατηρήσεις τα αντανάκλα-

στικά είναι να θεωρήσεις ότι κάποιος ενώ απομακρύνει το ερέθισμα ή την κεντρομόλο πληροφόρηση, παρόλα αυτά η προτυποποιημένη κινητική απάντηση παραμένει. Εάν απομακρυνθεί η κινητική απάντηση από το ερέθισμά της, τότε μένει η έννοια του κεντρικού κινητικού προτύπου. Η άποψη του προτύπου αυτού είναι πιο ευέλικτη από την άποψη ενός αντανakλαστικού, εφόσον μπορεί να ενεργοποιείται είτε με αισθητικά ερεθίσματα είτε με κεντρικές διαδικασίες.

Η θεωρία των κινητικών προγραμμάτων (motor program theory) είναι ουσιαστικά η κεντρική ιδέα της διαδικασίας επεξεργασίας των γνωσιακών πληροφοριών (cognitive information processing approach) η οποία έχει επηρεαστεί από την πειραματική ψυχολογία, γεγονός που φαίνεται από και τη χρήση της έννοιας του χρόνου αντίδρασης (reaction time). Η εκτενής μελέτη της ανθρώπινης μάθησης από την πειραματική ψυχολογία εξηγεί γιατί η συγκεκριμένη προσέγγιση προσφέρει περισσότερο στον κινητικό έλεγχο και μάθηση από ότι η θεωρία των δυναμικών συστημάτων, που θα αναλυθεί παρακάτω.

3-2-4-α. Ερμηνεία της θεωρίας των κινητικών προγραμμάτων

Τι είναι ουσιαστικά ένα “κινητικό πρόγραμμα”. Το “κινητικό πρόγραμμα” είναι μια αφηρημένη εκπροσώπηση της κίνησης που οργανώνει και ελέγχει κεντρικά τους πολλούς βαθμούς ελευθερίας, εμπλεκόμενο έτσι στην εκτέλεση της κινητικής δραστηριότητας. Η “αφηρημένη” αυτή έννοια του “κινητικού προγράμματος”, μπορεί να γίνει καλύτερα αντιληπτή μέσα στα πλαίσια της λειτουργίας του εγκεφάλου, σαν μια “θέση” καλά οργανωμένων νευρωνικών κυκλωμάτων, που είναι έτσι “προγραμματισμένα”, με τους νευρώνες που τα αποτελούν, να έχουν δεχθεί τις κατάλληλες ρυθμίσεις αναστολής και διευκόλυνσης, ώστε να “προάγουν” ένα “καθαρό” και “φιλτραρισμένο” σύνολο νευρικών ώσεων. Όταν αυτό ενεργοποιείται, θα προκαλέσει κινητική απάντηση σύμφωνα με το προσχεδιασμένο “κινητικό πρόγραμμα”. Έτσι, σήματα που μεταφέρονται μέσω φυγόκεντρων και κεντρομόλων νευρικών οδών επιτρέπουν στο ΚΝΣ να σχεδιάζει, να καθοδηγεί και να αντισταθμίζει την κίνηση. Ο όρος κινητικό πρόγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ταυτοποιήσει μια γεννήτρια κεντρικού προτύπου (central pattern generator), δηλαδή, ένα ειδικό νευρωνικό κύκλωμα παρόμοιο με αυτό για τη δημιουργία της βάδισης στις γάτες. Στην περίπτωση αυτή ο όρος αντιπροσωπεύει νευρωνικές συνδέσεις που είναι στερεότυπες και οργανώνονται με ειδικά νευρωνικά κυκλώματα. Ο όρος επίσης χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα υψηλότερου επιπέδου κινητικά προγράμματα που αντιπροσωπεύουν δράσεις σε πιο αφηρημένους όρους. Έτσι, υποστηρίζεται η ύπαρξη ιεραρχικά οργανωμένων κινητικών προγραμμάτων που αποθηκεύουν τους κανόνες που διέπουν τη δημιουργία των κινήσεων αυτών, έτσι ώστε

μπορούμε να εκτελέσουμε τη δράση με την ενεργοποίηση διάφορων φυγόκεντρων συστημάτων (κατιούσες νευρικές οδοί).

Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό με ένα απλό παράδειγμα. Αν προσπαθήσει κάποιος να σχεδιάσει σε ένα μικρό χαρτί, κάτι που συνηθίζει ή έχει μάθει καλά, όπως η υπογραφή του, θα ο κάνει με επιτυχία, όπως το ίδιο θα γίνει εάν το κάνει σε ένα πολύ μεγαλύτερο πλαίσιο, όπως πχ ο μαυροπίνακας. Ένα στη συνέχεια προσπαθήσει να κάνει το ίδιο με το άλλο χέρι, ενώ στη αρχή θα υπάρχει δυσκολία, μετά από μερικές προσπάθειες οι δύο υπογραφές θα μοιάζουν. Αυτό δηλώνει ότι οι κανόνες γραφής του ονόματός του έχουν αποθηκευτεί, σαν ένα “κινητικό πρόγραμμα” σε υψηλότερα επίπεδα στο ΚΝΣ. Έτσι, οι νευρωνικές εντολές που αναφέρονται από τα υψηλότερα αυτά κέντρα στη γραφή του το ονόματός του, είναι πάντοτε διαθέσιμα και μπορεί να αποστέλλονται σε διάφορα τμήματα του σώματος. Τα στοιχεία γραφής της υπογραφής του, παραμένουν σταθερά και ανεξάρτητα του τμήματος του σώματος που χρησιμοποιείται για να διεξάγει τη συγκεκριμένη δράση.

Η έννοια του ελέγχου της κίνησης μέσω των κινητικών προγραμμάτων υποδηλώνει τη σημασία της περιφερικής πληροφόρησης, που είναι απαραίτητη πλέον για την αναγνώριση του αποτελέσματός τους, αν και κάτι τέτοιο δεν δηλώνεται σαφώς στην αρχική θεωρία των “κινητικών προγραμμάτων”. Όταν μια κίνηση εξελίσσεται σε “κανονικό” και λειτουργικό ρυθμό, ο εγκέφαλος πληροφορείται για το “τι ακριβώς συμβαίνει στην περιφέρεια”. Για τις κινήσεις όμως που εξελίσσονται σε έναν πολύ γρήγορο ρυθμό, η επεξεργασία των κεντρομόλων πληροφοριών (επαναπληροφόρηση) είναι αργή για την εξελισσόμενη ρύθμιση.

Ο χρόνος αντίδρασης (reaction time), δηλαδή ο χρόνος που μεσολαβεί ανάμεσα στην κεντρική εντολή “ξεκίνα την κίνηση” και στην έναρξη της, αυξάνεται με τη συμπλοκότητα της κίνησης, γεγονός που δηλώνει ότι η κίνηση σχεδιάζεται και προγραμματίζεται νωρίτερα. Η κίνηση είναι πιθανή ακόμη και χωρίς επαναπληροφόρηση από το μέλος που κινείται. Αυτό δεν σημαίνει ότι μπορεί να υποτιμηθεί η σημασία της επαναπληροφόρησης, μόνον ότι εφόσον η γρήγορη κίνηση εκτελείται αποτελεσματικά, υποδηλώνει ότι μπορεί να χρησιμοποιείται κάποιο άλλο επίπεδο κινητικού ελέγχου, πέρα από αυτό της επαναπληροφόρησης. Ποιες είναι οι πιθανές υποθέσεις του ελέγχου αυτού: (α) μπορεί να γίνει πριν από την κίνηση σαν πληροφόρηση σχετικά με τη θέση έναρξης της κίνησης ή ίσως για να οργανώσει το “νωτιαίο επίπεδο”, (β) κατά τη διάρκεια της κίνησης, όταν αυτή είτε “καταγράφεται” για την παρουσία λάθους ή χρησιμοποιείται άμεσα στη ρύθμιση της κίνησης, αντανακλαστικά, και (γ) μετά την ολοκλήρωση της κίνησης, για να προσδιοριστεί η επιτυχία της απάντησης και να συμβάλει στην κινητικό μάθηση.

Σε περίπτωση απουσίας της επαναπληροφόρησης, πόσο λειτουργική μπορεί να είναι η κίνηση και πόσο μπορεί να ικανοποιεί τις ανάγκες και απαιτήσεις του ατόμου, εφόσον δεν ελέγχεται το αποτέλεσμα της; Επομένως, άλλο ο μηχανισμός που προκαλεί την ομαλή και σκοπίμη κίνηση του μέλους και άλλος αυτός που την ελέγχει και τη συντονίζει, αν και ουσιαστικά είναι απόλυτα συνδεδεμένοι, μπορεί όμως ο πρώτος να λειτουργεί χωρίς το δεύτερο, ενώ το αντίθετο είναι αδύνατο.

3-2-4-β. Σύγχρονη προσέγγιση της θεωρίας των κινητικών προγραμμάτων

Η πειραματική υποστήριξη της θεωρίας των κινητικών προγραμμάτων άρχισε στις αρχές του 1960, όπου μελετώντας τον τρόπο κίνησης της ακρίδας, υποστηρίχθηκε ότι ο χρονοσμός του χτυπήματος των πτερυγίων του ζώου κατά τη διάρκεια του πετάγματος εξαρτάται από μια γεννήτρια ρυθμικού προτύπου (rhythmic pattern generator). Ακόμη και εάν αποκοπούν τα αισθητικά νεύρα, το νευρικό σύστημα από μόνο του και χωρίς κάποιο αισθητικό ερέθισμα, θα μπορούσε να δημιουργήσει την “παροχή”, με μόνο διαφορά το πιο αργό χτύπημα των φτερών του ζώου. Αυτό υποθέτει ότι μπορεί να προκύψει κίνηση απουσία αντανεκλαστικής αντίδρασης. Το αισθητικό ερέθισμα, αν και δεν είναι ουσιαστικό για την καθοδήγηση της κίνησης, παίζει σημαντικό ρόλο στην τροποποίηση της δράσης. Τα συμπεράσματα αυτά υποστηρίχθηκαν περαιτέρω από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν σε γάτες, τα οποία απέδειξαν ότι νευρικά δίκτυα στο νωτιαίο μυελό θα μπορούσαν να παράγουν ένα ρυθμό μετακίνησης χωρίς να υπάρχει ανάλογο αισθητικό ερέθισμα ή άλλα κατιόντα πρότυπα ελέγχου από τον εγκέφαλο. Αλλάζοντας την ένταση του ερεθισμού προς το νωτιαίο μυελό, το ζώο μπορεί να βαδίζει, να τρέξει ή ακόμη και να καλπάζει (γρήγορος βηματισμός). Με τον τρόπο αυτό, αποδείχθηκε και πάλι ότι τα αντανεκλαστικά δεν καθοδηγούν την κίνηση, αλλά ότι αυτές που μπορούν να δημιουργήσουν σύμπλοκες κινήσεις, όπως η βόδιση ή το τρέξιμο, είναι οι γεννήτριες κεντρικών προτύπων.

Η άποψη ενός κινητικού προγράμματος είναι ότι μια ακολουθία εντολών μπορεί να έχει σχεδιαστεί και αποθηκευτεί εκ των προτέρων, και όταν χρειαστεί, ανακαλείται και “τρέχει”, όπως ακριβώς θα λειτουργούσε ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή, χωρίς καμία ανάμειξη ανατροφοδότησης. Το κινητικό πρόγραμμα είναι μια έννοια που έχει σημαντική επιρροή στις θεωρίες του κινητικού ελέγχου. Ως τόσο υπάρχει μια διάσταση ποιά ακριβώς είναι η έννοια του κινητικού προγράμματος και ποιος ακριβώς είναι ο ρόλος του στον έλεγχο της κίνησης. Από τη συνεχή και υπερβολική, ορισμένες φορές, χρήση του όρου υποστηρίχθηκε ότι αυτή μπορεί να εμποδίσει την πρόοδο στον τομέα. Παρά την αναθεώρηση του όρου, αυτός εξακολουθεί να χρησιμοποιείται με διαφορετικούς τρόπους, η θεωρητική ύ-

παρξη ενός κινητικού προγράμματος φαίνεται να είναι γενικά αποδεκτό από τους ερευνητές στην πειραματική ψυχολογία, την επιστήμη της κίνησης και τη νευροφυσιολογία. Άλλωστε η μεγάλη ανάπτυξη της απεικονιστικής του εγκεφάλου, επιτρέπει να προσδιοριστεί εάν η παρουσία του κινητικού προγράμματος ημπόρει να θεωρηθεί ως μια μεταφορική ή μια κυριολεκτική έννοια

3-2-4-γ. Περιορισμοί της θεωρίας των κινητικών προγραμμάτων

Η άποψη της γεννήτριας κεντρικού προτύπου επεκτείνει μεν την κατανόησή μας για το ρόλο του νευρικού συστήματος στον έλεγχο της κίνησης, αλλά πρέπει να υπάρχει επιφυλακτικότητα στη χρήση της. Πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι η άποψη αυτή δεν μπορεί να αντικαταστήσει την σημασία του αισθητικού ερεθίσματος (επαναπληροφόρησης) στον έλεγχο της κίνησης. Απλά επεκτείνει την κατανόησή μας, όσον αφορά την ευελιξία του νευρικού συστήματος στη δημιουργία κίνησης, για να περιλάβει την ικανότητα να δημιουργεί κίνηση μεμονωμένα από την περιφερική επαναπληροφόρηση.

Ένας σημαντικός περιορισμός στην άποψη του κεντρικού “κινητικού προγράμματος” είναι ότι αυτό δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν ο μόνον καθοριστικός παράγοντας για τη κινητική δράση, δεδομένου ότι αυτή επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Για παράδειγμα, δύο ταυτόσημες εντολές για τους καμπήρες του αγκώνα, θα παράγουν διαφορετικές κινητικές απαντήσεις, ανάλογα εάν το χέρι βρίσκεται στα πλάγια ή μπροστά στο άτομο. Στις δύο περιπτώσεις, οι δυνάμεις της βαρύτητας θα λειτουργήσουν διαφορετικά επάνω στο μέλος, και θα τροποποιήσουν την κίνηση. Επιπρόσθετα, εάν υπάρχει κόπωση των μυών, οι ίδιες νευρικές εντολές θα έχουν διαφορετικά αποτελέσματα. Έτσι, η άποψη των “κινητικών προγραμμάτων” δεν λαμβάνει υπόψη της το γεγονός ότι το νευρικό σύστημα θα πρέπει να υπολογίσει τόσο τις μυοσκελετικές όσο και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, προκειμένου να ελέγξει με επιτυχία την κίνηση.

3-2-5. Θεωρία του σχήματος (Schmidt's schema theory)

Η αρχική Θεωρία του “κινητικού προγράμματος” δεν έλαβε επαρκώς υπόψη τα στοιχεία που αποδεικνύουν τη σημασία της επαναπληροφόρησης για την τροποποίηση των εν εξελίξει κινήσεων, ενώ προσφέρει παράλληλα μια κατάλληλη ερμηνεία για την αποθήκευση των κινητικών προγραμμάτων ή την εφαρμογή τους σε νέα κίνηση. Σαν αποτέλεσμα ήταν να αναπτυχθεί η έννοια του “γενικευμένου κινητικού προγράμματος” (generalized motor program). Το “γενικευμένο κινητικό πρόγραμμα” πιστεύεται ότι περιέχει μια αφηρημένη εκπροσώπηση μιας κατηγορίας κινήσεων με αμετάβλητα χαρακτηριστικά που αναφέρο-

νται: (α) στη σειρά των γεγονότων (ακολουθία της κίνησης), (β) στο σχετικό χρονισμό των γεγονότων καθώς και (γ) στη σχετική (μυϊκή) δύναμη με την οποία παράγονται τα γεγονότα αυτά. Προκειμένου να καθοριστεί το πώς πρέπει να εκτελείται μια συγκεκριμένη κίνηση, στο "γενικευμένο κινητικό πρόγραμμα" καθορίζονται παράμετροι, όπως η συνολική διάρκεια της κίνησης ή η συνολική δύναμη της σύσπαση των μυών που συμμετέχουν. Η αναθεώρηση αυτή της θεωρίας του κινητικού προγράμματος, επιτρέπει να παράγονται με το ίδιο κινητικό πρόγραμμα πολλές και διαφορετικές κινήσεις, καθώς και να δημιουργούνται νέες κινήσεις, εξειδικεύοντας απλά τις νέες παραμέτρους.

Ο Richard Schmidt το 1975, πρότεινε τη θεωρία του σχήματος (schema theory) για τον κινητικό έλεγχο, προτείνοντας σε αντίθεση με τις θεωρίες του κλειστού δακτυλίου, ότι ένα "κινητικό πρόγραμμα" που περιέχει γενικούς κανόνες, μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες ή καταστάσεις μέσω της εμπλοκής της διαδικασίας ελέγχου του ανοικτού δακτυλίου και του γενικευμένου κινητικού προγράμματος. Στη θεωρία σχήματος του Schmidt, το "σχήμα" περιέχει τους γενικευμένους κανόνες που δημιουργούν τα μυϊκά πρότυπα, σε χώρο και χρόνο, για να παράγουν μια συγκεκριμένη κίνηση. Ως εκ τούτου, όταν μαθαίνονται νέες κινήσεις, το άτομο μπορεί να δημιουργήσει ένα νέο "γενικευμένο κινητικό πρόγραμμα" που στηρίζεται στην επιλογή των παραμέτρων (μειώνοντας το πρόβλημα της νέας κίνησης), ή βελτιώνοντας ένα "γενικευμένο κινητικό πρόγραμμα" που ήδη υπάρχει (μειώνοντας το πρόβλημα της αποθήκευσης), ανάλογα με την προηγούμενη εμπειρία που υπάρχει με το πλαίσιο της κίνησης και της δραστηριότητας.

Σύμφωνα με το Schmidt, όταν το άτομο δημιουργεί μια νέα κίνηση, αποθηκεύονται ως μνήμη τέσσερα βασικά πλαίσια: (α) οι αρχικές συνθήκες της κίνησης, όπως είναι οι θέση (ιδιοδεκτικές πληροφορίες) του σώματος και των μελών του κατά την έναρξη της κίνησης, (β) οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στο γενικευμένο κινητικό πρόγραμμα, όπως η ταχύτητα και δύναμη της κίνησης, (γ) οι αισθητικές απαντήσεις, που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με το πώς έγινε αντιληπτή η κίνηση, και (δ) το αποτέλεσμα της κίνησης αυτής, που περιέχει πληροφορίες σχετικά με την πραγματική έκβαση της κίνησης με την ανάλογη γνώση του αποτελέσματος.

Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται σε συστατικά της κινητικής απάντησης του σχήματος, που περιλαμβάνουν το σχήμα ανάκληση (recall schema) και το σχήμα αναγνώρισης (recognition schema). Οι δύο αυτές μορφές του "σχήματος" συνδέονται στενά μεταξύ τους, καθώς χρησιμοποιούν τη σχέση μεταξύ της αρχικής κατάστασης και του πραγματικού αποτελέσματος, δεν είναι όμως ίδια. Οι διαφορές τους είναι ότι το σχήμα ανάκληση χρησιμοποιείται για να γίνει επιλογή μιας συγκεκριμένης απάντησης χρησιμοποιώντας τις εξειδι-

κεύσεις και προδιαγραφές της απάντησης, ενώ το σχήμα αναγνώρισης χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί η απάντηση με τις αισθητικές συνέπειες. Σε όλη τη διάρκεια της κίνησης, το σχήμα αναγνώρισης συγκρίνεται διαρκώς με την αναμενόμενη αισθητική πληροφόρηση, όπως η ιδιοδεκτικότητα και εξωδεκτικότητα, από την εξελισσόμενη κίνηση για να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της απάντησης. Εάν υπάρχει σφάλμα αποστέλλονται μετά την ολοκλήρωση της κίνησης τα ανάλογα σήματα, όπου το “σχήμα” στη συνέχεια τροποποιείται με βάση την αισθητική επαναπληροφόρηση και τη γνώση του αποτελέσματος. Η θεωρία του σχήματος δείχνει ότι η κινητική μάθηση αποτελείται από μια συνεχείς διαδικασίες που, με κάθε κίνηση που εκτελείται, ενημερώνουν και ανακαλούν τα σχήματα αναγνώρισης. Η διαδικασία της κινητικής μάθησης θα αναφερθεί παρακάτω.

3-2-6. Θεωρία του εσωτερικού μοντέλου του κινητικού ελέγχου

Σήμερα στη νευροεπιστήμη και στις γνωσιακές επιστήμες εισάγεται ευρέως η έννοια του εσωτερικού μοντέλου. Οι έννοιες αυτές υποστηρίζονται από σαφή απεικονιστικά δεδομένα αλλά και από στοιχεία της νευροφυσιολογίας και της συμπεριφοράς, με τα οποία αποδεικνύονται οι κατασκευές και λειτουργίες που τα υποστηρίζουν. Για παράδειγμα, μια ειδική θεωρία που στηρίζεται στα αντίστροφα μοντέλα για τη μάθηση υποστηρίζεται άμεσα από καταγραφές που ελήφθησαν από τα κύτταρα Purkinje της παρεγκεφαλίδας. Επιπλέον μια ειδική θεωρία των πολλαπλών συνδυασμών των προ τα εμπρός προώθησης και των αντίστροφων μοντέλων περιγράφουν το πώς μπορεί να ελέγχονται διαφορετικά αντικείμενα και περιβάλλοντα αλλά και να μαθαίνονται ξεχωριστά.

Οι θεωρίες του κινητικού ελέγχου υποθέτουν ότι ο εγκέφαλος χρησιμοποιεί εσωτερικά μοντέλα του σώματος που υπηρετεί, προκειμένου να ελέγχει τις κινήσεις του με ακρίβεια. Σαν “εσωτερικά μοντέλα” θεωρούνται οι νευρωνικές αναπαραστάσεις βασικών για το άτομο δραστηριοτήτων, κωδικοποιημένες με πολλαπλές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα, το πως θα ανταποκριθεί το χέρι σε μία νευρική εντολή, με δεδομένη τη θέση που έχει τη συγκεκριμένη στιγμή και την ταχύτητα που πρέπει να αντιδράσει για να ολοκληρώσει την κίνηση. Τα “εσωτερικά μοντέλα” μπορεί να αναφέρονται σε: (α) πνευματικά μοντέλα και (β) εσωτερικά μοντέλα κινητικού ελέγχου.

Το πνευματικό (νοητικό) μοντέλο, είναι μια παρουσίαση τη πραγματικότητας στον εγκέφαλο και στη νόηση του ανθρώπου. Ένα νοητικό μοντέλο αποτελεί εξήγηση της διαδικασίας της σκέψης ενός ατόμου, για το πώς λειτουργεί κάτι στον πραγματικό κόσμο. Είναι μια αναπαράσταση του κόσμου που μας περιβάλλει, οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του και διαισθητική αντίληψη ενός ατόμου για τις δικές του πράξεις με τις συνέπειές

τους. Τα νοητικά μοντέλα συμβάλλουν στη διαμόρφωση της συμπεριφοράς ενός ατόμου και ρυθμίζουν την επίλυση των προβλημάτων του, μοιάζουν δηλαδή σαν ένας προσωπικός αλγόριθμος. Το νοητικό μοντέλο είναι ένα είδος εσωτερικού συμβόλου ή παρουσίασης της εξωτερικής πραγματικότητας, και θεωρείται ότι παίζει ένα σημαντικό ρόλο στη γνωσιακή λειτουργία, στη λογική και στη λήψη αποφάσεων. Από το 1943 ο Kenneth Craik είχε προτείνει ότι ο νους κατασκευάζει "μοντέλα μικρής κλίμακας" της πραγματικότητας που χρησιμοποιεί για να προβλέψει τα γεγονότα. Στη φυσιολογία, ο όρος πνευματικό μοντέλο χρησιμοποιείται για να αναφερθεί γενικώς στην νοητική παρουσίαση ή πνευματική κατάσταση.

Το εσωτερικό μοντέλο του κινητικού ελέγχου, είναι μια θεωρητική νευρωνική διαδικασία που προσομοιώνει την απάντηση του κινητικού συστήματος προκειμένου να εκτιμήσει το αποτέλεσμα μιας κινητικής εντολής. Η θεωρία του εσωτερικού μοντέλου του κινητικού ελέγχου υποστηρίζει ότι το κινητικό σύστημα ελέγχεται από τις σταθερές αλληλεπιδράσεις του "τελικού οργάνου" και του "ελεγκτή". Το "τελικό όργανο" είναι το μέρος του σώματος που ελέγχεται, ενώ το ίδιο το εσωτερικό μοντέλο θεωρείται μέρος του "ελεγκτή". Πληροφορίες από τον "ελεγκτή", που προέρχονται από το εσωτερικό μοντέλο, όπως πληροφορίες (φυγόκεντρες) από το ΚΝΣ, πληροφορίες ανατροφοδότησης, και το φυγόκεντρο αντίγραφο της δράσης, αποστέλλεται στο "τελικό όργανο", το οποίο και κινείται αναλόγως.

Έχει αποδειχθεί ότι ο φλοιός της παρεγκεφαλίδας μπορεί να αποκτήσει εσωτερικά μοντέλα μέσω τη κινητικής μάθησης και "αντίστροφα" μοντέλα βρίσκονται μέσα στα κυκλώματα της παρεγκεφαλίδας. Επειδή η παρεγκεφαλίδα εμπλέκεται σε υψηλότερες γνωσιακές λειτουργίες καθώς και στον έλεγχο της κίνησης, προτείνετε μια υπολογιστική θεωρία στην οποία το φυλογενετικά νεότερο τμήμα της παρεγκεφαλίδας αποκτά εσωτερικά μοντέλα των αντικειμένων στον εξωτερικό κόσμο. Αυτό επιβεβαιώθηκε με μελέτες όπου κατά τη διάρκεια λεπτής χρήσης νεώτερων συσκευών (που δεν χρησιμοποίησε το άτομο) όπου διαπιστώθηκε, με λειτουργική MRI, ότι παρατηρούνται δύο τύποι δραστηριότητας: μια διάχυτη σε όλη την έκταση της παρεγκεφαλίδας που είναι σύμφωνα με τα εσωτερικά μοντέλα κατά τη διαδικασία της μάθησης και η άλλη σε περισσότερο εξειδικευμένη θέση που εξακολουθούσε και παρέμενε μετά το τέλος της μάθησης που υποδηλώνει την απόκτηση ενός νέου εσωτερικού μοντέλου.

Τα εσωτερικά μοντέλα μπορεί να ελέγχονται με δύο βασικούς τρόπους: έναν έλεγχο προς τα εμπρός (feed-forward) και έναν με επαναπληροφόρηση (feedback control). Ο προς τα εμπρός έλεγχος υπολογίζει το ερέθισμά του σε ένα σύστημα χρησιμοποιώντας μόνο την τρέχουσα κατάσταση και το ίδιο το μοντέλο του συστήματος. Δεν χρησιμοποιεί επαναπληροφόρηση, για το λόγο αυτό δεν μπορεί να διορθώσει τα λάθη κατά τον έλεγχο της. Κατά

τον έλεγχο ανατροφοδότησης, ορισμένες εκτελέσεις του συστήματος μπορεί να τροφοδοτούν προς τα πίσω (κεντρομόλα) μέσα στα ερεθίσματα του συστήματος, προσφέροντας τη δυνατότητα σε αυτό να κάνει προσαρμογές ή αντισταθμίσεις, εάν έγιναν λάθη κατά την εκτέλεση της επιθυμητή δραστηριότητας. Με βάση τη συγκεκριμένη λογική προτάθηκαν δύο βασικοί τύποι εσωτερικών μοντέλων: (α) αυτά που τροφοδοτούν (φυγόκεντρα) προς τα εμπρός, και (β) τα αντίστροφα μοντέλα (κεντρομόλα), όπως αναφέρθηκε παραπάνω στην αντίστοιχη θεωρία, όπου στις προσομοιώσεις, τα μοντέλα αυτά μπορούν να συνδυαστούν για να λύσουν πιο σύνθετα προβλήματα κίνησης.

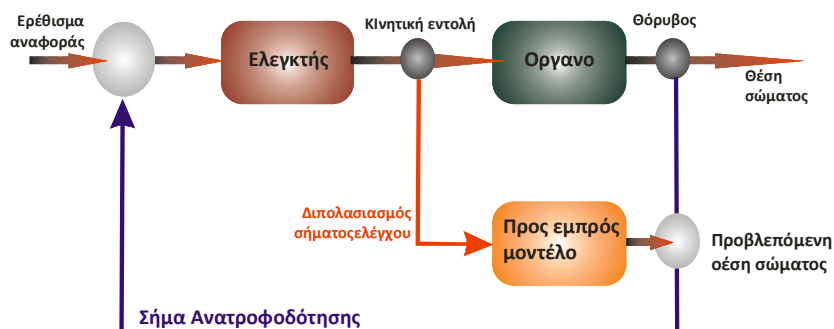
3-2-6-α. Μοντέλο προς τα εμπρός προώθησης (φυγόκεντρο)

Στην απλούστερη μορφή τους, τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης λαμβάνουν το ερέθισμα από μια κινητική εντολή προς το «τελικό όργανο» και παράγει μία προβλεπόμενη θέση του σώματος. Ένα τέτοιο εσωτερικό προς τα εμπρός μοντέλο αποτελεί μια παρουσίαση του κινητικού συστήματος που χρησιμοποιεί την παρούσα κατάσταση του κινητικού συστήματος και της κινητικής εντολής για να προβλέψει την επόμενη κατάσταση. Το ερέθισμα της κινητικής εντολής στον τύπο αυτό του μοντέλου μπορεί να είναι ένα φυγόκεντρο αντίγραφο (**Σχήμα 3-4**) Η παροχή από το συγκεκριμένο μοντέλο, η προβλεπόμενη θέση του σώματος, στη συνέχεια συγκρίνεται με την πραγματική θέση του σώματος. Η πραγματική και η προβλεπόμενη θέση του σώματος μπορεί να διαφέρουν λόγω του θορύβου που εισάγεται στο σύστημα είτε από εσωτερικές (π.χ. αισθητήρες του σώματος, αισθητικός θόρυβος) ή εξωτερικές (π.χ. απρόβλεπτες δυνάμεις από το εξωτερικό περιβάλλον του σώματος) πηγές. Εάν οι πραγματικές και οι προβλεπόμενες θέσεις του σώματος διαφέρουν, η διαφορά μπορεί να ανατροφοδοτείται και πάλι ως ερέθισμα σε ολόκληρο το σύστημα, έτσι ώστε μπορεί να προσαρμοστεί μια ανάλογα διαμορφωμένη δέσμη κινητικών εντολών για να δημιουργήσετε μια πιο ακριβή κίνηση. Εάν η εκ νέου σύγκριση της προβλεπόμενης και της πραγματικής κατάστασης είναι ικανοποιητική τότε η κινητική δραστηριότητα μπορεί να θεωρηθεί ως επιτυχής ως προς τον σκοπό που επιλέχθηκε να γίνει.

3-2-6-β. Μοντέλο αντίστροφης προώθησης (κεντρομόλο)

Τα μοντέλα αντίστροφης προώθησης (κεντρομόλα μοντέλα ανατροφοδότησης) χρησιμοποιούν την επιθυμητή και την πραγματική θέση του σώματος ως ερεθίσματα για να εκτιμήσουν τις απαραίτητες κινητικές εντολές που θα μετατρέψει τη θέση που κατέχει το σώμα τη συγκεκριμένη στιγμή, σε μια επιθυμητή (σύμφωνα με το πρότυπο, αλλά κυρίως τις ανάγκες του ατόμου). Για παράδειγμα, σε μια κινητική δραστηριότητα προσέγγισης ενός αντικειμέ-

νου με το άνω άκρο, η επιθυμητή θέση, ή όπως μεταφράζεται κεντρικά η τροχιά των διαδοχικών θέσεων που πρέπει να καταλάβει ο βραχίονας για τη συγκεκριμένη κίνηση, αποτελεί ερέθισμα για το θεωρητικό αντίστροφο μοντέλο, και το αντίστροφο αυτό μοντέλο δημιουργεί τις κινητικές εντολές που απαιτούνται για να προκαλέσουν και να ελέγξουν την κίνηση του βραχίονα και να το φέρουν στην επιθυμητή διαμόρφωση (Σχήμα 3-5).



Σχήμα 3-4: Η επιθυμητή θέση του σώματος είναι το ερέθισμα αναφοράς στον υποθετικό ελεγκτή (θέσεις στο ΚΝΣ), η οποία παράγει την απαραίτητη κινητική εντολή. Αυτή η κινητική εντολή αποστέλλεται στο “τελικό όργανο“ να κινηθεί το σώμα, ταυτόχρονα με ένα φυγόκεντρο αντίγραφο της κινητικής αυτής εντολής αποστέλλεται στο προς τα εμπρός μοντέλο. Το ερέθισμα από το μοντέλο αυτό (που αντιπροσωπεύει την προβλεπόμενη θέση του σώματος) συγκρίνεται με την παροχή-πληροφορίες που προέρχονται από το “τελικό όργανο” (που αντιπροσωπεύει την πραγματική θέση του σώματος). Ο θόρυβος από το σύστημα ή το περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει διαφορές μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης θέσης του σώματος. Το σφάλμα, δηλαδή η διαφορά, ανάμεσα στην πραγματική και στην προβλεπόμενη θέση μπορεί να παρέχει πληροφορίες ανατροφοδότησης για τη βελτίωση της κίνησης για την επόμενη επανάληψη του εσωτερικού μοντέλου.

3-2-6-γ. Μη ελεγχόμενη πολλαπλή υπόθεση (uncontrolled manifold hypothesis)

Τα αντίστροφα εσωτερικά μοντέλα βρίσκονται σε στενή σχέση επίσης με την “μη ελεγχόμενη πολλαπλή υπόθεση” (uncontrolled manifold hypothesis), η οποία υποθέτει μια συγκεκριμένη λύση για το περιβόητο πρόβλημα του κινητικού πλεονασμού (ANT). Πολλά πρόσφατα πειραματικά δεδομένα υποστηρίζουν την υπόθεση αυτή, η οποία δείχνει την ικανότητά της να ανακαλύπτει βιολογικές στρατηγικές του συντονισμού των κινητικών συστημάτων που φαινομενικά πλεονάζουν. Η υπόθεση αυτή και οι συνοδές υπολογιστικές υποθέσεις έχουν μεγάλες δυνατότητες για την εφαρμογή στους τομείς της κινητικής αποκατάστασης και της απόκτηση (μάθησης) νέων κινητικών δεξιοτήτων.



Σχήμα 3-5: Αντίστροφο μοντέλο μιας δραστηριότητας προσέγγισης ενός αντικειμένου. Η επιθυμητή τροχιά του χεριού [$X_{ref}(t)$], είναι το ερέθισμα προς το μοντέλο, το οποίο δημιουργεί τις απαραίτητες κινητικές εντολές, $u(t)$, για τον έλεγχο της κίνησης του βραχίονα

3-2-7. Υπόθεση των πολλαπλών συνδυασμών των προς τα εμπρός προώθησης και των αντίστροφων μοντέλων

Μια εναλλακτική άποψη για την οργάνωση και τον έλεγχο των κινητικών προγραμμάτων, μπορεί να είναι μια υπολογιστική διαδικασία επιλογής μιας κινητικής εντολής (δηλαδή, ένα ερέθισμα) για να επιτευχθεί μια επιθυμητή αισθητική ανατροφοδότηση (δηλαδή, η παραγωγή ή το τελικό αποτέλεσμα). Η επιλογή της κινητικής εντολής εξαρτάται από πολλές εσωτερικές και εξωτερικές μεταβλητές, όπως είναι η θέση των άκρων και του σώματος (την παρούσα στιγμή), ο προσανατολισμός του σώματος αλλά και οι ιδιότητες των αντικειμένων στο περιβάλλον με τα οποία το σώμα θα αλληλεπιδράσει. Με δεδομένο τους πολλούς πιθανούς συνδυασμούς των μεταβλητών αυτών, το σύστημα που ελέγχει την κίνηση θα πρέπει να προσφέρει τις κατάλληλες κινητικές εντολές για οποιοδήποτε πλαίσιο λειτουργίας.

Μια στρατηγική για την επιλογή των κατάλληλων κινητικών εντολών αναφέρεται σε μια αρθρωτή προσέγγιση-διαδικασία (modular approach). Το αρθρωτό αυτό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τόσο τον κινητικό έλεγχο όσο και την κινητική μάθηση και απαιτεί προσαρμόσιμα εσωτερικά προς τα εμπρός προώθησης (φυγόκεντρα - κινητικές εντολές) και αντίστροφα μοντέλα (αισθητικής ανατροφοδότησης). Τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης (forward models) περιγράφουν την αιτιολογική σχέση ανάμεσα στα ερεθίσματα του συστήματος (κινητικές εντολές), προβλέποντας την αισθητική ανατροφοδότηση που θα προκύψει από αυτά (FM). Τα αντίστροφα μοντέλα (inverse models) (ελεγκτές) δημιουργούν την κινητική εντολή που θα προκαλέσει μια επιθυμητή αλλαγή στην κατάσταση, με δεδομένο ένα συγκεκριμένο πλαίσιο περιβάλλοντος. Κατά την κινητική μάθηση, τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης και τα αντίστροφα συνδυάζονται και είναι στενά συνδεδεμένα με ένα σήμα συγκεκριμένης αρμοδιότητας μέσα στις ενότητες του αρθρωτού συστήματος.

Με βάση τις θεωρητικές και υπολογιστικές μελέτες, προτάθηκε ότι το κεντρικό νευρικό σύστημα διεγείρει εσωτερικά τη συμπεριφορά του κινητικού συστήματος για το σχεδιασμό, τον έλεγχο και τη μάθηση. Ένα τέτοιο εσωτερικό μοντέλο "προς τα εμπρός προώθησης" είναι μια παρουσίαση του κινητικού συστήματος που χρησιμοποιεί την τρέχουσα κατάσταση του αλλά και την κινητική εντολή για να προβλέψει την επόμενη κατάσταση. Ο άνθρωπος δείχνει μια αξιοσημείωτη ικανότητα να παράγει με ακρίβεια την κατάλληλη κινητική συμπεριφορά κάτω από διαφορετικές και συχνά αβέβαιες συνθήκες του περιβάλλοντος. Μπορεί να εξετασθούν τα δεδομένα της συμπεριφοράς και τα οφέλη του αρθρωτού συστήματος, και προτείνεται μια νέα αρχιτεκτονική που βασίζεται σε πολλαπλά ζεύγη αντίστροφων (ελεγκτές) και προς τα εμπρός προώθησης (πρόβλεψης) μοντέλων. Σε κάθε ζεύγος, τα δύο αυτά μοντέλα είναι στενά συνδεδεμένα τόσο κατά τη μάθηση όσο και στην εκτέλεση, διαδικασίες κατά τη διάρκεια των οποίων τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης καθορίζουν το πόσο συμβάλουν τα αντίστροφα μοντέλα, στην τελική κινητική εντολή. Η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί ταυτόχρονα να μάθει τα πολλαπλά αντίστροφα μοντέλα που είναι απαραίτητα για τον έλεγχο, καθώς και το πώς να επιλέγονται τα αντίστροφα μοντέλα, κατάλληλα για ένα δεδομένο περιβάλλον.

Με άλλα λόγια, από τη θεωρητική άποψη επάνω στα μοντέλα του κινητικού ελέγχου, όταν χρησιμοποιούνται τα αντίστροφα μοντέλα σε συνδυασμό με τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης, τότε το φυγόκεντρο αντίγραφο της παροχής της κινητικής εντολής από το αντίστροφο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ερέθισμα για το προς τα εμπρός μοντέλο, έτσι ώστε να γίνουν οι περαιτέρω προβλέψεις. Ας πάρουμε για παράδειγμα τη σύλληψη ενός συγκεκριμένου αντικειμένου, συγκεκριμένου μεγέθους, βάρους και απόστασης. Η κίνηση θα ξεκινήσει με τη μεταφορά του βραχίονα προς το συγκεκριμένο αντικείμενο. Εκτός όμως από την προσέγγιση ενός αντικειμένου με το βραχίονα, η άκρα χείρα θα πρέπει να ελεγχθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε αυτή να συλλάβει το αντικείμενο. Επομένως, το φυγόκεντρο αντίγραφο της κινητικής εντολής της κίνησης του βραχίονα μπορεί να αποτελέσει το ερέθισμα για το μοντέλο που προωθείται προς τα εμπρός, έτσι ώστε να υπολογίσει την τροχιά που προβλέπεται για το βραχίονα, προκειμένου να ολοκληρωθεί η συγκεκριμένη σύλληψη. Με αυτές τις πληροφορίες, ο κεντρικός "ελεγκτής" μπορεί τότε να δημιουργήσει την κατάλληλη κινητική εντολή που να "υπαγορεύει" στο χέρι να κάνει τη σύλληψη του αντικειμένου. Προταθεί ότι εάν αυτό ισχύει, εφόσον αποτελεί μια θεωρητική άποψη, ο συνδυασμός αυτός των δύο μοντέλων, του αντιστρόφου και της προς τα εμπρός προώθησης, θα επιτρέψει στο ΚΝΣ να αναλάβει την επιθυμητή δράση (να φθάσει δηλαδή το αντικείμενο με το βραχίονα), να ελέγξει με ακρίβεια την προσέγγιση του αντικειμένου (σχεδιά-

ζονται την ακριβή πορεία και τροχιά του μέλους) και στη συνέχεια, να ελέγξει με ακρίβεια το χέρι που πρόκειται να κάνει τη σύλληψη του συγκεκριμένου αντικειμένου. Ίσως αυτό θα αποτελούσε θέμα μελέτης και κυρίως δημιουργίας ένας μαθηματικού μοντέλου που θα υλοποιούσε και θα καθόριζε τις μεταβλητές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν, κεντρικά και περιφερικά, το τελικό αποτέλεσμα.

3-2-8. Υπόθεση του μοντέλο ελάχιστης απόκλισης

Μια σημαντική πρόσφατη πρόοδος στην υπολογιστική θεωρία του κινητικού ελέγχου είναι το “μοντέλο ελάχιστης απόκλισης” (minimum variance model). Αυτό ενσωματώνει δύο διαφορετικές και αμφισβητούμενες προσεγγίσεις του προγραμματισμού της τροχιάς της κίνησης, γεγονός που υποδηλώνει έντονα ότι και τα δύο, τα κινηματικά και τα δυναμικά εσωτερικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό κίνησης αλλά και του ελέγχου της.

Τα μοντέλα της κίνησης του ανθρώπου από την υπολογιστική νευροεπιστήμη προσφέρει ένα σημείο έναρξης για τη δημιουργία ενός συστήματος που θα μπορούσε να προκαλέσει εύκαμπτες και προσαρμοστικές κινήσεις σε ένα ρομποτικό σύστημα. Η υπόθεση του “μοντέλου ελάχιστης απόκλισης” και οι επεκτάσεις της αποτέλεσαν τη βάση μιας τέτοιας λογικής (καταλληλότητα της κίνησης με την παρουσία θορύβου που εξαρτάται από το σήμα).

3-2-9. Θεωρία προσαρμοστικού ελέγχου (Adaptive Control theory)

Με την παραδοχή ότι μπορεί να αποκτηθούν νέα μοντέλα και αυτά που προϋπάρχουν μπορούν να επικαιροποιηθούν και ενημερωθούν κατάλληλα, είναι σημαντικό το φυγόκεντρο αντίγραφο για τον προσαρμοστικό έλεγχο μιας κινητικής δραστηριότητας. Καθ' όλη τη διάρκεια της κινητικής δραστηριότητας, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένα φυγόκεντρο αντίγραφο τροφοδοτείται σε ένα μοντέλο προς τα εμπρός τροφοδότησης, που είναι γνωστό ως δυναμικός προγνωστικός παράγοντας, η παροχή του οποίου επιτρέπει την πρόβλεψη του κινητικού αποτελέσματος. Όταν εφαρμόζονται οι τεχνικές της θεωρίας του προσαρμοστικού ελέγχου στο κινητικό έλεγχο, χρησιμοποιείται ένα φυγόκεντρο αντίγραφο σε έμμεσα σχήματα ελέγχου σαν παροχή του μοντέλου αναφοράς.

Τα εσωτερικά μοντέλα και ο προσαρμοστικός έλεγχος είναι εμπειρικά και μαθηματικά παραδείγματα που έχουν εξελιχθεί ξεχωριστά για να περιγράψει τις διαδικασίες του κινητικού ελέγχου και της μάθησης, τόσο στα συστήματα του εγκεφάλου όσο και των συστημάτων της μηχανικής. Τα δύο αυτά παραδείγματα μπορεί να συσχετισθούν με σκοπό να δημιουργηθεί ένα ενιαίο θεωρητικό πλαίσιο που ωφελήσει ουσιαστικά και τους δύο τομείς.

Προτείνεται ότι η κλασική θεωρία του σημείου ισορροπίας του ελέγχου της αντίστασης κατά την κίνηση του βραχίονα είναι ανάλογη με το συνεχή προγραμματισμό-κέρδους ή υψηλού κέρδους προσαρμοστικού έλεγχου μέσα ή κατά της κίνηση, αντίστοιχα, και ότι η προτεινόμενη πρόσφατα υπόθεση των αντίστροφων εσωτερικών μοντέλων είναι παρόμοιο με την προσαρμοστική ολίσθηση που αρχικά εισήχθη για τον έλεγχο της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα. Η αρχιτεκτονική των αρθρωτών εσωτερικών μοντέλων, που αναφέρθηκαν, για πολλαπλές κινητικές δραστηριότητες, είναι μια μορφή προσαρμοστικού έλεγχου πολλαπλών προτύπων. Το διεπισημονικό αυτό πλαίσιο θα μπορούσε να διευκολύνει την πειραματική αποσαφήνιση των μηχανισμών των εσωτερικών μοντέλων στα αισθητικοκινητικά συστήματα και την αντίστροφη μηχανική των νευρωνικών αυτών μηχανισμών σε νέα παραδείγματα προσαρμοστικού έλεγχου που προσομοιάζουν τον εγκέφαλο, στο μέλλον.

Η έννοια των εσωτερικών μοντέλων στην αισθητικοκινητική ολοκλήρωση έχει ήδη αναλυθεί με τις ανάλογες θεωρίες. Όπως αναφέρθηκε, το εσωτερικό μοντέλο είναι μια υποθετική κεντρική νευρική αναπαράσταση της κινηματικής της κίνησης, η οποία πιστεύεται ότι αποτελούν τη βάση της αξιοσημείωτης ικανότητας του νευρικού συστήματος να διακρίνει άγνωστο ή ακαθόριστες αλλαγές στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, τα “προς τα εμπρός” και τα “αντίστροφα” εσωτερικά μοντέλα που αναφέρθηκαν, ανακατασκευάζουν αντίστοιχα τις άμεσες και αντίστροφες δυναμικές του κινητικού συστήματος. Το αιθουσαίο σύστημα υπολογίζει τις διφορούμενες καταστάσεις του συστήματος με ένα εσωτερικό μοντέλο που συμμορφώνεται με τους φυσικούς νόμους της μηχανικής. Έτσι η μελέτη των εσωτερικών μοντέλων στους τομείς αυτούς έχει ρίξει πολύ φώτα σχετικά με τους μηχανισμούς της αισθητικοκινητικής ολοκλήρωσης και της κινητικής μάθησης στον εγκέφαλο.

Ενώ είναι μια νέα ιδέα από μόνη της, το παράδειγμα του εσωτερικού μοντέλου από πολλές απόψεις θυμίζει την κλασική προσαρμοστική θεωρία ελέγχου, στον τομέα της μηχανικής. Η μελέτη του προσαρμοστικού ελέγχου για πρώτη φορά εφαρμόστηκε στο σχεδιασμό των αυτόματων πιλότων για αεροσκάφη υψηλής απόδοσης που λειτουργούν σε ευρύ φάσμα ταχύτητας και ύψους. Η δυναμική του αεροσκάφους θα μπορούσε να αλλάξει δραματικά σε αυτές τις συνθήκες χρήσης, από όπου και η ανησυχία για τον προσαρμοστικό έλεγχο. Ο έλεγχος αυτός μπορεί να οριστεί ως ένα σύστημα που έχει ένα ελεγκτή με ρυθμιζόμενες παραμέτρους και ένα μηχανισμό για τη ρύθμιση και προσαρμογή των παραμέτρων αυτών. "Προσαρμογή" για ένα άτομο σημαίνει να αλλάξει τον εαυτό του, ώστε η συμπεριφορά του ατόμου αυτού να είναι σύμφωνη με τις νέες ή τις τροποποιημένες συνθήκες. Μια παρόμοια δυνατότητα μιμείται την ικανότητα μάθησης σε πολλά αισθητικοκινητικά συστήματα. Το παράδειγμα του εσωτερικού μοντέλου προσπαθεί να αναδείξει έναν τέτοιο μηχανισμό.

νισμό μάθησης από την άποψη της αισθητικοκινητικής ολοκλήρωσης ενώ θεωρία του προσαρμοστικού ελέγχου αντιμετωπίζει ένα αφηρημένο πρόβλημα μάθησης γενικά, βασισμένο στη μαθηματική ανάλυση. Από την συμπεριφериολογική πλευρά, οι όροι “μάθηση” και “προσαρμογή” αναφέρονται υποδηλώνοντας, αντίστοιχα, ενεργό ή εκούσια δημιουργία νέων δράσεων σε αντίθεση με την παθητική ή ακούσια προσαρμογή σε ένα νέο περιβάλλον. Δηλαδή η “μάθηση” είναι μια ενεργός και εκούσια διαδικασία ενώ η “προσαρμογή” μια παθητική και ακούσια. Τέτοια σημασιολογική διάκριση είναι λιγότερο σημαντική στο πλαίσιο της μηχανικής, ωστόσο, συχνά οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται εναλλακτικά.

Η μελέτη του προσαρμοστικού ελέγχου έχει εξελιχθεί σε ισχυρή μαθηματική βάση για το σχεδιασμό και την ανάλυση των εξελιγμένων συστημάτων μάθησης. Από την άλλη πλευρά, η πρόσφατη μελέτη των εσωτερικών μοντέλων προσφέρει έναν πλούσιο εμπειρικό χαρακτηρισμό των σύμπλοκων μη γραμμικών φυσιολογικών συστημάτων, τα οποία μπορεί να μην επιδέχονται πάντοτε την αυστηρή μαθηματική ερμηνεία. Εάν θα μπορούσε να γίνει μια σαφής σύνδεση των εσωτερικών μοντέλων και της θεωρίας του προσαρμοστικού ελέγχου και μεταξύ των διάφορων εσωτερικών μοντέλων που αναφέρονται στα συστήματα αισθητικοκινητική, θα βοηθούσε πολύ σημαντικά το πεδίο του κινητικού ελέγχου.

3-2-9-α. Διόρθωση λάθους, αισθητική πρόβλεψη

και προσαρμογή στον κινητικό έλεγχο

Ο κινητικός έλεγχος πέρα των άλλων, είναι η μελέτη του πώς το άτομο κάνει ακριβείς κινήσεις που επικεντρώνονται σε ένα συγκεκριμένο στόχο. Με βάση τη λογική αυτή, αντιμετωπίζονται δύο προβλήματα που θα πρέπει το κινητικό σύστημα να επιλύσει προκειμένου να επιτευχθεί ο συγκεκριμένος έλεγχος. (EC) Το πρώτο πρόβλημα είναι ότι η αισθητική ανατροφοδότηση παρουσιάζει σοβαρό θόρυβο και είναι καθυστερημένη, γεγονός που μπορεί να κάνει τις κινήσεις ανακριβείς και ασταθείς. Το δεύτερο πρόβλημα είναι ότι η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην κινητική εντολή και την κίνηση που αυτή παράγει είναι μεταβλητή, καθώς μπορεί να αλλάζουν τόσο το σώμα όσο και το περιβάλλον.

Μια λύση σε αυτό είναι να δημιουργηθούν προσαρμοστικά εσωτερικά μοντέλα του σώματος και τον περιβάλλοντα κόσμου. Οι προβλέψεις των συγκεκριμένων εσωτερικών μοντέλων, που όπως αναφέρθηκε ταυτίζονται με τα μοντέλα της προς τα εμπρός προώθησης επειδή μετατρέπουν τις κινητικές εντολές (φυγόκεντρες) σε αισθητικό αποτέλεσμα (κεντρομόλο), μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για την δια βίου παραγωγή υπολογισμένων κινήσεων, όσο και για τη βελτίωση της ικανότητας του αισθητικού συστήματος για να εκτιμά την κατάσταση του σώματος και του κόσμου που το περιβάλλει. Τα προς τα εμπρός ε-

σωτερικά μοντέλα είναι χρήσιμα μόνο εάν προκαλούν αντικειμενικές προβλέψεις. Τα στοιχεία δείχνουν ότι τα συγκεκριμένα μοντέλα και οι διαδικασίες που προέρχονται από την ολοκληρωμένη λειτουργία τους εξακολουθούν να υπολογίζονται μέσα από την κινητική προσαρμογή: η μάθηση καθοδηγείται από τα λάθη της αισθητικής πρόβλεψης.

3-2-10. Θεωρία του βέλτιστου ελέγχου ανατροφοδότησης

Ένα από τα κεντρικά προβλήματα στην κατανόηση του κινητικού ελέγχου είναι να ερμηνευτεί πώς τόσοι πολλοί βαθμοί ελευθερίας, με την έννοια της εμβιομηχανικής, μπορεί να συντονιστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτύχουν ένα λειτουργικό κινητικό στόχο. Μια ιδιαίτερα αινιγματική πτυχή του συντονισμού είναι ότι οι στόχοι της συμπεριφοράς επιτυγχάνονται με αξιοπιστία και δυνατότητα αναπαραγωγής και επανάληψης με κινήσεις που σπάνια έχουν αναπαραχθεί με όλες τις λεπτομέρειές τους. Τα θεωρητικά πλαίσια που υπάρχουν τονίζουν είτε την επίτευξη του στόχου είτε τον εμπλουτισμό της κινητικής μεταβλητότητας, αποτυγχάνουν όμως να συμβιβάσουν και τα δύο.

Με βάση αυτά, προτείνεται μια εναλλακτική θεωρία για τον κινητικό έλεγχο που βασίζεται κυρίως στην άποψη του βέλτιστου ελέγχου ανατροφοδότησης (optimal feedback control). Υποστηρίζεται ότι η βέλτιστη στρατηγική για την αντιμετώπιση της ασάφειας και αβεβαιότητας της κίνησης είναι να επιτρέψει τη μεταβλητότητα σε πολλαπλές διαστάσεις (ανεξάρτητα της δραστηριότητας). (BFB). Η στρατηγική αυτή δεν ενισχύει μια επιθυμητή τροχιά, αλλά χρησιμοποιεί την διαδικασία της ανατροφοδότησης με πιο έξυπνο τρόπο, διορθώνοντας μόνον εκείνες τις αποκλίσεις που παρεμβαίνουν στους στόχους συγκεκριμένης δραστηριότητας. Από αυτό το πλαίσιο, διάφορες παράμετροι της δραστηριότητας που εκτελείται αναδύονται και προκύπτουν περισσότερο φυσικά, όπως είναι η μεταβλητότητα που περιορίζεται από τη δράση, οι διορθώσεις που κατευθύνονται στο στόχο, οι κινητικές συνέργειες, οι παράμετροι που ελέγχονται, η απλούστευση των κανόνων και οι διακριτοί τρόποι συντονισμού. Παρουσιάζουμε τα πειραματικά αποτελέσματα από μια σειρά εργασιών κινητήρα για να υποστηρίξουν αυτή τη θεωρία.

Όπως αναφέρθηκε από την αρχή, οι ειδικευμένες κινητικές συμπεριφορά, από το χαριτωμένα άλμα μιας μπαλαρίνας μέχρι τη βολή με ακρίβεια στο μπέιζμπολ, για τα άτομα που τις εκτελούν, φαίνονται εύκολες και χωρίς ιδιαίτερη προσπάθεια. Αυτές όμως αντανakλούν μια στενή αλληλεπίδραση ανάμεσα στις πολύπλοκες μηχανικές ιδιότητες του σώματος και του ελέγχου από ένα κύκλωμα υψηλού βαθμού συνεργασίας στο κεντρικό νευρικό σύστημα. Μια σημαντική πρόκληση για την κατανόηση της κινητικής λειτουργίας είναι να συνδεθούν τα τρία αυτά επίπεδα του κινητικού συστήματος, που είναι η κινητική συμπερι-

φορά, η εμβιομηχανική των άκρων και φυσικά ο νευρικός έλεγχος όλων αυτών. Η θεωρία του βέλτιστου ελέγχου ανατροφοδότησης θα μπορούσε να προσφέρει τη απαραίτητη σύνδεση σε όλα αυτά τα επίπεδα του κινητικού συστήματος και βοηθούν στην ερμηνεία πώς ο πρωτογενής κινητικός φλοιός και άλλες περιοχές του εγκεφάλου (όπως είναι τα βασικά γάγγλια, ο μεσεγκέφαλος, η παρεγκεφαλίδα κά) σχεδιάζουν και ελέγχουν την κίνηση.

3-2-11. Συστημική Θεωρία

Ακόμη πριν από την εισαγωγή της άποψης των κινητικών προγραμμάτων, ο Ρώσος ερευνητής Nikolai Bernstein, διερεύνησε το νευρικό σύστημα και το σώμα του ανθρώπου σαν ένα σύνολο με έναν νέο τρόπο. Οι προηγούμενοι νευροφυσιολόγοι εστίαζαν κυρίως στις απόψεις του νευρωνικού ελέγχου της κίνησης. Ο Bernstein αναγνώρισε ότι δεν είναι δυνατόν να κατανοηθεί πλήρως ο νευρικός έλεγχος της κίνησης χωρίς να κατανοηθούν τόσο τα χαρακτηριστικά του συστήματος στο οποίο εκτελείται η συγκεκριμένη κίνηση, όσο και οι εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις που εξασκούνται επάνω στο σώμα.

Με βάση τα χαρακτηριστικά του συστήματος όπου ολοκληρώνεται η κίνηση, θεώρησε το σύνολο του σώματος σαν ένα μηχανικό σύστημα, με μάζα, που υπόκειται τόσο σε εξωτερικές δυνάμεις, όπως είναι η βαρύτητα, όσο και σε εσωτερικές δυνάμεις, στις οποίες περιλαμβάνονται η αδράνεια και οι δυνάμεις που παράγονται από τη δράση των μυών και την ίδια την κίνηση. Όσο εκτελείται μια κίνηση, τα μεγέθη των δυνάμεων που εξασκούνται επάνω στο σώμα θα αλλάζουν σαν αποτέλεσμα των αλλαγών της δυναμικής και κινητικής ενέργειας. Έτσι, ο Bernstein έδειξε ότι οι ίδιες κεντρικές κινητικές εντολές θα μπορούσαν να είχαν προκαλέσει διαφορετικές κινήσεις, λόγω της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στις εξωτερικές δυνάμεις και στις παραλλαγές των αρχικών καταστάσεων. Για τους ίδιους ακριβώς λόγους, διαφορετικές εντολές θα μπορούσαν να προκαλέσουν την ίδια κίνηση. Υπέθεσε ότι ο έλεγχος των ολοκληρωμένων κινήσεων κατανέμεται σε διάφορα υποσυστήματα που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και λειτουργούν συντονισμένα για να επιτύχουν την κίνηση. Αυτό αποτέλεσε τη βάση για την άποψη του κατανεμημένου μοντέλου του κινητικού ελέγχου.

Γιατί ουσιαστικά η προσέγγιση του ελέγχου της κίνησης του Bernstein διαφέρει από τις προσεγγίσεις των αντανακλαστικών, της ιεραρχίας και των κινητικών προγραμμάτων; Η διαφορά βρίσκεται στο τρόπο που αντιμετωπίζεται συνολικά η κίνηση, μέσα από τις ερωτήσεις που γίνονται σχετικά με τον οργανισμό σε καταστάσεις που αλλάζουν συνεχώς. Οι απαντήσεις ήταν διαφορετικές από προηγούμενους προβληματισμούς σχετικά με τη φύση και την αιτία της κίνησης, εφόσον οι ερωτήσεις έγιναν σε διαφορετική βάση. Πως δηλαδή

μπορεί το σώμα σαν ένα μηχανικό σύστημα να επηρεάσει τη διαδικασία του ελέγχου ή πως μπορεί η αρχική κατάσταση να επηρεάσει τις ιδιότητες της κίνησης;

Στην περιγραφή του σώματος σαν ένα μηχανικό σύστημα, ο Bernstein σημείωσε ότι έχουμε πολλούς βαθμούς ελευθερίας που πρέπει να ελεγχθούν. Για παράδειγμα, έχουμε πολλές αρθρώσεις, που όλες κάμπτουν ή εκτείνουν και μερικές από αυτές μπορεί και να περιστρέφουν, ενώ άλλες σταθεροποιούν. Αυτό περιπλέκει απίστευτα τον έλεγχο της κίνησης. Έλεγε, "...ο συντονισμός της κίνησης είναι η διαδικασία που τελειοποιεί πολλούς βαθμούς ελευθερίας του οργανισμού που κινείται..". Με άλλα λόγια, αναφέρεται στο σώμα, μετατρέποντάς το σε ένα ελεγχόμενο σύστημα.

Σα μια λύση για το πρόβλημα των βαθμών ελευθερίας, ο Bernstein υπέθεσε ότι υπάρχει ο ιεραρχικός έλεγχος για να απλοποιήσει τον έλεγχο των πολλαπλών βαθμών ελευθερίας του σώματος. Με τον τρόπο αυτόν, τα υψηλότερα επίπεδα του νευρικού συστήματος ενεργοποιούν τα χαμηλότερα. Τα χαμηλότερα επίπεδα ενεργοποιούν τις συνέργειες, ή τις ομάδες των μυών που περιορίζονται να λειτουργούν μαζί σαν μια ομάδα. Μπορούμε να σκεφτόμαστε το ρεπερτόριο των κινήσεών μας σαν τις προστάσεις που γίνονται από πολλές λέξεις. Τα γράμματα μέσα στις λέξεις είναι οι μύες, οι λέξεις είναι οι συνέργειες και οι προστάσεις είναι οι ίδιες οι κινητικές δράσεις μας.

Έτσι, ο Bernstein πίστευε ότι οι συνέργειες παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην επίλυση του προβλήματος των βαθμών ελευθερίας. Αυτό επιτυγχάνεται περιορίζοντας ορισμένους μυς ώστε αυτοί να εργάζονται μαζί, σαν μια μονάδα. Υπέθεσε ότι οι συνέργειες που υπάρχουν, κάνουν πιθανές όλες σχεδόν τις κινήσεις που γνωρίζουμε. Απλές καθημερινές δραστηριότητες θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα των συνεργειών αυτών όπως για παράδειγμα η αναπνοή, η όρθια στάση ή η βάδιση.

3-2-11-α. Η συστημική θεωρία στην ανάπτυξη της κίνησης

Η συστημική θεωρία ή δυναμική θεωρία των συστημάτων (Dynamic Systems Theory) είναι μια θεωρία της κινητικής ανάπτυξης που μπορεί να εφαρμοστεί σε πολλές περιπτώσεις διαταραχής του ελέγχου ή της ανάπτυξης της κίνησης, όπως τα παιδιά με εγκεφαλική παράλυση. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να κατανοηθεί πώς αναπτύσσεται και εξελίσσεται η κίνηση, πως αυτή αλλάζει και μπορεί να επηρεάσει την ετοιμότητα ενός παιδιού ή ενήλικα ώστε με εσωτερικές διαδικασίες ελέγχου να αποκτηθούν νέες κινητικές ικανότητες.

Η θεωρία αυτή προτείνει ότι η κίνηση παράγεται από την αλληλεπίδραση πολλαπλών υποσυστημάτων στο ίδιο το άτομο, τη δραστηριότητα και το περιβάλλον. Όλα τα υποσυστήματα αυτά αυτο-οργανώνονται αυτόματα ή συνεργάζονται μεταξύ τους και αλλη-

λεπιδρούν με ένα συγκεκριμένο τρόπο, προκειμένου να παράγουν την πιο αποτελεσματική κινητική λύση για κάθε συγκεκριμένη δραστηριότητα. Η συστημική θεωρία προτείνει, επίσης, ότι στη διαδικασία αυτή, δεν είναι κάποιο από τα υποσυστήματα πιο σημαντικό από τα άλλα. Έτσι, όταν αναφερόμαστε στη συστημική θεωρία ελέγχου της κίνησης θα πρέπει αυτή να θεωρεί, να εξετάζει και να αξιολογεί όλες τις πλευρές της δραστηριότητας, του ατόμου και του περιβάλλοντος, όταν γίνεται προσπάθεια εκτέλεσης αλλά κυρίως μάθησης μιας νέας κινητικής δράσης (βλ σχήμα 2-2).

Σύμφωνα με τη συστημική θεωρία, η ανάπτυξη αποτελεί μια μη-γραμμική διαδικασία. Αυτό υποδηλώνει ότι η κίνηση ουσιαστικά δεν έχει αναπτυχθεί με ένα συνεχή τρόπο και σταθερό ρυθμό. Είναι πιθανόν μια μικρό, αλλά ουσιαστική αλλαγή σε ένα υποσύστημα μπορεί να προκαλέσει την μετατόπιση όλου του συστήματος, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια νέα κινητική συμπεριφορά. Αυτή η φάση μετατόπισης, ή μεταβατική περίοδος είναι πολύ κρίσιμη για την εφαρμογή της συστημικής θεωρίας στην κινητική ανάπτυξη.

3-2-11-β. Περιορισμοί της συστημικής θεωρίας

Υπάρχουν περιορισμοί στην προσέγγιση της θεωρίας των συστημάτων, του Bernstein; Όπως φαίνεται, οι απόψεις που υποστηρίζει έχουν ευρύτητα. Εφόσον η θεωρία αυτή λαμβάνει υπόψη την, όχι μόνον τη συμβολή του νευρικού συστήματος στην παραγωγή και έλεγχο της κινητικής δράσης, αλλά και τη συμβολή των μυϊκών ομάδων καθώς και των δυνάμεων της βαρύτητας και της αδράνειας, προβλέπει την πραγματική κινητική συμπεριφορά πολύ καλύτερα από ότι άλλες θεωρίες. Βέβαια, όπως παρουσιάζεται, δεν εστιάζει τόσο έντονα στην αλληλεπίδραση του οργανισμού με το περιβάλλον, όπως συμβαίνει με τις άλλες θεωρίες του κινητικού ελέγχου.

3-2-12. Θεωρία δυναμικής δράσης

Η θεωρία δυναμικής δράσης (dynamical action theory) για τον κινητικό έλεγχο, παρατηρεί το άτομο που κινείται από μια νέα πλευρά. Η άποψη προέρχεται από τις ευρύτερες μελέτες των συνεργειών μέσα στο φυσικό κόσμο, υποβάλλοντας ουσιαστικούς προβληματισμούς, όπως πως τίθενται σε λειτουργία τα πρότυπα και η οργάνωση που παρατηρούμε στον φυσικό κόσμο από τα μέρη που τα αποτελούν; Πως τα συστήματα αυτά αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου; Για παράδειγμα, η καρδιά του ανθρώπου αποτελείται από χιλιάδες μυϊκών κυττάρων που λειτουργούν μαζί, προκειμένου να προσφέρουν τον καρδιακό ρυθμό και τη λειτουργία αντλίας της καρδιάς. Πως το σύστημα αυτό των χιλιάδων βαθμών ελευθερίας (κάθε κύτταρο προσθετικά συνεισφέρει ένα νέο βαθμό ελευθερίας στο σύστημα) ελαττώ-

νεται σε ένα μόνον, μερικών βαθμών ελευθερίας, έτσι ώστε όλα τα καρδιακά κύτταρα να λειτουργούν σε μια μονάδα; Το φαινόμενο αυτό, δεν παρατηρείται μόνον στον καρδιακό μυ, αλλά και σε άλλα φυσικά συστήματα, όπως ο σχηματισμός των σύννεφων ή της κίνησης του νερού, καθώς αυτό μετατρέπεται από πάγο σε υγρό ή σε ατμό. Αυτό υποδηλώνει την αρχή της αυτο-οργάνωσης, που αποτελεί την ουσιαστική αρχή των δυναμικών συστημάτων.

Σύμφωνα με τη θεωρία της δυναμικής δράσης υποστηρίζεται ότι όταν ένα σύστημα που αποτελείται από ξεχωριστά τμήματα (υποσυστήματα) λειτουργούν μαζί, τα τμήματα που το αποτελούν συμπεριφέρονται συλλογικά, με έναν μεθοδικό τρόπο. Για να πραγματοποιηθεί μια συντονισμένη δράση σε ένα τέτοιο σύστημα, δεν υπάρχει ανάγκη για οδηγίες ή εντολές από υψηλότερα κέντρα. Η αρχή αυτή, όταν εφαρμόζεται στον κινητικό έλεγχο υπονοεί ότι η κίνηση αναδύεται σαν αποτέλεσμα στοιχείων που αλληλεπιδρούν, χωρίς την ανάγκη ειδικών εντολών ή κινητικών προγραμμάτων στο νευρικό σύστημα.

Η δυναμική δράση ή η προοπτική των συνεργειών προσπαθεί επίσης να βρει μαθηματικές περιγραφές και μοντέλα των αυτό-οργανωμένων συστημάτων. Τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά που εξετάζονται σε ένα τέτοιο σύστημα είναι αυτά που χαρακτηρίζονται από μη γραμμικότητα. Τι είναι μη γραμμική συμπεριφορά στο σύστημα αυτό; Είναι μια κατάσταση όπου όταν αλλάζει μια παράμετρος του συστήματος και φτάνει σε άλλη κρίσιμη τιμή, τότε όλο το σύστημα μεταφέρεται σε νέο πρότυπο συμπεριφοράς. Ένα παράδειγμα είναι η βάδιση, όπου καθώς το άτομο βαδίζει όλο και πιο γρήγορα, υπάρχει ένα σημείο όπου μετά από αυτό θα μεταπέσει σε τρέξιμο. Εάν αναφερθούμε σε ζώο, καθώς αυτό συνεχίζει να τρέχει, υπάρχει ένα δεύτερο σημείο όπου το τρέξιμο θα μεταπέσει σε καλπασμό.

3-2-12-α. Περιορισμοί της θεωρίας δυναμικής δράσης

Η προσέγγιση αυτή βοηθά σημαντικά για να κατανοήσουμε τα στοιχεία που συμβάλουν στην ίδια την κίνηση ενώ δίνει μια άλλη κατεύθυνση στο ότι η κατανόηση της λειτουργίας του νευρικού συστήματος μεμονωμένα δεν μας επιτρέπει να προβλέψουμε την κίνηση. Βέβαια, ένας περιορισμός του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η υπόθεση ότι το νευρικό σύστημα μεμονωμένα έχει μάλλον έναν πιο υποβαθμισμένο ρόλο, από ότι του αποδίδουν οι άλλες θεωρίες, και ότι η σχέση που αναπτύσσεται ανάμεσα στο φυσικό σύστημα του ανθρώπου ή του ζώου και του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί, καθορίζει τη συμπεριφορά του. Η επικέντρωση και η σημασία της θεωρίας της δυναμικής δράσης γίνεται συνήθως στο επίπεδο της αλληλεπίδρασης αυτής και όχι στην κατανόηση της συνεισφοράς του νευρικού συστήματος στο συνολικό σύστημα.

3-2-13. Θεωρία παράλληλης κατανεμημένης επεξεργασίας

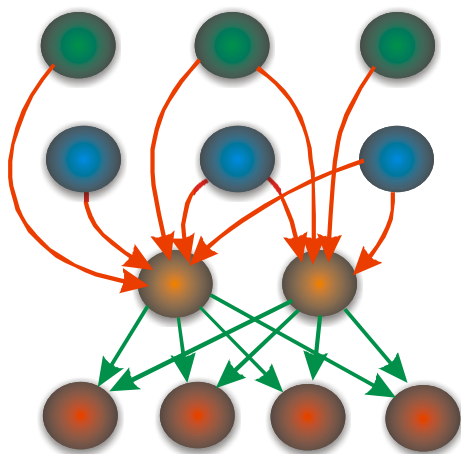
Η θεωρία της παράλληλης κατανεμημένης επεξεργασίας (parallel distributed processing theory - PDP) του κινητικού ελέγχου περιγράφει πως το νευρικό σύστημα επεξεργάζεται πληροφορίες για τη δράση. Η θεωρία αυτή χρησιμοποιήθηκε για να ερμηνεύσει πως μπορεί να αποκτηθούν νέες επιδεξιότητες, εφόσον κάνει προβλέψεις σχετική με τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται από το νευρικό σύστημα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των επίκτητων ή νέων επιδεξιοτήτων.

Η θεωρία της παράλληλης κατανεμημένης επεξεργασίας παραλληλίζεται με την τρέχουσα άποψη της νευροφυσιολογίας ότι η επεξεργασία πληροφοριών στο νευρικό σύστημα γίνεται μέσω: (α) σειριακής επεξεργασίας, δηλαδή, οι πληροφορίες επεξεργάζονται μέσω μιας απλής οδού, και (β) παράλληλης επεξεργασίας, δηλαδή, οι πληροφορίες επεξεργάζονται μέσω πολλαπλών οδών, οι οποίες επεξεργάζονται ταυτόχρονα την ίδια πληροφορία, αλλά με διαφορετικούς τρόπους.

Η νευρική επεξεργασία άρχισε να μοντελοποιείται με τη βοήθεια προγραμμάτων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή, που αναπτύχθηκαν με λεπτά κυκλώματα παρόμοια με αυτά των δικτύων του εγκεφάλου. Πώς όμως γίνεται η συγκεκριμένη μοντελοποίηση; Τα μοντέλα αυτά αποτελούνται από “στοιχεία” που συνδέονται μεταξύ τους σε ένα συγκεκριμένο κυκλώματα. Όπως ακριβώς και οι νευρικές συνάψεις, κάθε στοιχείο από αυτά μπορεί να επηρεάσει και να επηρεαστεί, θετικά ή αρνητικά, από τα άλλα στοιχεία του κυκλώματος. Επίσης, όπως ακριβώς συμβαίνει στη φυσιολογική νευρωνική συναπτική μετάδοση, κάθε στοιχείο μπορεί να εξασκεί στο επόμενο του, διαφορετικό μέγεθος θετικού ή αρνητικού αποτελέσματος. Κάθε στοιχείο επομένως αθροίζει ξεχωριστά, όλα τα εισερχόμενα θετικά και αρνητικά ερεθίσματα. Τα μοντέλα αυτά κατασκευάζονται σε δίκτυα κατά στιβάδες που περιέχουν στοιχεία ερεθισμάτων, ενδιάμεσες στιβάδες επεξεργασίας, που χαρακτηρίζονται ως κρυφές στιβάδες, και στοιχεία παροχής, όπως φαίνεται στο **σχήμα 3-6**. Οι στιβάδες αυτές είναι ισοδύναμες: (α) με τους αισθητικούς νευρώνες, (β) τους ενδιάμεσους νευρώνες και (γ) τους κινητικούς νευρώνες.

Ακριβώς όπως και στο νευρικό σύστημα, η αποτελεσματικότητα της εκτέλεσης στο σύστημα αυτό εξαρτάται από δύο παράγοντες: (α) το πρότυπο των συνδέσεων ανάμεσα στις στιβάδες και (β) η ισχύς των ξεχωριστών συνδέσεων. Η σημασία του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι ο ερευνητής μπορεί να καθορίσει ποιες είναι οι αποτελεσματικότερες συνδέσεις, έτσι ώστε να εκτελέσει μια ιδιαίτερη λειτουργία μέσω της τεχνικής της επαναπληροφόρησης. Με τη συγκεκριμένη τεχνική, καθορίζεται η πιο αποτελεσματική παροχή “από τη στιβάδα του κινητικού νευρώνα”. Η διαδικασία ξεκινά από μία τυχαία ομάδα ερε-

θισμάτων (επαναπληροφόρησης) προς το σύστημα. Το σύστημα στη συνέχεια υπολογίζει τη διαφορά ανάμεσα στην επιθυμητή και στην πραγματική δραστηριότητα της μονάδας παροχής. Η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική και στην επιθυμητή δραστηριότητα, χαρακτηρίζεται σαν λάθος. Το λάθος χρησιμοποιείται για να τροποποιήσει τις συνδέσεις ανάμεσα στα στοιχεία που έχουν παράγει το λάθος.



Σχήμα 3-6: Το μοντέλο της παράλληλης κατανομής επεξεργασίας που δείχνει τρεις στιβάδες ερεθίσματος, επεξεργασίας και παροχής που αντιστοιχεί στην αισθητική μονάδα στους ενδιάμεσους νευρώνες και στις κινητικούς νευρώνες.

Η διαδικασία “τρέχει” διαρκώς, παρόμοια με την επανάληψη μιας δραστηριότητας που εκτελείται ξανά και ξανά. Με τη δραστηριότητα αυτή, το σύστημα αυτό-διορθώνεται μέχρι να επιλύσει το πρόβλημα παροχής, δηλαδή τη διαφορά ανάμεσα στην πραγματική και στην επιθυμητή δραστηριότητα. Το μοντέλο προβλέπει διαδικασία τόσο στα συστήματα αντίληψης όσο και σε αυτά της δράσης. Για παράδειγμα, η θεωρία αυτή έχει χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση επεξεργασίας οπτικών ερεθισμάτων που μεσολαβούν στην ικανότητα αναγνώρισης των γραμμμάτων. Επιπρόσθετα, τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν πως μπορεί να υπολογιστούν οι σωστές γωνίες των αρθρώσεων που συνοδεύονται με την κίνηση ενός μέλους σε μια ιδιαίτερη θέση στο χώρο.

Η θεωρία αυτή είναι μοναδική για την ερμηνεία των νευρωνικών μηχανισμών που συνοδεύονται με τον κινητικό έλεγχο. Η θεωρία αυτή και τα μοντέλα που τη συνοδεύουν, έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή, αν και δεν αποτελούν ακριβές αντίγραφο του νευρικού συστήματος, έχουν όμως πολλές από τις ιδιότητες του νευρικού συστήματος. Έτσι, μπορεί να μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε πως το νευρικό σύστημα επιλύει ιδιαίτερα προβλήματα της κίνησης.

3-2-14. Θεωρίες που προσανατολίζονται στη δραστηριότητα

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία 50 χρόνια, υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός πληροφοριών επάνω στη βάση της κατασκευής του ΚΝΣ, που προέρχεται από τη νευροεπιστήμη. Πιστεύε-

ται ότι γνωρίζουμε αρκετά αλλά κατανοούμε πολύ λιγότερα. Δηλαδή, γνωρίζουμε αρκετά σχετικά με τα νευρωνικά κυκλώματα, αλλά πολύ λίγα σχετικά με τους νευρώνες που λειτουργούν μαζί για να επιτύχουν μια λειτουργία. Ο Peter Greene, ένας θεωρητικός βιολόγος, υπέθεσε ότι αυτό που χρειαζόταν στο πεδίο του κινητικού ελέγχου ήταν μια θεωρία προσανατολισμένη στη δραστηριότητα (task-oriented approach). Με τη “δραστηριότητα”, αναφερόταν στα θεμελιώδη προβλήματα που το ΚΝΣ απαιτούσε να επιλύσει προκειμένου να ολοκληρώσει μια κινητική δράση. Σύμφωνα με τον Greene, ένα παράδειγμα μιας θεμελιώδους δραστηριότητας έμφυτη στον κινητικό έλεγχο είναι το πρόβλημα των βαθμών ελευθερίας που περιγράφηκε από τον Bernstein.

Μια τέτοια θεωρία που προσανατολίζεται στη δραστηριότητα θα βοηθούσε να βρεθούν συμπεριφορές (που θα μπορούσαν να παρατηρηθούν) για να μετρηθεί η σχετικότητα τους αναφορικά με τα καθήκοντα που ο εγκέφαλος καλείται να εκτελέσει. Έτσι, η κατανόηση του κινητικού ελέγχου απαιτεί κάτι περισσότερο από μια κατανόηση απλά των νευρικών κυκλωμάτων. Απαιτεί κυρίως να κατανοηθούν τα προβλήματα που πρέπει να επιλύσει το ΚΝΣ, προκειμένου να ολοκληρώσει μια κινητική δραστηριότητα. Έτσι, μια θεωρητική προσέγγιση που προσανατολίζεται στη δραστηριότητα και μελετά τον κινητικό έλεγχο θα προσέφερε τη βάση για μια περισσότερο συνεκτική εικόνα του νευρικού συστήματος. Ο Greene υπέθεσε ότι μόλις οργανωθούν τα βασικά μιας δραστηριότητας σε μια συνεκτική εικόνα, τότε είναι πιθανόν να γνωρίζουμε λιγότερα αλλά να κατανοούμε περισσότερα.

Η προσανατολισμένη στη δραστηριότητα προσέγγιση του Greene, διαμορφώθηκε από τους Gordon και Horak. Σύμφωνα με την τροποποίησή της, η “δραστηριότητα” ορίζεται από πιο λειτουργικά θέματα. Δηλαδή, ποια θέματα ελέγχου είναι έμφυτα για την ολοκλήρωση των λειτουργικών δραστηριοτήτων, σε ένα σκόπιμο και ουσιαστικό περιβάλλον. Η προσανατολισμένη στη δραστηριότητα προσέγγιση αναγνωρίζει ότι ο στόχος του κινητικού ελέγχου είναι ο έλεγχος της ίδιας της κίνησης προκειμένου να ολοκληρωθεί μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, όχι η επεξεργασία της κίνησης για λόγους και μόνον κινησιολογικούς, (εκτός από συνήθεις περιπτώσεις, όπως ο χορός). Η συγκεκριμένη προσέγγιση υποθέτει ότι ο έλεγχος της κίνησης οργανώνεται γύρω από προσανατολισμένες στη λειτουργικότητα συμπεριφορά, όπως είναι η ισορροπία, η βάρδια ή η ομιλία.

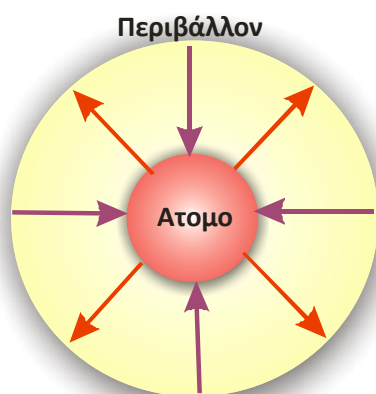
3-2-14-α. Περιορισμοί της Θεωρίας που προσανατολίζονται στη δραστηριότητα

Ο βασικός περιορισμός της θεωρίας προσανατολισμένης στη δραστηριότητα είναι η έλλειψη συμφωνίας σχετικά με το τι εννοείται ως θεμελιώδης δραστηριότητα του ΚΝΣ. Επιπρόσθετα, δεν μπορεί να υπάρξει συμφωνία σχετικά με ποιο είναι το ουσιαστικό στοιχείο που

ελέγχεται μέσα σε μια δραστηριότητα. Για παράδειγμα, ορισμένοι μελετώντας τον έλεγχο της στάσης πιστεύουν ότι ο ουσιαστικός στόχος για τον έλεγχο της στάσης είναι ο έλεγχος της θέσης της κεφαλής. Αντίθετα, άλλοι πιστεύουν ότι ο ουσιαστικός στόχος για τον έλεγχο της στάσης για την επιτυχία της σταθερότητας του σώματος είναι ο έλεγχος της θέσης του κέντρου βάρους.

3-2-15. Οικολογική θεωρία

Στα 1960, ο φυσιολόγος James Gibson, προσπάθησε να διερευνήσει τον τρόπο με τον οποίο το κινητικό μας σύστημα μας επιτρέπει να αλληλεπιδρούμε πιο αποτελεσματικά με το περιβάλλον, προκειμένου να ολοκληρωθεί μια συμπεριφορά που προσανατολίζεται στο στόχο. Η έρευνά του εστιάστηκε στο πως γίνεται η συλλογή των πληροφοριών από το περιβάλλον μας, που σχετίζονται με τις δράσεις μας και πως χρησιμοποιούμε τις πληροφορίες αυτές για να ελέγξουμε τις κινήσεις μας (σχήμα 3-7).



Σχήμα 3-7 : Η οικολογική θεωρία

Η άποψη αυτή επεκτάθηκε και διαμορφώθηκε κατάλληλα, παρέμεινε δε γνωστή σαν η οικολογική προσέγγιση του κινητικού ελέγχου (ecological theory). Υποθέτει ότι ο κινητικός έλεγχος εξελίσσεται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται το άτομο. Όσον αφορά τα ζώα, αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό ευκολότερα, μια η εξέλιξη των ζώων σύμφωνα με το περιβάλλον τους φαίνεται γίνεται σαφής, μετακινούμενα σε αυτό αποτελεσματικά προκειμένου να βρουν τροφή, να τρέξουν μακριά από τα αρπακτικά, να κτίσουν τις φωλιές τους ή να παίξουν. Αυτό που αποτελεί νεωτερισμό στην προσέγγιση αυτή, είναι ότι για πρώτη φορά γίνεται επικέντρωση στο πως οι δράσεις προσανατολίζονται στο περιβάλλον. Για αυτό απαιτούνται πληροφορίες από την επιθυμητή δράση μια και η οργάνωσή της είναι ειδική ως προς τη δραστηριότητα και ως προς το περιβάλλον στο οποίο εκτελείται.

Οι παλαιότερες απόψεις θεωρούσαν τον οργανισμό σαν ένα αισθητικοκινητικό σύστημα, ο Gibson υποστήριξε ότι για το ζώο δεν είναι τόσο σημαντική η αίσθηση, αλλά η αντίληψή του. Ειδικά, αυτό που χρειάζεται είναι η αντίληψη των περιβαλλοντικών παραγόντων που είναι σημαντικοί για την ολοκλήρωση της δραστηριότητας. Υποστήριξε ότι η αντίληψη εστιάζει στην ανίχνευση πληροφοριών από το περιβάλλον που είναι απαραίτητες για να πραγματοποιηθεί ο στόχος. Είναι επομένως σημαντικό να καθοριστεί πως το άτομο συλλέγει πληροφορίες από το περιβάλλον σχετικές με τη δράση, τι μορφή έχουν οι πληροφορίες αυτές, και πως αυτές χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουν και ελέγξουν την κίνηση.

3-2-15-α. Περιορισμοί της οικολογικής θεωρίας

Αν και η οικολογική άποψη έχει επεκτείνει τη γνώση μας σχετικά με την αλληλεπίδραση του οργανισμού με το περιβάλλον, έχει την τάση να προσδώσει μικρότερη έμφαση στη οργάνωση και λειτουργία του νευρικού συστήματος, το οποίο άλλωστε οδηγεί και στην αλληλεπίδραση αυτή. Έτσι, η επικέντρωση της μελέτης και έρευνας της άποψης αυτής μετατίθεται από την οργάνωση και λειτουργία του νευρικού συστήματος στην ενδιάμεση σχέση οργανισμού-περιβάλλοντος, δίνοντας ισότιμη βάση στη διερεύνηση του περιβάλλοντος και στις πληροφορίες που λαμβάνονται με επίκεντρο τη συγκεκριμένη κινητική συμπεριφορά.

3-2-16. Άποψη των νευρώνες καθρέπτης και η θεωρία της προσομοίωσης

Πρόσφατα έχει ανακαλυφθεί μια νέα κατηγορία οπτικοκινητικών νευρώνων στον προκινητικό φλοιό του πιθήκου: οι νευρώνες καθρέπτης (mirror neurons). Από καταγραφές που έγιναν στα ζώα αυτά διαπιστώθηκε ότι οι νευρώνες αυτοί ανταποκρίνονται τόσο όταν πραγματοποιείται μια συγκεκριμένη δραστηριότητα από το ίδιο το ζώο, όσο και όταν η ίδια δραστηριότητα, εκτελείται από άλλο ζώο. Οι νευρώνες-καθρέφτες φαίνεται να σχηματίζουν ένα φλοιϊκό σύστημα που αντιπαραβάλλει την παρακολούθηση και την εκτέλεση μιας κινητικής δράσης που σχετίζεται με το στόχο.

Τα πειραματικά δεδομένα προτείνουν ότι ένα παρόμοιο σύστημα αντιστοίχισης και αντιπαραβολής υπάρχει και στον άνθρωπο. Ποιος θα μπορούσε να είναι ο λειτουργικός ρόλος ενός τέτοιου συστήματος αντιστοίχισης στον άνθρωπο; Μια πιθανή λειτουργία είναι να επιτρέπει σε έναν οργανισμό να εντοπίσει συγκεκριμένες ψυχικές καταστάσεις που παρατηρούνται από άλλα άτομα. Η λειτουργία αυτή θα μπορούσε να είναι μέρος ή ένας πρόδρομος, μιας πιο γενικής ικανότητας ανάγνωσης του νου. Προτάθηκαν δύο διαφορετικές εκθέσεις της ανάγνωσης του νου. Σύμφωνα με τη “θεωρία του νου” (theory theory), οι νοητικές καταστάσεις παρουσιάζονται ως τεκμαιρόμενες υποθέσεις μιας απλοϊκής θεωρίας.

Σύμφωνα με τη θεωρία “προσομοίωσης” (simulation theory), οι νοητικές καταστάσεις άλλων ανθρώπων παρουσιάζονται με την υιοθέτηση της πλευράς τους: από την παρακολούθηση ή αντιπαραβολή της κατάστασής τους με συντονισμό νε τη δική τους. Η δραστηριότητα των νευρώνων-καθρέπτη, καθώς και το γεγονός ότι οι παρατηρητές υφίστανται κινητική διευκόλυνση στις ίδιες ακριβώς μυϊκές ομάδες, με αυτές που χρησιμοποιούν οι στόχοι, είναι τα ευρήματα που συμφωνούν με τη θεωρία της προσομοίωση, αλλά δεν φαίνεται να προβλέπεται από τη θεωρία του νου.

Το σύστημα των κινητικών νευρώνων καθρέπτη υποστηρίζει τη μίμηση και την κατανόηση του στόχου σε τυπικούς ενήλικες, ενώ χρησιμεύουν για να συσχετίζουν τις παρατηρούμενες δράσεις με την κινητική κωδικοποίηση. Οι νευρώνες αυτοί εμφανίζουν δράση σε σχέση τόσο με συγκεκριμένες ενέργειες που εκτελούνται από το ίδιο το άτομο όσο και αντιπαραβάλλοντας ενέργειες που εκτελούνται από άλλους, παρέχοντας μια πιθανή γέφυρα μεταξύ των εγκεφάλων. Υπάρχουν συστήματα νευρώνων καθρέπτες χωρίς μιμητικές ικανότητες και προτείνετε ότι προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για να εκτελέσουν κοινωνικές γνωστικές λειτουργίες, έχουν αναπτυχθεί εξελιγμένα φλοιώδη νευρωνικά συστήματα, στα οποία η λειτουργία των νευρώνων καθρέπτες λειτουργούν ως βασικά στοιχεία. Πρόσφατα, έχει προταθεί ότι ένα έλλειμμα στο σύστημα των νευρωνικών αυτών μπορεί να ευθύνεται για τη σύνδεση της αυτιστικής διαταραχής με τη μιμητική δυσλειτουργία και θα μπορούσε να είναι μια αιτία της κακής κοινωνικής συμπεριφοράς στα παιδιά αυτά.

3-3. Ποια θεωρία κινητικού ελέγχου είναι η καλύτερη;

Από όσες θεωρίες του κινητικού ελέγχου αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια εάν υπάρχει κάποια θεωρία που να ικανοποιεί και να προσαρμόζεται καλύτερα στις τρέχουσες θεωρητικές απαιτήσεις αλλά και να καλύπτει με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα την πρακτική εφαρμογή τους στη “θεραπευτική παρέμβαση”; Μπορεί να ειπωθεί με ασφάλεια εάν υπάρχει, αλλά και ποια είναι η καλύτερη; Ποια είναι η πιο πλήρης θεωρία του κινητικού, αυτή που εξορισμού προβλέπει και μελετά πραγματικά τη “φύση” και την “αιτία” της κίνησης, ενώ παράλληλα βρίσκεται σε άμεση συμφωνία με την πραγματική και ουσιαστική γνώση της ανατομίας και φυσιολογίας του εγκεφάλου;

Όπως φαίνεται καθαρά, μια τέτοια θεωρία δεν υπάρχει. Πιστεύουμε ότι μια καλή και ουσιαστική θεωρία για τον κινητικό έλεγχο θα ήταν μια που θα συνδύαζε στοιχεία από όλες τις θεωρίας που αναφέρθηκαν. Μια περιεκτική θεωρία αναγνωρίζει τα στοιχεία του κινητικού ελέγχου που γνωρίζουμε και αφήνει χώρο για απόψεις, υποθέσεις και θεωρήσεις

που δεν γνωρίζουμε. Κάθε παρόμοια θεωρία για τον κινητικό έλεγχο που παρουσιάζεται ουσιαστικά φαίνεται ημιτελής, εφόσον πάντοτε θα υπάρχει χώρος για αναθεώρηση και ενσωμάτωση νέων πληροφοριών. Κάθε νέα θεωρία φαίνεται να προσπαθεί να καλύψει τις αμφισβητήσεις και προβληματισμούς προηγούμενων, αλλά πάντοτε προσφέρει κάτι παραπάνω στη βαθύτερη κατανόηση του πεδίου του κινητικού ελέγχου.

Από την πρώτη εποχή της αρχικής διερεύνησης των δυνατοτήτων του εγκεφάλου να ελέγχει την κινητική συμπεριφορά, έχουν αναπτυχθεί διάφορες απόψεις, οι οποίες αρχικά φαίνονται ολοκληρωμένες, στη συνέχεια όμως δίνουν χώρο για αναθεωρήσεις και εμπλουτισμό. Στις περισσότερες πάντως περιπτώσεις, ενώ εισάγονται νέες θεωρήσεις ή τροποποιούνται παλαιότερες, οι έννοιες που χρησιμοποιούνται είναι σταθερές με αποτέλεσμα, είναι δύσκολο να γίνει διάκριση ανάμεσα στις αναπτυσσόμενες θεωρίες. Για παράδειγμα, οι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται είναι: αντανακλαστικά, συστήματα, εσωτερικά μοντέλα, δυναμική δράση, ανατροφοδότηση, περιβάλλον και συμπεριφορά.

Κατά τη μελέτη κάθε θεωρίας, υπάρχουν επιστήμονες που συμφωνούν σε όλα, άλλα σε μερικά από τις απόψεις της και άλλοι που διαφωνούν. Αυτό αποτελεί άλλωστε και τη βασική έννοια της θεώρησης. Μια νέα επιστημονική πρόταση, που προσπαθεί να επιλύσει προβληματισμούς ή να δημιουργήσει άλλους. Σε αυτούς υπάρχουν συμφωνίες ή κάθετες διαφωνίες. Μπορεί να υπάρξουν οπαδοί ή θιασώτες μιας θεωρίας, ποτέ όμως δεν πρέπει να υπάρχει φανατισμός. Η επιστήμη αποβάλλει κάθε δογματισμό και φανατισμό, γιατί ουσιαστικά της αποκόπτεται η δυνατότητα της προσαρμογής, της αναθεώρησης και φυσικά της τελειοποίησης.

Έτσι ακριβώς και με τις θεωρίες του κινητικού ελέγχου. Υπήρξε μεγάλη εξέλιξη επειδή το πεδίο διερευνήθηκε από σοβαρούς επιστήμονες με “ανοικτά” μυαλά. Όλες οι προσπάθειες προσέφεραν κάτι για την επόμενη. Σήμερα, υπάρχει συμφωνία ότι έχουμε μάθει αρκετά, και μπορούμε να μάθουμε ακόμη περισσότερα. Η τέλεια θεωρία δεν υπάρχει, αλλά και κατά τη γνώμη μας “δεν μπορεί να υπάρξει”. Υπάρχουν όμως βασικές έννοιες που πλέον αποτελούν δόγματα για τις επόμενες θεωρητικές απόψεις. Κανείς δεν μπορεί να αμφισβητήσει την παρουσία των αντανακλαστικών, αλλά αυτά θα πρέπει να λάβουν τη θέση που ακριβώς έχουν: μιας αυτόματης κινητικής δραστηριότητας. Δεν μπορεί επίσης να αμφισβητηθεί η “κεντρική” θέση που κατέχει στην έννοια του ελέγχου ο εγκέφαλος και οι άλλες νευροφυσιολογικές του δομές, που αποδεδειγμένα έχουν σχέση με την οργάνωση και την επεξεργασία “εντολών”. Δεν μπορεί να αγνοηθεί η παρουσία των “συστημάτων”, μια και ο κινητικός έλεγχος θα συνεχίζει να αποκαλείται ως θεωρία συστημάτων. Δεν μπορεί να αμφισβητηθεί η άποψη η κίνηση αναδύεται από αλληλεπίδραση ανάμεσα στα άτο-

μα, στη ίδια τη δραστηριότητα και στο περιβάλλον που εκτελείται. Η κίνηση, δηλαδή δεν είναι μόνον το αποτέλεσμα των “κινητικών προγραμμάτων” και των ειδικών “κινητικών εντολών” σε ειδικές ομάδες μυών ή για την πρόκληση στερεότυπων αντανακλαστικών, αλλά αποτέλεσμα μιας δυναμικής αλληλεπίδρασης ανάμεσα στην αντίληψη, στη γνωσιακή λειτουργία και στα συστήματα δράσης. Μέσα στην έννοια των συστημάτων δράσης φυσικά περιλαμβάνονται οι νευρομυϊκές απόψεις και οι φυσικές ή δυναμικές ιδιότητες του ίδιου του μυοσκελετικού συστήματος, καθώς και όλα οι νευροφυσιολογικές διαδικασίες και μηχανισμοί που αναδύονται με σκοπό την αποτελεσματικότερη κινητική δράση, στο μικρότερο χρονικό διάστημα, με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, ικανοποιώντας φυσικά το “λειτουργικό” σκοπό για τον οποίο επιλέχθηκε.

Αυτό ήταν μέχρι σήμερα το μεγάλο μας κέρδος. Να δημιουργηθεί ένα γνωστικό πεδίο για να διερευνηθούν ουσιαστικά οι δύο κεφαλαιώδεις λειτουργίες του εγκεφάλου: η κίνηση και η νόηση. Σήμερα πιστεύουμε ότι οι δύο αυτές έννοιες είναι συνδεδεμένα και η μελλοντική έρευνα θα αποκαλύψει το μέγεθος της συσχέτισης αυτής. Η νόηση δίνει σκοπιμότητα στην κίνηση. Η νόηση δίνει σημασία στο περιβάλλον και δημιουργεί ανάγκες και υποχρεώσεις. Όλα αυτά ενσωματώνονται στην κινητικής συμπεριφορά και στην έκφραση με την κίνηση ή το λόγο. Δεν μπορούν να διερευνηθούν ξεχωριστά. Ίσως, το μεγαλύτερο “λάθος” στις προηγούμενες θεωρήσεις ήταν ότι η κίνηση μελετήθηκε απομονωμένα, ο τρόπος που αυτή οργανώνεται και προγραμματίζατε ή εκτελείται καθώς και η σημασία της ανατροφοδότησης από το κινητικό αποτέλεσμα που προκαλεί. Ίσως το μελλοντικό μας κέρδος θα είναι να συσχετίσουμε την κίνηση με τη νόηση και να βαδίσουμε συνδυασμένα για τη δημιουργία μιας ενιαίας θεώρηση για τη λειτουργία του εγκεφάλου. Ίσως να φτάσουμε στην τέλεια θεωρία μόνον τότε όταν αυτά που υποστηρίζει θα μπορούν να εφαρμοστούν στην καθημερινή πράξη, στη “θεραπευτική παρέμβαση” με τη μεγαλύτερη δυνατή αποτελεσματικότητα.

4. Μαθηματικό μοντέλο του κινητικού ελέγχου

4-1. Η τελειότητα και η ευκολία της κίνησης

Φαίνεται ότι ο τρόπος που είναι οργανωμένες οι κινήσεις και όπως αυτές αποδίδονται σε συγκεκριμένες δραστηριότητες, είναι περίπλοκος ενώ παράλληλα ελέγχεται με έναν ιδιαίτερα δύσκολο να κατανοηθεί τρόπο. Αυτό φαίνεται περισσότερο όταν παρατηρεί κάποιος τις επιδέξιες κινήσεις ενός χορευτή ή την εκτέλεση ενός δύσκολου κομματιού στο πιάνο, όπου αντιλαμβάνεται το πόσο δύσκολες είναι, πόσο συντονισμένες και πόσο ακριβείς είναι οι κινήσεις αυτές, πόσο επικεντρωμένης σε ένα στόχο είναι, απαιτώντας φυσικά ιδιαίτερη συγκέντρωση και προσοχή. Εάν αποσπάσει κάποιος ή κάτι την προσοχή ή τη συγκέντρωσή τους, τότε θα καταρρεύσει ολόκληρη η κινητική και μουσική πανδαισία, διακόπτοντας άμεσα τη διαδικασία και συνεχίζοντας μόνον αφού πρώτα επανέλθει στο προηγούμενο επίπεδο συγκέντρωσης και προσοχής για να συνδέσει τα προηγούμενα. Όλο αυτό είναι συνδεδεμένο με μια περιπλοκότητα εκτέλεσης και έναν ιδιαίτερα δύσκολο τρόπο ελέγχου νοητικά.

Παράλληλα όμως, μέσα στο πλαίσιο αυτό, διαπιστώνει κάποιος ότι ο χορευτής ή μουσικός, παρά τη δυσκολία της δράσης του, εκτελεί με ευκολία και άνεση, που είναι εμφανής σε εμάς που τον παρακολουθούμε και που μάλιστα είναι από τα πρώτα που αναφέρετε, όταν σχολιάζεται η απόδοση. Υπάρχουν έτσι υποστηρικτές που αναφέρουν ότι η ευκολία με την οποία κινούμαστε, βαδίζουμε, παίζουμε μουσική, χορεύουμε ή κάνουμε αθλητισμό, διαψεύδει τη συμπλοκότητα αυτή, ότι δηλαδή η δημιουργία συντονισμένων κινήσεων είναι μια υπερβολικά περίπλοκη δράση, η οποία όμως αποδίδεται τελικά με ευκολία. Έτσι, η ευκολία, η άνεση και η αποδοτικότητα με την οποία κινούμαστε ή εκπαιδευόμαστε σε νέες κινητικές ή άλλες επιδέξιες δραστηριότητες απομυθοποιεί επιφανειακά τη περίπλοκη βάση πάνω στην οποία είναι οργανωμένη όλη αυτή η κινητική συμπεριφορά.

4-1-1. Τελειότητα του ανθρώπου σε σχέση με ρομποτικά συστήματα

Οι κινήσεις του σώματος πρέπει να οργανώνονται, να υποστηρίζονται και να ελέγχονται μέσα από το πλούσιο ανθρώπινο μυοσκελετικό σύστημα, το οποίο δεν έχει γραμμικότητα και μπορεί να θεωρηθεί έως και αναξιόπιστο. Η αναξιόπιστία αυτή του μυοσκελετικού συστήματος ενισχύεται περισσότερο, εάν λάβει κάποιος υπόψη του όλες τις παραμέτρους εκείνες, εσωτερικές (φυσιολογικές, μηχανικές, ψυχολογικές, νοητικές) και εξωτερικές (περιβάλλοντος και αλληλεπιδράσεων), που μπορεί να επηρεάσουν την τελική του απόδοση.

Από την άλλη, η ορθότητα της κινητικής απόδοσης στηρίζεται στην αισθητική επαναπληροφόρηση από την περιφέρεια (της κινητικής αλυσίδας), η οποία επίσης μπορεί να μη θεωρηθεί ως απόλυτα αξιόπιστη για πολλούς λόγους: (α) λόγω της ουσιαστικής καθυστέρησης στην αγωγιμότητα για την τελική αντίληψη και επεξεργασία της κινητικής πληροφόρησης, (β) την αναξιοπιστία της αισθητικής αγωγιμότητας, και (γ) των πολλαπλών παραμέτρων που επηρεάζουν την αγωγιμότητα αυτή.

Η συγχρονισμένη αυτή ευκολία της κίνησης του ανθρώπινου σώματος φαίνεται ακόμη πιο σημαντική εάν συγκριθεί με τις κινήσεις που επιτυγχάνονται για την ολοκλήρωση μιας δράσης από τα ρομποτικά συστήματα. Οι κινήσεις αυτές μπορεί να επιτυγχάνουν τον τελικό σκοπό, φαίνονται όμως βραδυκίνητες, ασυντόνιστες και “ογκώδεις” στο χώρο και στη συμπεριφορά τους. Δεν πρέπει να παραγνωρίζεται ότι ένα ρομποτικό σύστημα κατασκευάζεται και οργανώνεται για να εκτελεί μια μόνον κινητική δραστηριότητα, χωρίς άλλες δυνατότητες ή επιλογές, χωρίς εκτιμήσεις και υπολογισμούς και χωρίς ουσιαστικά διορθώσεις και επανεκτιμήσεις της κινητικής δράσης, ελέγχεται δε μόνον για τη δραστηριότητα που εκτελεί και για τον σκοπό για τον οποίο κατασκευάστηκε.

Έτσι, όσον αφορά τον άνθρωπο, τα όρια της κινητικής εκτέλεσης ωθούνται ακόμη περισσότερο στην τελειότητα και ακρίβεια σε σχέση με τα ρομποτικά συστήματα. Αυτό γίνεται εμφανέστερο στους περισσότερο εκπαιδευόμενους και ειδικούς είτε στην κίνηση είτε στη δεξιότητα, όπως χορευτές, αθλητές, μουσικοί). Η τελειότητα αυτής της κίνησης συνοδεύεται με ένα ουσιαστικό πλεονέκτημα του ανθρώπου, ακόμη και ενός μη εκπαιδευμένου, απέναντι στα σύνθετα ρομποτικά συστήματα και στους περίπλοκους μηχανικούς χειρισμούς, όπως ακριβώς συμβαίνει με έναν επαγγελματία απέναντι σε έναν αντίστοιχα πρωτοεμφανιζόμενο αθλητή, χορευτή ή μουσικό. Το πλεονέκτημα αυτό στηρίζεται όχι τόσο πολύ στη σκληρή εργασία και στην προπόνηση αλλά κυρίως στο τρόπο που ελέγχεται και συντονίζεται η κίνηση του. Όπως αναφέρθηκε, ένα ρομποτικό σύστημα ολοκληρώνει τις δραστηριότητες για τις οποίες κατασκευάστηκε, ουσιαστικά μεταδίδουμε σε αυτό, ότι εμείς γνωρίζουμε για τον κινητικό έλεγχο, πως αυτός μπορεί να συντονιστεί και να ελεγχθεί. Δηλαδή, μεταφέρουμε το πώς εμείς αντιλαμβανόμαστε τον κινητικό έλεγχο και όσο βαθύτερη είναι η μεταφορά γνώσης τόσο πιο τέλει είναι το μηχανικό και λειτουργικό αποτέλεσμα του μηχανικού ρομπότ. Η τελική απόδοση των επιδέξιων δραστηριοτήτων δεν στηρίζεται μόνο στη σκληρή εργασία και βασανιστική σωματική καταπόνηση (επανάληψη και προπόνηση), αλλά κυρίως εάν η προσπάθεια αυτή είναι ενεργητική και ενσυνείδητη, ενώ συμμετέχει στην επεξεργασία εξολοκλήρου ή νόηση και οι βασικές ψυχικές λειτουργίες. Η καθιέ-

ρωση, δηλαδή η επανάληψη με ακρίβεια, μιας επιδέξιας κίνησης είναι το αποτέλεσμα λεπτής κινητικής συμπεριφοράς, ψυχολογικής έκφρασης και γνωσιακής ακεραιότητας.

4-1-2. Συζήτηση για τα θεωρητικά και μαθηματικά μοντέλα του κινητικού ελέγχου

Μια απλή κίνηση ή μια οργανωμένη κινητική δράση υπακούει σαφώς σε νόμους και αρχές της φυσικής και μηχανικής, ενώ όσο αυτή περιπλέκεται, οργανωτικά, αποδοτικά ή λειτουργικά, τόσο παρεμβαίνουν πολλά άλλα πεδία της φυσικής και των μαθηματικών, με σκοπό να ερμηνεύσουν τους περίπλοκους συνδυασμούς και συσχετίσεις που προκύπτουν. Όταν συζητάμε επομένως για ένα θεωρητικό μοντέλο του κινητικού ελέγχου και της κινητικής μάθησης, αναφερόμαστε ουσιαστικά σε ένα πλαίσιο που προσπαθεί να ερμηνεύσει και να επεξηγήσει τα κινητικά, αισθητικά, εμβιομηχανικά, συστημικά πρότυπα της συμπεριφοράς, με την έννοια των αρχών που τα διέπουν. Ένα τέτοιο θεωρητικό μοντέλο ανάλυσης και ερμηνείας της κινητικής δράσης είναι λογικό να περιέχει δεδομένα της φυσικής και των μαθηματικών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται μαθηματικά μοντέλα που θα έχουν σα βασικό σκοπό να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν τους μηχανισμούς που κινείται το ανθρώπινο σώμα, προκειμένου να εκτελέσει μια συγκεκριμένη δραστηριότητα που ήδη έχει μάθει ή πως μπορεί να μάθει μια καινούργια.

Πρέπει να τονιστεί εξαρχής ότι οι μηχανισμοί που προσπαθούν να ερμηνευτούν μέσα από τα συγκεκριμένα φυσικά και Μαθηματικά μοντέλα της κινητικής δράσης είναι κυρίως νευρωνικοί, νευροφυσιολογικοί, νοητικοί και γνωσιακοί αλλά και εμβιομηχανικοί, μηχανικοί και κινηματικοί. Θα πρέπει να μαθηματικά αυτά μοντέλα επομένως να έχουν κάποιο συγκεκριμένο στόχο και να επικεντρώνονται σε μια από τις παραπάνω παραμέτρους. Δεν μπορεί να αναπτυχθεί ένα μοντέλο που να προσπαθεί να ερμηνεύσει την κινηματική λειτουργία μιας δράσης, και να μεταφέρεται προς ερμηνεία νευροφυσιολογικών μηχανισμών. Έτσι, τα μαθηματικά αυτά μοντέλα θα μπορούσαν να εξηγήσουν τον τρόπο που επιλέγονται οι κατάλληλες κινητικές εντολές ή τον τρόπο που προηγούμενες κινητικές συμπεριφορές θα μπορούσαν να επηρεάσουν δυνητικά μελλοντικές παρόμοιες κινητικές εκτελέσεις ή να καθοδηγήσουν την τελειοποίηση προηγούμενων δεξιοτήτων ή να βοηθήσουν στη εκπαίδευση και στη μάθηση νέων.

Θα μπορούσαν να υπάρχουν Μαθηματικά μοντέλα που να υποστηρίζουν δράσεις που η φύση τους είναι κυρίως νευροφυσιολογική; Αυτό είναι ένα ουσιαστικό ερώτημα. Παρόλα αυτά υπάρχουν θεωρίες που η φύση τους αν και είναι κυρίως μηχανική και αναφέρονται στους υπολογισμούς ή στην πλαστικότητα που παρουσιάζεται σε επίπεδο νευρώνων και συνάψεων, βοηθούν ουσιαστικά και αποτελεσματικά να ερμηνευτούν οι παρατηρήσεις

που γίνονται σε επίπεδο κινητικής συμπεριφοράς. Από την άλλη υπάρχουν θεωρίες που δεν αναφέρονται τόσο σε ειδικούς νευρωνικούς μηχανισμούς, προσπαθούν όμως να ερμηνεύσουν συμπεριφορές, αναλύοντας τον τρόπο που αυτές παρουσιάζονται, αναλύοντας και ερμηνεύοντας ανάλογα τις πληροφορίες που εισέρχονται από το περιβάλλον. Και στις δύο προσεγγίσεις, οι ερμηνείες αν και γίνονται έμμεσα, δηλαδή προσπαθούν να επικεντρώσουν και να ερμηνεύσουν έννοιες που δεν αξιολογούν απευθείας, οι προβλέψεις που γίνονται και αναφέρονται στη συμπεριφορά, συγκρατούνται από τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τα υποτιθέμενα κυκλώματα και αλγορίθμους. Όπως αναφέρεται, οι δύο αυτές προσεγγίσεις των μοντέλων είναι κατά πολύ παρόμοιες ως προς την εφαρμογή και τα επίπεδα των αλγορίθμων της ανάλυσης, όπως περιγράφηκε το 1982 από τον Marr .

4-1-3. Κινητική ανάλυση και κινητική συμπεριφορά

Θεωρώντας ουσιαστικές τις βασικές ερωτήσεις σχετικά με τους μηχανισμούς ή τους αλγορίθμους που αναφέρθηκαν προηγουμένως, μια εναλλακτική προσέγγιση θα ήταν να γίνει προσπάθεια να ταυτοποιηθούν, να προσδιοριστούν και να κατανοηθούν οι λειτουργίες των κινητικών συστημάτων, σε επίπεδο συμπεριφοράς. Αυτό θα διεύρυνε την επιστημονική σκέψη σχετικά με τον κινητικό έλεγχο, από μια καθορισμένη οργανωτική και ελεγκτική διαδικασία σε μια διαδικασία πολλαπλών επιδράσεων, όπου το δύσκολο θα γινόταν πιο εύκολο λόγω των σύμπλοκων συσχετίσεων που αναφέρονται στη “συμπεριφορά”. Η μεγάλη ευελιξία του κινητικού συστήματος και οι διάφοροι βιολογικοί και μηχανικοί παράγοντες που το επηρεάζουν, επιβάλει την άποψη να φαίνεται απίθανο ότι οι μηχανισμοί που υπεισέρχονται στη δημιουργία της κίνησης να επιβάλλουν ταυτόχρονα περιορισμούς, και μάλιστα σημαντικούς, επάνω στο είδος των κινήσεων που αυτοί μπορεί να δημιουργήσουν. Η διαπίστωση αυτή είναι παρόμοια με την αρχική, που αναφερόταν στην ευκολία με την οποία εκτελείται η επιδέξια κίνηση. Ουσιαστικά υπάρχει η ίδια βάση, το ίδιο επιστημονικό πλαίσιο: όσο εύκολο μπορεί να είναι το αποτέλεσμα, τόσο σύμπλοκο μπορεί να είναι η βάση πάνω στην οποία στηρίζεται. Επομένως και οι μηχανισμοί που το υποστηρίζουν ή τα μοντέλα που μπορεί να το υλοποιήσουν θα πρέπει να παρουσιάζονται μέσα στο ίδιο πλαίσιο, την ίδια απλότητα και παράλληλα περιπλοκότητα.

Έτσι, είναι δύσκολο να επιβάλλονται περιορισμοί στα έμφυτα (αναδυόμενα) χαρακτηριστικά της κίνησης, όπως είναι οι συνδυασμοί των κινήσεων για τη δημιουργία μιας επιδέξιας δράσης. Είναι όμως αναπόφευκτο να μη συμβαίνει. Διαφορετικά θα μιλούσαμε για ένα καθαρά μηχανικό κατασκεύασμα που όταν ενεργοποιείται πάντοτε παράγει το ίδιο προεπιλεγμένο αποτέλεσμα, όπως συμβαίνει με ένα ρομποτικό σύστημα, χωρίς έκφραση

και συμπεριφορά. Στον άνθρωπο, τα πρότυπα της συμπεριφοράς φαίνεται ότι καθορίζονται περισσότερο από χαρακτηριστικά της δραστηριότητας που εξελίσσεται, παρά από γνωρίσματα των υποκείμενων μηχανισμών της εφαρμογής της. Η κίνηση δεν είναι μόνον ένας νευρωνικός μηχανισμός με τις ανάλογες συσχετίσεις μυϊκών δυνάμεων που δημιουργούνται από τις δράσεις αυτές και οι οποίες εξασκούνται με τον κατάλληλο χρονισμό στις κατάλληλες αρθρώσεις για την παραγωγή “κινητικής δράσης”. Είναι κάτι περισσότερο από αυτό. Πέρα από τα εσωτερικά χαρακτηριστικά της κίνησης, τα οποία ουσιαστικά είναι έμφυτα και προσδιορίζονται γενετικά, η κίνηση είναι λειτουργία και χαρακτηρίζει μια συμπεριφορά. Και σαν λειτουργία επηρεάζεται από το περιβάλλον μέσα στο οποίο εκτελείται. Σε ένα άτομο αυτή του προσδίδει τη μοναδικότητα να χαρακτηρίζεται από την κίνησή του και να “μιλά” ή να “επικοινωνεί” μέσα από αυτή. Επομένως η “κινητική συμπεριφορά” καλύπτει περισσότερο τη προσέγγιση του θεωρητικού μοντέλου του κινητικού ελέγχου.

4-1-4. Η κανονιστική (normative) προσέγγιση μοντελοποίησης

Η εναλλακτική αυτή προσέγγιση με την οποία γίνεται προσπάθεια να κατανοηθούν οι λειτουργίες των κινητικών συστημάτων σε επίπεδο συμπεριφοράς, δηλαδή μια κανονιστική (normative) προσέγγιση μοντελοποίησης, γίνεται παράλληλα προσπάθεια να ερμηνεύσει ουσιαστικά πρώτα τη συμπεριφορά. Αυτό γίνεται κατανοώντας το ακριβές πρόβλημα υπολογισμού που αντιμετωπίζει ο εγκέφαλος και κατόπιν επιζητά θεωρητικά ποιός είναι ο πλέον κατάλληλος τρόπος να επιλύσει το συγκεκριμένο προβληματισμό. Το γεγονός αυτό μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιο με το υπολογιστικό μοντέλο ανάλυσης του Marr. Ο εγκέφαλος “υπολογίζει” μέσα από συγκεκριμένες διαδικασίες: (α) από τις ψυχικές ανάγκες και επιθυμίες για την εκτέλεση και ολοκλήρωση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας, (β) από τα εσωτερική και υψηλή συνεργασία ανώτερων κέντρων απόφασης, επεξεργασίας, εκτίμησης και οργάνωσης του εγκεφάλου, προκειμένου να ληφθεί η απόφαση για την εκτέλεση της συγκεκριμένης δράσης με έναν συγκεκριμένο τρόπο, (γ) από την ταύτιση των δράσεων που πρόκειται να υλοποιηθούν με την ολοκλήρωση των ψυχικών επιθυμιών και αναγκών, και (δ) από την περιφερική πολλαπλή αισθητική πληροφόρηση από τα εκτελεστικά όργανα, εάν η συγκεκριμένη δραστηριότητα έγινε σύμφωνα με αυτά που είχαν επιλεγεί και φυσικά εάν ικανοποιεί το σκοπό για τον οποίο έγινε. Αυτός είναι ένας απλοποιημένος και κατανοητός τρόπος, πως ο εγκέφαλος μπορεί να “υπολογίζει” την κάθε κινητική του δράση και να την οργανώνει σε μια συγκεκριμένη και μοναδική για κάθε άτομο κινητική συμπεριφορά.

Παραπάνω αναφέρθηκε μια λογική σειρά για τη “μετάφραση του υπολογισμού” του εγκεφάλου. Έτσι, είναι πολύ λογική η διαδικασία αυτή, πρώτα να γίνουν οι υπολογι-

σμοί κατά την επεξεργασία των πληροφοριών στα υψηλά κέντρα του εγκεφάλου και κατόπιν να βρεθούν οι τρόποι που μπορούν αυτοί να επιλυθούν και υλοποιηθούν. Από όσο έχουμε κατανοήσει τη βάση του κινητικού ελέγχου και της μάθησης, όταν ανευρίσκονται θεωρητικές λύσεις σε παρόμοια υπολογιστικά προβλήματα του εγκεφάλου, ουσιαστικά αντλούνται και αξιοποιούνται ιδέες από τη θεωρία ελέγχου της κίνησης ή τη μηχανική μάθηση. Κατά βάση, κάθε επιπλέον ερμηνεία, κάθε στοιχείο που επιλύεται στο “πάζλ” του κινητικού ελέγχου και της μάθησης, πλησιάζει ακόμη περισσότερο στη συνολική έκφραση της κίνησης που είναι η κινητική συμπεριφορά. δηλαδή στην κανονιστική προσέγγιση της μοντελοποίησης. Οι κανονιστικές και μηχανιστικές προσεγγίσεις είναι αλληλοαναιρούμενες ή αλληλοεξαρτώμενες προσπάθειες, όπου τα επιτεύγματα που υλοποιούνται στα κανονιστικά μοντέλα βοηθούν και καθοδηγούν τα μηχανιστικά μοντέλα. Από την άλλη αναπτύσσεται μια ευθεία σχέση, όπου η βαθύτερη κατανόηση των μηχανιστικών μοντέλων μπορεί να βοηθήσει να αρθούν οι περιορισμοί στα κανονιστικά μοντέλα. Υπάρχει δηλαδή μια σαφής αλληλεξάρτηση ανάμεσα στους δύο τύπους μοντέλων, με τα κανονιστικά μοντέλα να φαίνεται ότι παίζουν περισσότερο πρωταγωνιστικό ρόλο. Με βάση τη κανονιστική άποψη υποτίθεται ότι οι νευρικοί μηχανισμοί που υπεισέρχονται στην οργάνωση και εκτέλεση της κίνησης, έχουν μια πολύ μεγάλη δυναμική ισχυρή δυνατότητα υλοποίησης. Κατά συνέπεια, παρατηρώντας μια δραστηριότητα, μεγαλύτερη σημασία έχουν οι λεπτομέρειες της ίδιας της δραστηριότητας παρά οι υποκείμενοι μηχανισμοί που είναι υπεύθυνοι για την εφαρμογή της λύσης, και είναι αυτά που υπαγορεύουν τα πρότυπα της συμπεριφοράς **. Αυτό ίσως κάνει να φαίνονται τόσο απλές, πολύ δύσκολες και επιδέξιες κινητικές δράσεις, επειδή μέσα από συγκεκριμένους μηχανισμούς έχουν ενσωματωθεί σε ένα κανονιστικό μοντέλο που ανταποκρίνεται στην αναμενόμενη ή στην επιθυμητή, κατά περίπτωση, συμπεριφορά.

4-2. Θεωρητικά μοντέλα του κινητικού ελέγχου

4-2-1. Κίνηση σε συγκεκριμένο περιβάλλον

Το κινητικό σύστημα, όπως αναφέρθηκε, είναι ένα πολύπλοκο εμβιομηχανικό σύστημα που ελέγχεται από εντολές που προέρχονται από διάφορα επίπεδα του σώματος και επεξεργάζονται και οργανώνονται από υψηλότερα νευρωνικά κέντρα, η δράση του οποίου όμως ταυτοποιείται παράλληλα από την περιφερική αισθητική επαναπληροφόρηση σχετικά με τη δραστηριότητα που εκτελέσθηκε. Η κινητική δραστηριότητα ελέγχεται εκτός των άλλων, από δύο βασικές οδούς: (α) από τα υψηλότερα κέντρα, ως προς τη δημιουργία και οργάνωση των κινητικών προγραμμάτων, και (β) από την περιφέρεια, ως προς την ορθότητα της

εκτέλεσης των προγραμμάτων αυτών. Ένα ουσιαστικό πρόβλημα που αντιμετωπίζει το κινητικό σύστημα, και κατ' επέκταση ο εγκέφαλος, είναι να αποφασίσει ποια είναι η κατάλληλη κινητική εντολή για να πραγματοποιηθεί μια επιθυμητή δράση σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Αυτό είναι πραγματική πρόκληση για το κινητικό σύστημα, γιατί τίθεται ουσιαστικά αντιμέτωπο με το περιβάλλον μέσα στο οποίο λειτουργεί. Ίσως, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το περιβάλλον, το κινητικό σύστημα θα ήταν αδρανές και στείρο σε μια παραγωγή κινήσεων χωρίς νόημα και αντικειμενικό στόχο.

Η κίνηση που υλοποιείται αποκτά κίνητρο και στόχο για να προκύψει, μόνον όταν παρουσιάζεται σκόπιμα για να ικανοποιήσει συγκεκριμένες ανάγκες του ανθρώπου μέσα στο περιβάλλον που λειτουργεί. Εάν ικανοποιεί μόνον ανάγκες έμφυτες και αυτοσυντήρησης τότε αναφερόμαστε στη βασική και ανακλαστική κίνηση. Εάν όμως ικανοποιεί σε ανώτερες ανάγκες και ψυχικές λειτουργίες, εάν υπακούει σε “θέλω” και “επιθυμίες” τόσο ικανοποιείται καλύτερα όταν υλοποιείται μέσα σε ένα κατάλληλο περιβάλλον, στο οποίο μπορεί να ικανοποιηθούν οι ανάγκες και οι επιθυμίες αυτές. Το περιβάλλον επομένως δίνει μεγαλύτερη αξία και σημαντικότητα σε μια κινητική δραστηριότητα, την εμπλουτίζει και της δίνει την ποιοτική έκφραση, είτε αυτή είναι απαραίτητη λειτουργική δράση είτε είναι επιπρόσθετη κινητική ανάγκη και επιθυμία. Εκεί ακριβώς στηρίζεται και η κινητική μάθηση: δεν είναι στείρα επανάληψη μιας κινητικής δράσης αλλά μια σκόπιμη ενέργεια που εντάσσεται σε μια συγκεκριμένη κινητική συμπεριφορά και αλληλεπίδραση με το περιβάλλον.

Εδώ θα μπορούσαμε να φέρουμε ένα παράδειγμα που μπορεί να απεικονίσει τη λειτουργία του κινητικού συστήματος μέσα στο χώρο. Ας υποθέσουμε ότι πρέπει να μετακινήσουμε το χέρι μας για να κτυπήσουμε ένα συγκεκριμένο “ντο” της μεσαίας κλίμακας του πιάνου. Αυτό που προσφέρει τη μεγάλη δυσκολία στη συγκεκριμένη κίνηση του χεριού είναι ότι δεν είναι αρκετό απλά να γνωρίζουμε τη θέση του συγκεκριμένου πλήκτρου στην κλίμακα και στη θέση του πιάνου, δηλαδή στο χώρο. Δηλαδή στην αρχή δεν γνωρίζουμε το χώρο που θα λειτουργήσουμε και θα πρέπει να το μάθουμε καλύτερα λαμβάνοντας τα ανάλογα ερεθίσματα από αυτόν. Όταν θα ληφθούν τα ερεθίσματα αυτά, τότε θα μπορεί να αλλάξει η θέση του χεριού στο χώρο ή της στάσης του σώματος σε αυτόν. Η αλλαγή της θέσης του χεριού μπορεί να γίνει πολύ έμμεσα χρησιμοποιώντας τους ανάλογους μυς, προκειμένου να δημιουργηθούν οι κατάλληλες δυνάμεις που προκαλούν επιτάχυνση των αρθρώσεων του χεριού. Έτσι η δυναμική του σώματός μας εξασκεί ένα θεμελιώδη περιορισμό επάνω στο πως είμαστε ικανοί να κινούμαστε. Οποιαδήποτε αλλαγή στη δυναμική αλλά και στο συντονισμό της κίνησης θα προκαλέσει λανθασμένο αποτέλεσμα έξω από το σχεδιαζό-

μενο αρχικά πρότυπο. Δεν θα κτυπηθεί δηλαδή το “ντο” όπως από την αρχή είχε προγραμματισθεί, αλλά το “μι” της ανάλογης κλίμακας.

Από το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται ότι οι δυναμικές αυτές είναι έντονα μη γραμμικές, όπου οι ακριβώς ίδιες κινητικές εντολές (από τον εγκέφαλο) μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετικές επιταχύνσεις (στην περιφερική τους τελική κινητική έκφραση), ανάλογα με την κατάσταση του χεριού και των μυών του. Σαν αποτέλεσμα, ακόμη και ένα φαινομενικά απλό έργο, όπως ένα απλό κτύπημα σε ένα συγκεκριμένο πλήκτρο στο πιάνο, απαιτεί πραγματικά μια πολύπλοκη σειρά κινητικών εντολών, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ένα επιτυχές και σκόπιμο αποτέλεσμα, να πατηθεί ένα συγκεκριμένο πλήκτρο. Αυτό θα έχει μεγαλύτερη δυσκολία να υλοποιηθεί την πρώτη μόλις φορά, όπου υπάρχει και η άγνοια του περιβάλλοντος που θα πρέπει να διερευνηθεί, όταν όμως θα πρέπει να επαναληφθεί, η δυσκολία μειώνεται σε σημαντικό βαθμό και εξαφανίζεται όταν η δραστηριότητα έχει ήδη επαναληφθεί πολλές φορές. Το κτύπημα δηλαδή ενός πλήκτρου στο πιάνο φαίνεται μια πολύ απλή κινητική δράση, για να γίνει όμως αυτό με επιτυχία θα πρέπει να υπάρχει ένας σωστός νευρωνικός προγραμματισμός και μια σταθερή ακολουθία δράσεων ώστε να ενεργοποιηθεί η ανάλογη νευρωνική οδός προκειμένου να υλοποιηθεί η επιθυμία.

4-2-2. Πολλαπλασιαστικός Θόρυβος και πλεονασμός

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι οι στόχοι μιας δραστηριότητας ακολουθούν (ως αποτέλεσμα της συγκεκριμένης δράσης) και σχετίζονται μη γραμμικά με τις κινητικές εντολές, η ίδια η κινητική εκτέλεση είναι εξαιρετικά αναξιόπιστη, εφόσον οι δυνάμεις που παράγονται από ένα μυ είναι έμφυτα μεταβλητές. Και αυτή είναι μία μόνον από τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη μυϊκή δράση ή την κίνηση στο περιβάλλον. Αν και οι δυνάμεις σε μέγεθος είναι καθορισμένες, μπορεί να ειπωθεί με ακρίβεια, η κατεύθυνση του διανύσματος που παράγεται από αυτές και θα επιφέρει το αναμενόμενο τελικό αποτέλεσμα εξαρτάται από πολλούς ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Αν και υπάρχουν πολλοί δυνητικοί μηχανισμοί και παράγοντες που συμβάλλουν στη συγκεκριμένη μεταβλητότητα της μυϊκής δύναμης που παράγεται, το καθαρό αποτέλεσμα φαίνεται να είναι ότι η μεταβλητότητα της μυϊκής δύναμης αναπτύσσεται γραμμικά με το μέγεθος της δύναμης. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την εφαρμογή (και όχι μόνον την παραγωγή) της μυϊκής δύναμης, αυτή θα εξασκηθεί μέσω του διανύσματος της προς τη σωστή κατεύθυνση, προκαλώντας το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται signal- dependent ή πολλαπλασιαστικός θόρυβος (multiplicative noise). Με τον όρο θόρυβος εννοούμε κάθε ανεπιθύμητη και συχνά απρό-

βλεπτη ηλεκτρική ή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια τεχνητής ή φυσικής προέλευσης, η οποία παρεμβάλλεται στο σήμα που μεταδίδεται, με αποτέλεσμα να αλλοιώνει την ποιότητά του και να προκαλεί την παραμόρφωσή του. Ο θόρυβος πολλαπλασιαστικού τύπου αναφέρεται στο δυναμικό θόρυβο ο οποίος είναι αυτός που μπορεί να παρεμβληθεί και να επηρεάσει τη δυναμική ενός συστήματος. Ένας δυναμικός θόρυβος, λοιπόν, μπορεί να είναι πολλαπλασιαστικού τύπου βάσει των τιμών των παραμέτρων που καθορίζουν την εμφάνισή του στις εξισώσεις του δυναμικού συστήματος.

Ένα μέγιστο θέμα στα μοντέλα του κινητικού ελέγχου είναι η διαχείριση του συγκεκριμένου θορύβου προκειμένου να ελαττωθούν οι αρνητικές του επιπτώσεις. Εφόσον ο θόρυβος που παράγεται με την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης δραστηριότητας δρα σε κάθε στιγμή της εκτέλεσης αυτής, εάν δεν ελεγχθεί, τα αποτελέσματά του θα είναι αθροιστικά κατά την πορεία της κίνησης, δηλαδή όσο εξελίσσεται η κίνηση τόσο περισσότερος θόρυβος θα συσσωρεύεται. Επομένως, ακόμη και μέτριες μεταβολές της μυϊκής δράσης ή της κίνησης σαν αποτέλεσμα αυτής, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τον τελικό στόχο της δραστηριότητας αυτής.

Επιπρόσθετα στα προβλήματα της δράσης μέσω της σύμπλοκης μηχανικής φύσης της μυϊκής σύσπασης και του θορύβου που παράγεται από αυτήν, ένας άλλος παράγοντας που περιπλέκει τα προβλήματα του κινητικού ελέγχου είναι ο πλεονασμός (redundancy). Στη μηχανική, πλεονασμός ορίζεται ο διπλασιασμός των κρίσιμων συστατικών ή λειτουργιών ενός συστήματος με στόχο την αύξηση της αξιοπιστίας του συγκεκριμένου συστήματος, συνήθως σε μορφή ασφάλειας (backup). Αν και ο στόχος μιας κίνησης πρέπει να εξειδικεύεται από ένα μοναδικό σημείο στο χώρο, όπως ένα συγκεκριμένο πλήκτρο του πιάνου στο παράδειγμά μας, δεν υπάρχουν ανάλογες μοναδικές ομάδες ελέγχου προκειμένου να ολοκληρωθεί ο στόχος αυτός. Όπως αναφέρθηκε, η κινητική δράση εκφράζεται με διαφορετικές τρόπους: (α) μπορεί να ακολουθήσει πολλές οδούς μέσα στο χώρο ή στο περιβάλλον που εκτελείται, (β) μπορεί να χρειαστεί οποιοδήποτε χρονικό μέγεθος για να εκτελεσθεί, ενώ παράλληλα (γ) ποικίλει σε ταχύτητα κατά τη διάρκεια της ίδιας κίνησης, με ακαθόριστους πολλούς τρόπους, όπου για να πραγματοποιηθούν όλοι αυτοί οι τρόποι θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν διαφορετικές μυϊκές ενεργοποιήσεις ή συσπάσεις μυϊκών ομάδων.

4-2-3. Συν-συσπάσεις και σημασία του πλεονασμού

Δεν αποτελεί έκπληξη ότι ακόμη και στην ίδια τροχιά της κίνησης, διαφορετικοί συνδυασμοί ενεργοποίησης μυϊκών ομάδων μπορεί να οδηγήσουν στο ίδιο “κινηματικό” αποτέλε-

σμα, ακριβώς με διαφορετικούς βαθμούς συν-συσπάσεων. Οι συν-συσπάσεις (co-contraction) αποτελούν ένα σταθερό νευροφυσιολογικό φαινόμενο, όπου για μια συγκεκριμένη δραστηριότητα θα πρέπει να υπάρχουν ταυτόχρονες μυϊκές συσπάσεις διαφόρων μυών, αγωνιστών, ανταγωνιστών ή σταθεροποιητών, προκειμένου να προκύψει η επιθυμητή κινητική δραστηριότητα. Αυτό βεβαιώνει απόλυτα το γεγονός ότι ο εγκέφαλος δεν αναγνωρίζει τη δράση ενός ξεχωριστού μυ, αλλά μόνον την κίνηση που αυτός προκαλεί. Για παράδειγμα ο εγκέφαλος δεν αναγνωρίζει το δικέφαλο βραχιόνιο ή το βραχιονοκερκιδικό μυ (που και οι δύο παρουσιάζουν μέσα από μια κινηματική διαφοροποίηση την κάμψη του αγκώνα) ή τη λεπτή δράση των μυών του καρπού και των δακτύλων, αλλά μόνον την κάμψη, έκταση, πρηνισμό και υπτιασμό του αγκώνα, ή σύλληψη των δακτύλων με κάμψη ή έκταση, του καρπού. Η κίνηση των μελών και του σώματος καταγράφονται στον εγκέφαλο και όχι οι δράσεις των μυών που η σύσπασε τους προκαλεί τις επιθυμητές κινήσεις.

Για παράδειγμα, ακολουθώντας μια συγκεκριμένη τροχιά του χεριού προς ένα συγκεκριμένο κινητικό στόχο, από καθιστή ή όρθια στάση, αν και υπάρχουν διαφορετικοί συνδυασμοί σύσπασης μυϊκών ομάδων (τόσο για την εκτέλεση της κίνησης αλλά κυρίως για τη σταθεροποίησή της), το αποτέλεσμα μπορεί να είναι ίδιο (με μεγάλη ακρίβεια), αλλά θα υπάρχουν διαφορετικοί συνδυασμοί ταυτόχρονων συσπάσεων (αγωνιστών ανταγωνιστών μυών). Ένα άλλο πιο κατανοητό παράδειγμα είναι η εκτέλεση ενός κομματιού στο πιάνο με τον πιανίστα σε όρθια ή σε καθιστή θέση. Το ακουστικό μουσικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι το ίδιο, οι μυϊκές ομάδες που λειτουργούν στο χέρι για την εκτέλεση του κομματιού θα είναι σχεδόν οι ίδιες αλλά όσο αφορά τις συν-συσπάσεις του κορμού για τη σταθεροποίησή του θα είναι τελείως διαφορετικές. Άλλες ομάδες θα ενεργοποιηθούν στην καθιστή θέση και τελείως διαφορετικές θα είναι αυτές που θα διατηρούν σε ισορροπία τον κορμό σε όρθια στάση κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η σημασία του “πλεονασμού” στον έλεγχο των κινητικών συστημάτων έχει αναγνωριστεί από παλαιότερα. Από την εποχή του Bernstein, το 1967, ο οποίος μετονόμασε την ανάγκη επίλυσης του προβλήματος του πλεονασμού σε “πρόβλημα των βαθμών ελευθερίας” της κίνησης, ο πλεονασμός θεωρήθηκε σαν ένα ενοχλητικό πρόβλημα, που θα έπρεπε οπωσδήποτε να επιλύσει το κινητικό σύστημα. Πέρα πάντως από τα διάφορα προβλήματα που μπορεί να δημιουργούσε ο πλεονασμός, μπορεί ουσιαστικά να παρατηρηθεί και ως ένα θετικό φυσικό γεγονός. Επειδή ακριβώς υπάρχει αφθονία λύσεων προκειμένου εξορισμού του συστήματος που προκαλεί να κατέχει αυξημένη αξιοπιστία, προσφέρει μεγαλύτερη ευκολία στην εύρεση λύσεων για μια δεδομένη δραστηριότητα, επιτρέποντας παράλληλα να επιτευχθούν οι στόχοι της περισσότερο ευέλικτα και πιο σταθε-

ρά. Ο πλεονασμός επομένως διευκολύνει το κινητικό σύστημα να αναπτύξει επαρκή μέσα ελέγχου (λόγω των πολλαπλών λύσεων) κάνοντας ευκολότερες και περισσότερο κατανοητές τις ανώτερες στρατηγικές ελέγχου. Βέβαια, ο πλεονασμός εάν παρατηρηθεί με έναν άλλον, διαφορετικό τρόπο, περιπλέκει περισσότερο το κινητικό σύστημα με την έννοια ότι το οδηγεί σε πιο σύμπλοκα και προκλητικά προβλήματα ελέγχου.

Ένας σημαντικός πλεονασμός σε μια δραστηριότητα, όπως η κίνηση τελικού σκοπού (σημείο-σημείο), υποδηλώνει ότι η ίδια δραστηριότητα, η εκτέλεση για παράδειγμα ενός συγκεκριμένου μουσικού κομματιού, εκτελείται από διαφορετικούς ανθρώπους με τελείως διαφορετικό τρόπο. Αυτό άλλωστε ερμηνεύει και τη μοναδικότητα του καθενός μέσα από την έκφραση και την κινητική του συμπεριφορά. Το αποτέλεσμα της δραστηριότητας μπορεί να είναι το ίδιο, διαφέρει όμως σημαντικά ο τρόπος που αυτή εκτελείται. Για παράδειγμα, η “παθητική σονάτα” του Beethoven, ακούγεται σύμφωνα με τις νότες του ίδια και αναγνωρίζεται εύκολα από τον γνώστη ακροατή, η έκφραση όμως και το συναίσθημα που βγαίνει για κάθε εκτέλεση είναι μοναδικά και ιδιαίτερα από κάθε εκτελεστή.

Παλαιότερα πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι οι κινήσεις τελικού σκοπού (προσέγγιση σημείο-σημείο) έχουν την τάση να παρουσιάζουν σταθερά κινητικά και κινηματικά χαρακτηριστικά μεταξύ των ατόμων. Κινηματικές αναλύσεις παρόμοιων κινήσεων έδειξαν ότι ήταν παρόμοιες σε διάφορα άτομα καθώς και σε διαφορετικές κατευθύνσεις, σε διαφορετικά μεγέθη και σε διαφορετικά σημεία του χώρου. Το μόνο που διέφερε ίσως είναι η εκφραστική συμπεριφορά της συγκεκριμένης κίνησης. Όλες οι κινήσεις πάντως ακολουθούσαν λίγο ή πολύ μια Καρτεσιανή ευθεία πορεία, ενώ όσον αφορά το προφίλ της ταχύτητας κατά την οποία ολοκληρωνόταν η κίνηση, παρουσίαζαν ένα χαρακτηριστικό κωδωνοειδές σχήμα. Μια πιθανή ερμηνεία για αυτή την κανονικότητα είναι ότι αποτελεί μια συνέπεια ενός ιδιαίτερου ιδιοσυστατικού μηχανισμού ελέγχου που ήταν κοινός για όλα τα άτομα. Με άλλα λόγια μια έμφυτη λειτουργία. Αυτό ερμηνεύει ουσιαστικά γιατί η εκτέλεση μιας συνηθισμένης δραστηριότητας (π.χ. η βάρδια), είναι παρόμοια έως ίδια για όλα τα άτομα, διαφέρει όμως η έκφραση και ο ιδιοδυστατικός τρόπος της κινητικής του συμπεριφοράς.

4-3. Βέλτιστος – Κατάλληλος έλεγχος

4-3-1. Δημιουργία των μαθηματικών μοντέλων της κίνησης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένα θεωρητικό μοντέλο που αναφέρεται στον έλεγχο της κίνησης, στον άνθρωπο, περιέχει δεδομένα της φυσικής και των μαθηματικών. Οι μηχανισμοί επομένως, μέσα από τους οποίους κινείται το ανθρώπινο σώμα και μπορεί να εκτελεί

σκόπιμες, επιδέξιες και λειτουργικές κινήσεις, είναι λογικό ότι μπορούν να εκφραστούν μέσα από μαθηματικά μοντέλα. Με άλλα λόγια, το κινητικό σύστημα μπορεί να μοντελοποιηθεί μαθηματικά σε διαφορετικά επίπεδα ή λεπτομέρειες. Πιο απλά, μπορεί να δημιουργηθεί ένα μαθηματικό μοντέλο που θα αναφέρεται στο τελικό όργανο-μυ που εκτελεί μια συγκεκριμένη κίνηση ως σημειακή μάζα, η οποία φυσικά υπόκειται σε επιταχύνσεις καρτεσιανού χώρου μιας, δύο ή τριών διαστάσεων. Κάθε μυς όταν συσπάται παράγει μια δύναμη, η κατεύθυνση του διανύσματος της οποίας είναι σύμφωνη με τον άξονα δράσης του συγκεκριμένου μυ. Αυτός ο μυς επομένως, ως τελικό όργανο, μπορεί να υποστεί επιταχύνσεις ή επιβραδύνσεις (ανάλογα με το έργο που εκτελεί), ένα γεγονός που μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά, ακόμη και τρισδιάστατα. Ένα άλλο, ακόμη πιο ρεαλιστικό μοντέλο από αυτό, αντικαθιστά τη δυναμική που αναπτύσσεται στη σημειακή μάζα με ένα άκαμπτο σώμα, το οποίο παρουσιάζει πολλαπλές συνδέσεις και το οποίο υπόκειται σε ροπές στρέψης γύρω από κάθε του σημείο. Δηλαδή, το σημειακό αυτό τελικό όργανο-μυ, που κάνει πολλαπλές αλληλοσυνδέσεις και αλληλοσυσχετίσεις με τις δυνάμεις που παράγονται από άλλους μυς της περιοχής που μας ενδιαφέρει (για παράδειγμα ο καρπός), αποτελεί τη βάση πάνω στην οποία δρουν και εξασκούν τις παραγόμενες δυνάμεις τους οι “συνεργαζόμενοι με αυτό μυς”. Αυτό αποτελεί ακόμη πιο εξελιγμένα και λεπτομερή μοντέλα, οι ροπές στρέψης αντικαθιστούνται περαιτέρω από τη συνδυασμένη δράση των ξεχωριστών μυών που ασκούν δράση σε κάθε μοναδική δραστηριότητα, σε συνεργασία πάντοτε με τον αρχικό τελεστή-μυ (αγωνιστής μυς). Με τον τρόπο αυτό, στα συγκεκριμένα περισσότερο εξελιγμένα μοντέλα δημιουργούνται οι ανάλογες δυνάμεις κατά μήκος συγκεκριμένων αρθρώσεων, ενώ μπορεί να περιλαμβάνονται επιπλέον άλλες εσωτερικές ιδιότητες των ίδιων των μυών αυτών, όπως ακριβώς συμβαίνει με τις κλασικές σχέσεις ανάμεσα στο μήκος του μυός, την ταχύτητα εκτέλεσής του και τη μυϊκή δύναμη που παράγεται από τη συγκεκριμένη σύσπαση.

Όταν αναφερόμαστε σε πιο λεπτομερές μυοσκελετικό μοντέλο, εδώ ερχόμαστε αντιμέτωποι με μια ουσιαστική πρακτική έννοια που αναφέρεται στην κινητική συμπεριφορά. Η μοντελοποίηση της συμπεριφοράς, μπορεί να παρουσιάζει δυσκολία στην έκφρασή της, μπορεί όμως να διευκολύνει σε σημαντικά την κατανόησή μας, στο πως ακριβώς εκτελείται μια δραστηριότητα (4). Βέβαια, η χρησιμοποίηση του πιο κατάλληλου μοντέλου από τον ερευνητή ή τον κλινικό πρακτικό, είναι καθαρά θέμα κρίσης. Για ευνόητους φυσικά λόγους είναι καλύτερα να χρησιμοποιείτε το πιο απλούστερο μοντέλο, που είναι δυνατόν να ερμηνεύσει με μεγαλύτερη ευκολία τα ιδιαίτερα κινητικά γεγονότα που μας ενδιαφέρουν.

4-3-2. Εξελεγμένα Μαθηματικά μοντέλα κινητικού ελέγχου

Μαθηματικά, ανεξάρτητα σε πόσες λεπτομέρειες αναφερόμαστε, μπορούμε να αναπαραστήσουμε την κατάσταση του σώματος σε χρόνο t , με ένα διάνυσμα x_t , το οποίο περιέχει τη θέση και την ταχύτητα ενός τελικού εκτελεστή-οργάνου ή μιας ομάδας αρθρώσεων, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στο μηχανικό σύνολο του άνω άκρου (ώμος, αγκώνας, πηχειοκαρπική άρθρωση) αλλά περιλαμβάνουν επίσης και άλλα μηχανικά κυρίως στοιχεία, όπως η εσωτερική κατάσταση που βρίσκεται κάθε ξεχωριστός μυς ή η γωνιακή ταχύτητα της άρθρωσης, που συμμετέχουν στο μοντέλο. Οι κινητικές εντολές, που χαρακτηρίζονται από ένα διάνυσμα u_t που εξαρτάται από το χρόνο, ανταποκρίνονται ουσιαστικά στις ροπές στρέψης των αρθρώσεων, στις μυϊκές δυνάμεις που παράγονται από τις κατάλληλες μυϊκές συσπάσεις ή στην κινητική νευρωνική δραστηριότητα, η οποία μόνον έμμεσα οδηγεί σε αλλαγές των παραγόμενων των μυϊκών δυνάμεων. Οι δυναμικές του συστήματος, ο τρόπος δηλαδή με τον οποίο οι κινητικές εντολές αλλάζουν την κατάσταση, μπορεί να εκφραστεί με την ακόλουθη εξίσωση :

$$\dot{x}_t = f(x_t, u_t)$$

Η εξίσωση αυτή περιγράφει με μαθηματικό τρόπο τις ιδιότητες του συστήματος που ελέγχεται. Περιγράφει πως οι αλλαγές σε μια κατάσταση, εξαρτώνται από τη συγκεκριμένη τρέχουσα κατάσταση και από την τρέχουσα κινητική εντολή που εκτελείται. Οι αλλαγές αυτές αναφέρονται σε όλα τα συστατικά της κατάστασης ή του συστήματος, αναπαριστούνται από την παράγωγο. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το διάνυσμα x_t , περιέχει τη θέση και την ταχύτητα, επομένως χρησιμοποιείται η πρώτη παράγωγος του διανύσματος για να συμπεριλάβει την ταχύτητα και την επιτάχυνση.

Ο ρόλος του “ελεγκτή” είναι να εξειδικεύει τις κινητικές εντολές, u_t . Η διαδικασία της επιλογής των κινητικών εντολών περιγράφεται μαθηματικά με την έννοια μιας πολιτικής ή θεωρίας ελέγχου (control policy), εκφράζεται δηλαδή με μια χαρτογράφηση π από κάποιες ανάλογες μεταβλητές, όπως ο χρόνος (t) ή η κατάσταση του σώματος (x_t), σε ελέγχους u_t . Η έννοια αυτή της πολιτικής του ελέγχου μπορεί να είναι δύο ειδών: (α) μια καθαρή προς τα εμπρός τροφοδότηση (feedforward) ανοικτής κινητικής αλυσίδας (open loop), όπου οι κινητικές εντολές ισούνται με τη χαρτογράφηση ως συνάρτηση του χρόνου:

$$u_t = \pi(t)$$

και (β) μια ανατροφοδότηση (feedback) κλειστής κινητικής αλυσίδας (closed loop) κατά την οποία οι κινητικές εντολές ισούνται με την χαρτογράφηση που είναι πλέον συνάρτηση του χρόνου αλλά και της κατάστασης του συστήματος:

$$u_t = \pi(x_t, t)$$

Οι κινητικές εντολές ανατροφοδότησης (feedback) εξαρτώνται απευθείας περισσότερο από την αισθητική επαναπληροφόρηση (από τους αισθητικούς υποδοχείς της περιφέρειας) από ότι η εσωτερική κατάσταση του συστήματος. Η θεωρία ελέγχου, σε συνδυασμό με τη δυναμική του κινητικού συστήματος, προσδιορίζει πλήρως την πορεία της συμπεριφοράς (μεταφέροντας παράλληλα και τα αποτελέσματα του θορύβου που παράγεται κατά την εκτέλεση). Επομένως, ο ρόλος του κινητικού συστήματος είναι να ακολουθεί και να εφαρμόζει μια θεωρία ελέγχου που θα εξασφαλίζει την ολοκλήρωση της δραστηριότητας ενώ παράλληλα θα ελαχιστοποιεί ένα κόστος J , το οποίο γενικά τόσο από την κατάσταση όσο και από τις κινητικές εντολές που εκτελούνται.

Μπορούμε να ορίσουμε το μυστατικό αντανακλαστικό, ως την τρίτη παράγωγο της κατάστασης x_t που αναφέραμε παραπάνω, δηλαδή ως την πρώτη παράγωγο της επιτάχυνσης. Το 1985, οι Flash και Hogan (5) θεώρησαν ότι το τετράγωνο του παραπάνω μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα κατάλληλο μέτρο, δηλαδή να ορίσει κάποιο άλλο μέγεθος. Ας υποθέσουμε ότι η θέση ενός εκτελεστικού κινητικού οργάνου (η θέση ετοιμότητας του χεριού για τη ρήψη ενός αντικειμένου), σε χρόνο t , είναι x_t . Η υπόθεση του ελάχιστου αντανακλαστικού υποστηρίζει ότι, ανάμεσα σε όλους τους πιθανούς τρόπους με τους οποίους μπορεί να κινηθεί το εκτελεστικό αυτό όργανο, από μια αρχική θέση $x_0 = 0$ σε ένα στόχο-τελική θέση (ολοκλήρωση της κινητικής δράσης) που χαρακτηρίζεται g , σε χρόνο T (άρα $x_t = g$), ο καλύτερος τρόπος είναι αυτός που ελαχιστοποιεί το κόστος J , το οποίο δίνεται από το ολοκλήρωμα του τετραγώνου του μυστατικού αυτού αντανακλαστικού τόξου:

$$J = \int_0^T |\ddot{x}_t|^2 dt$$

Η χρήση της θέσης ως μέγεθος και όχι της επιτάχυνσης () μας επιτρέπει να βρούμε αναλυτικά τις μοναδικές καλύτερες ακολουθίες της θέσης και επομένως τις μοναδικές κινητικές εντολές, που ελαχιστοποιούν το κόστος J . Το αποτέλεσμα της ελαχιστοποίησης του κόστους είναι μια ήπια τροχιά που χαρακτηρίζεται καλύτερα εάν εξετάσουμε την ταχύτητα \dot{u} (δεύ-

τερη παράγωγος της θέσης, \dot{x}), η οποία ακολουθεί μια συμμετρική, κωδωνοειδούς σχήματος καμπύλη, που προσομοιάζει περισσότερο με την ανθρώπινη κίνηση.

Σε πιο δυναμικό επίπεδο, μπορούμε να αντικαταστήσουμε την άποψη του αντανεκλαστικού με το ρυθμό μεταβολής της ροπής στρέψης μιας άρθρωσης (7):

$$J = \int_0^T |\dot{\tau}_t|^2 dt$$

Δεδομένου ότι οι δυνάμεις και οι ροπές έχουν γραμμική σχέση με την επιτάχυνση (σύμφωνα με τον 2ο νόμο του Νεύτωνα), ο ρυθμός μεταβολής της ροπής είναι ποιοτικά παρόμοιος με αυτόν του αντανεκλαστικού. Βέβαια, οι μη γραμμικότητες στη χαρτογράφηση από τις γωνίες της άρθρωσης στη τελική θέση του εκτελεστή και από το γεγονός ότι οι δυναμικές των μελών είναι διαφορετικές σε διαφορετικές κατευθύνσεις, σημαίνει ότι δεν προβλέπεται τα δύο αυτά κόσθη δεν παράγουν ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα.

Τα δύο αυτά μοντέλα, δηλαδή του ελάχιστου αντανεκλαστικού και της ελάχιστης μεταβολής της ροπής, αναπαριστούν ότι η κανονικότητα της κίνησης τυπικά περιγράφεται μέσα από την έννοια της βελτιστοποίησης κάποιων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της κίνησης. Παρότι οι δύο αυτές θεωρίες έχουν αντικατασταθεί από πρόσφατες μελέτες, έχουν κατοχυρώσει ως τόσο πολλά σημαντικά χαρακτηριστικά σε πιο σύγχρονα μοντέλα. Τόσο το μοντέλο του ελάχιστου αντανεκλαστικού όσο και αυτό της ελάχιστης μεταβολής της ροπής παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα στην τρίτη παράγωγο της θέσης. Πιο πρόσφατες μελέτες χρησιμοποιούν ως μέγεθος τις κινητικές εντολές και αναφέρονται στο τετράγωνό του:

$$J = \int_0^T |u_t|^2 dt$$

Στο είδος του συγκεκριμένου μοντέλου φαίνεται να επηρεάζεται ο ρυθμός μεταβολής της μυϊκής δύναμης. Ωστόσο και το μοντέλο αυτό παρουσιάζει κάποιο σφάλμα στο τετράγωνο της τρίτης παραγώγου της θέσης.

Εδώ δημιουργείται ένα ερώτημα: γιατί έχει σημασία το τετράγωνο των κινητικών εντολών (u^2). Η τετραγωνική μορφή αυτού του κόστους είναι εν μέρει επιλεγμένη για τη μαθηματική μας διευκόλυνση. Για την άμεση και εύκολη επίλυση τέτοιων προβλημάτων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το τετραγωνικό σφάλμα που προκύπτει από τις κινητικές εντολές. Ωστόσο ο κύριος λόγος για τον οποίο έχει επιλεχτεί μια τέτοια συνάρτηση κόστους

είναι ότι έχει αποδειχθεί ότι είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη δημιουργία μοντέλων που προσφέρουν μια αξιόπιστη περιγραφή της συμπεριφοράς. Δηλαδή, ο πιο αξιόπιστος τρόπος για να περιγράψουμε μια συνάρτηση κόστους είναι να χρησιμοποιήσουμε ως μέγεθος τις κινητικές εντολές. Παρόλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγεθος αυτό δεν έχει επιλεχθεί σύμφωνα με μια βασισμένη σε αρχές θεωρητική λογική. Η κατανάλωση ενέργειας, η οποία χαρακτηρίζεται ποσοτικά από τη χρησιμοποίηση του ATP, φαίνεται να κλιμακώνεται γραμμικά με την μυϊκή δύναμη, όχι όμως στο τετράγωνο. Ακόμη και εάν οι κινητικές εντολές αυτές καθαυτές αναπαριστούν απόλυτα ή τουλάχιστον σχετίζονται ικανοποιητικά με τη μυϊκή δύναμη, το κόστος αυτό δεν φαίνεται να ταυτίζεται με την ενέργεια που έχει καταναλωθεί. Αντί για αυτό, η τετραγωνική μορφή του σφάλματος των κινητικών εντολών θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως μια πι αφηρημένη 'έννοια της "κινητικής προσπάθειας", η οποία φαίνεται να περιγράφει με επιτυχία ορισμένες πλευρές της συμπεριφοράς, παρόλο που δεν έχει ξεκάθαρο θεωρητικό υπόβαθρο.

Υπάρχουν ορισμένα ανεξάρτητα εμπειρικά στοιχεία που υποστηρίζουν ότι το κινητικό σύστημα προσπαθεί να ελαχιστοποιήσει μερικές τετραγωνικές συναρτήσεις κόστους. Σε δραστηριότητες που δημιουργούνται στατικές δυνάμεις, το άτομο πρέπει να δημιουργεί μια συντηρούμενη δύναμη συγκεκριμένου μεγέθους και συγκεκριμένης κατεύθυνσης. Οι δραστηριότητες αυτές χρησιμεύουν ιδιαίτερα για να μελετηθεί πως το κινητικό σύστημα επιλύει τον πλεονασμό που αναφέρθηκε προηγουμένως. Περιορίζουν τις δυναμικές συμπλοκότητες και τους κινηματικούς πλεονασμούς που παρουσιάζονται στις κινήσεις σημείο-σημείο, επομένως απομονώνουν τον πλεονασμό που συνδέεται με τους συντονιζόμενες πολλαπλές μυϊκές ομάδες προκειμένου να δημιουργήσουν μια προκαθορισμένη δύναμη. Επειδή οι αρθρώσεις καλύπτονται για τον έλεγχο της κίνησής τους από πολλούς μυς, η δημιουργία μιας δύναμης σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, για παράδειγμα στον αγκώνα ή στον καρπό, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα από έναν ορισμένο αριθμό συνδυασμών δραστηριότητας συγκεκριμένων μυών. Για παράδειγμα, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν συγκεκριμένες καθαρές δυνάμεις σε κατεύθυνση και μέγεθος μέσα από το συνδυασμό ταυτόχρονων συσπάσεων διαφόρων ζευγών μυών αγωνιστών με τους ανταγωνιστές τους. Στην πραγματικότητα, οι διάφοροι μυς με πολλαπλούς βαθμούς ελευθερίας δράσης που οργανώνονται γύρω από μια άρθρωση και ελέγχουν την κίνησή της, δεν οργανώνονται σε καθαρά μόνον ζεύγη αγωνιστών-ανταγωνιστών, αλλά πιο απλά σαν επιλογή μυϊκών ομάδων που μπορούν σε κάθε στιγμή να παράγουν συγκεκριμένη δύναμη σε συγκεκριμένη κατεύθυνση. Στον καρπό για παράδειγμα υπάρχουν πέντε μυϊκές ομάδες που μπορούν, η κάθε μια ξεχωριστά, να δημιουργήσουν δυνάμεις κατά μήκος μιας απλής κατεύθυνσης δράσης. Προ-

κειμένου όμως να δημιουργηθεί μια δύναμη έξω από τη γραμμή δράσης του καθενός ξεχωριστού μυ που δρα στην άρθρωση του καρπού, απαιτείται η επιστράτευση πολλαπλών μυϊκών ομάδων που θα συντονιστούν με κατάλληλο τρόπο για τη συγκεκριμένη κατεύθυνση. Μετρήθηκε πόσο συμβάλει ο κάθε μυς ξεχωριστά κατά τη διάρκεια δραστηριοτήτων που δημιουργούνται στατικές δυνάμεις στην άρθρωση του καρπού, και διαπιστώθηκε ότι οι ξεχωριστοί μυς που δρουν και ελέγχουν την περιοχή του καρπού κατέχουν μια συντονισμένη καμπύλη η οποία δεν επικεντρώνεται και δεν ταυτίζεται με την ανατομική γραμμή δράσης των μυών αυτών. Η προτιμώμενη κατεύθυνση της μυϊκής δράσης, δηλαδή η κατεύθυνση της δύναμης κατά την οποία ο μυς παρουσιάζει τη μεγαλύτερη του ενεργητικότητα, μπορεί να ερμηνευτεί με τη βοήθεια ενός μοντέλου όπου οι δυνάμεις που παράγονται από τους μυς επιλέγονται για να ελαχιστοποιήσουν το τετράγωνο της δύναμης σε κάθε μυ. Τα στοιχεία αυτά δεν περιορίζονται μόνον στην περιοχή του καρπού, αλλά έχουν επεκταθεί και δράσεις μυών στην περιοχή του αγκώνα και του ώμου. Αυτό έχει σημασία, γιατί οι δυνάμεις στη πρώτη περίπτωση κατανέμονται μονοαρθρικά ενώ στη δεύτερη διαρθρικά. Μπορεί να θεωρηθούν επίσης και εναλλακτικές εκδοχές της μορφής του κόστους, με εκθέτες μεγαλύτερων του δύο ($|u|^3$ και το αντίστοιχο σφάλμα του). Για δυνάμεις (εκθέτες) κάτω του δύο παρουσιάζεται ένας ευρύτερος συντονισμός με μεγαλύτερο καταμερισμό του φορτίου σε όλους του μυς, ενώ μεγαλύτερες δυνάμεις (εκθέτες) υπαγορεύουν τη μικρότερη επιστράτευση των μυών, όπου αυτό είναι δυνατό. Η τετραγωνική μορφή του κόστους φαίνεται να περιγράφει τα δεδομένα με τον ίδιο τρόπο όπως και κάθε άλλη εναλλακτική μορφή δύναμης (εκθέτη). Στην πράξη υποστηρίζεται ότι οι παράμετροι του κόστους μιας προσπάθειας μπορεί να είναι πιο ευαίσθητες από άλλες παραμέτρους του μοντέλου σε σχέση με εκείνες του κόστους λειτουργίας.

4-4. Έλεγχος ανατροφοδότησης (Feedback control)

Όλες οι θεωρίες που παρουσιάστηκαν μέχρι εδώ, θεωρούν μόνον πολιτικές ελέγχου προς τα εμπρός τροφοδότησης (feedforward), στις οποίες εξελίσσεται μια προκαθορισμένη ακολουθία εντολών κατά τα χρονική στιγμή της εκτέλεσης της κινητικής δράσης. Σύμφωνα με την “πορεία της εκτέλεσης” δεν υπάρχει κάποια εσωτερική ενημέρωση σχετικά με το αποτέλεσμα που πραγματοποιήθηκε από την κινητική εντολή που ολοκληρώθηκε. Στην πραγματικότητα, με μια τέτοια διαδικασία, δεν περιοριζόμαστε σαν παθητικοί θεατές του αποτελέσματος του θορύβου εκτέλεσης ή εξωτερικής διακύμανσης ή ταλάντωσης. Για όλες τις κινήσεις και ιδιαίτερα τις γρήγορες, όπως οι σακαδικές κινήσεις του ματιού, μπορούμε να

παρατηρούμε αποκλίσεις από τις αναμενόμενες συμπεριφορές και να γίνονται οι ανάλογες ρυθμίσεις κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της κίνησης. Ένας απλός έλεγχος ανατροφοδότησης μπορεί να σχηματισθεί ενισχύοντας μια προς τα εμπρός τροφοδότηση με ένα στοιχείο ανατροφοδότησης, το οποίο ουσιαστικά προσπαθεί να ακυρώσει τα αποτελέσματα του θορύβου και των εξωτερικών διακυμάνσεων και ταλαντώσεων διατηρώντας την τροχιά της κίνησης που εκτελείται κοντά σε αυτήν που έχει σχεδιασθεί. Ενώ το είδος αυτό της στρατηγικής βοηθά να αρνητικοποιηθεί η επίπτωση του θορύβου, είναι ιδιαίτερα ευέλικτο να γίνεται προσπάθεια διόρθωσης οποιαδήποτε απόκλισης από την επιθυμητή συμπεριφορά. Μια τέτοια στενή προσπάθεια διόρθωσης του λάθους έχει μεγάλη κατανάλωση κόστους και ίσως να μην είναι απόλυτα απαραίτητες. Αντί αυτών είναι προτιμότεροι τρόποι που αφήνουν μεγαλύτερη ελευθερία και επιλογή στη διόρθωση των λαθών κατά την κινητική εκτέλεση.

Η ουσιαστική διαφορά ανάμεσα στους δύο τρόπους ανατροφοδότησης, προς τα εμπρός και προς τα πίσω, είναι ότι ο έλεγχος της προς τα πίσω τροφοδότησης (ανατροφοδότηση ή επαναπληροφόρηση) επιλέγει τις κινητικές εντολές σαν μια συνάρτηση όχι μόνον του χρόνου αλλά και της τρέχουσας κατάστασης:

$$u_i = \pi(x_i, t)$$

Ο έλεγχος ανατροφοδότησης έτσι στηρίζεται στη γνώση του τι ακριβώς συμβαίνει κάθε στιγμή στο κινητικό σύστημα. Ενώ αυτό φαίνεται κατά κάποιο τρόπο ως μη πραγματικό, με δεδομένη τη θορυβώδη και καθυστερημένη φύση της αισθητικής επαναπληροφόρησης που είναι διαθέσιμη, εξυπηρετεί σαν μια λογική απλοποιημένη προσέγγιση για να διερευνήσει την πιο εμφανή πλευρά του ελέγχου της ανατροφοδότησης. Τα πιο λεπτομερή μοντέλα αντικαθιστούν την ακριβή κατάσταση του συστήματος x_i , με μια εκτίμηση της κατάστασης \hat{x}_i , που θα πρέπει να δημιουργείται με βάση την αισθητική ανατροφοδότηση. Βέβαια, κάνουμε μια απλοποιημένη υπόθεση ότι εάν η ανατροφοδότηση είναι πάντοτε διαθέσιμη, τότε θα είναι γνωστή με ακρίβεια η κατάσταση του συστήματος κάθε στιγμή. Επομένως θα πρέπει να εστιαστούμε στο πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί πρακτικά αυτή η γνώση σχετικά με την κατάσταση του συστήματος.

4-4-1. Η σημασία της αισθητικής επαναπληροφόρησης

Κάθε κίνηση που εκτελείται εξαρτάται απαραίτητως από τα εισερχόμενα σήματα-πληροφορίες ανατροφοδότησης. Γνωρίζοντας με ακρίβεια ποια κίνηση θα πρέπει να εκτελεστεί και λαμβάνοντας τις ανάλογες πληροφορίες από τα αισθητικά ερεθίσματα (ανατροφοδότησης), εξειδικεύονται οι στόχοι της δραστηριότητας σε σχέση με τη αρχική κατάσταση.

ση του σώματος. Καθώς εξελίσσεται η δραστηριότητα, η συνεχής ανατροφοδότηση απαιτεί την διαρκή καταγραφή της κατάστασης του σώματος αλλά και του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εκτελείται η κίνηση, μέσω της όρασης και της ιδιοδεκτικότητας, μια και τα ξεχωριστά αισθητικά ερεθίσματα άλλων περιοχών αισθητικότητας προσφέρουν ανακριβείς πληροφορίες σχετικά με αυτά. Αν και η όραση μπορεί να προσφέρει μεγάλη ακρίβεια, η χρήση της όρασης για την ταυτοποίηση του σώματος σε σχέση με το χώρο απαιτεί επιπρόσθετη γνώση του προσανατολισμού των ματιών σε σχέση με το κεφάλι και του κεφαλιού σε σχέση με το υπόλοιπο σώμα, που όλα προκαλούν θόρυβο και αβεβαιότητα. Με δεδομένη τη φύση του θορύβου της αισθητικής επαναπληροφόρησης, δύο διαφορετικές αισθητικές αντιλήψεις συνήθως παρουσιάζουν διαφορετικές εκτιμήσεις για το ίδιο θέμα. Το ερώτημα που εγείρεται είναι πως μπορεί να εκτιμηθεί ένα θέμα, όπως η θέση του χεριού, με την αναφορά άλλου, όπως ποια κίνηση θα εκτελέσει το μέλος αυτό.

Το γενικό αυτό πρόβλημα, μπορεί να τυποποιηθεί υποθέτοντας ότι οι αισθήσεις μας προσφέρουν “θορυβώδεις” αντιλήψεις για τη πραγματική κατάσταση των χεριών μας. Εάν η πραγματική θέση των χεριών συμβολίζεται με μια μεταβλητή x , τότε μπορεί να μοντελοποιηθεί η όραση (v) και η ιδιοδεκτικότητα (p), καθώς παρέχονται ανεξάρτητες και αμερόληπτες παρατηρήσεις της θέσης αυτής, ως $v \sim N(x, \sigma_v^2)$ και $p \sim N(x, \sigma_p^2)$, όπου με σ^2 συμβολίζεται η διακύμανση του κάθε μεγέθους. Με δεδομένες τις παρατηρήσεις αυτές ένας απλός τρόπος για να εκτιμηθεί η θέση των χεριών x , να ερωτηθεί ποια θέση των χεριών οδηγεί στις παρατηρήσεις αυτές. Η προσέγγιση αυτή είναι γνωστή ως Μέγιστη Πιθανότητα Εκτίμησης (Maximum Likelihood Estimation) (MLE). Η MLE της θέσης του χεριού μπορεί να φανεί ως ισοδύναμη με ένα γραμμικό συνδυασμό δύο ξεχωριστών μεταβλητών, με την κάθε μεταβλητή να είναι σταθμισμένη αντίστροφα με την διακύμανσή της:

$$\hat{x}_{MLE} = \frac{\sigma_v^{-2}}{\sigma_v^{-2} + \sigma_p^{-2}} v + \frac{\sigma_p^{-2}}{\sigma_v^{-2} + \sigma_p^{-2}} p$$

Έτσι, η συνδυασμένη εκτίμηση θα πρέπει να βρίσκονται κάπου ανάμεσα στις δύο ξεχωριστές εκτιμήσεις. Η αρχή αυτή μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα σε κάθε ζεύγος αισθητικών αντιλήψεων, όχι μόνο για την όραση και την ιδιοδεκτικότητα, και μπορεί να γενικευθεί για να ενσωματώσει οποιοδήποτε είδος και αριθμό αισθητικής αντίληψης. Η MLE προσφέρει μια κανονιστική λογική για το πώς μπορεί να συνδυαστούν άριστα δύο αισθητικές μεταβλητές σε μια ενιαία εκτίμηση.

5. Βασικά στοιχεία για την κινητική μάθηση και τη διαταραχή της

Ας πάρουμε ένα παράδειγμα ενός ατόμου που έχει υποστεί ένα Αγγειακό Εγκεφαλικό Επεισόδιο, το οποίο είχε σαν αποτέλεσμα να χαθεί ο κινητικός έλεγχος στο αντίθετη πλευρά του σώματος από αυτή της βλάβη του εγκεφάλου. Στο άτομο αυτό, την κατάλληλη στιγμή, θα εφαρμοστούν οι “θεραπευτικές παρεμβάσεις”, οι περισσότερες από τις οποίες στηρίζονται στις θεωρίες του κινητικού ελέγχου που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Το συγκεκριμένο άτομο ακολούθησε ένα πρόγραμμα για παράδειγμα 5 εβδομάδων, με το οποίο απέκτησε σταδιακά την ικανότητα να στέκεται και πάλι μόνος του, να βαδίζει, να περιποιείται τον εαυτό του και να σιτίζεται, ενώ μετά από ένα χρονικό διάστημα θα επιστρέψει στο σπίτι του και στις κοινωνικές του υποχρεώσεις.

Με βάση το παράδειγμα αυτό, έρχονται άμεσα ορισμένες βασικές ερωτήσεις, με ιδιαίτερη σημασία. Ορισμένες ερωτήσεις έχουν θεωρητική αξία, όπως ποια είναι η αιτία της “ανάρρωσης” της κινητικής λειτουργίας του συγκεκριμένο ατόμου; Πόσο μέρος αποδίδεται στην “αυτόματη ανάρρωση” και πόσο μέρος μπορεί να αποδοθεί στις παρεμβάσεις που εφαρμόστηκαν; Άλλες πάλι έχουν ιδιαίτερη πρακτική σημασία, όπως πόσες από τις κινητικές επιδεξιότητες που απέκτησε ξανά το άτομο, είναι ικανό να διατηρήσει και να τις χρησιμοποιήσει όταν αφήσει το περιβάλλον της θεραπευτικής παρέμβασης (Αποκατάστασης) και επιστρέψει στο σπίτι; Θα μπορέσει να αποκτήσει άλλες επιπλέον κινητικές δεξιότητες από αυτές που έχασε;

Όλες αυτές οι ερωτήσεις και οι προβληματισμοί που τις συνοδεύουν αναφέρονται στο πεδίο της “κινητικής μάθησης” που αντανακλά τη σημασία της στο θεωρητικό, ερευνητικό και κλινικό πεδίο που εμπλέκεται στην επανεκπαίδευση του ατόμου με προβλήματα κινητικού ελέγχου.

5-1. Τι είναι η κινητική μάθηση;

Στο προηγούμενο κεφάλαιο ορίσαμε το πεδίο του κινητικού ελέγχου σαν τη μελέτη της φύσης και της αιτίας της κίνησης. Το πεδίο της κινητικής μάθησης ορίζετε σαν η μελέτη της απόκτησης ή και της τροποποίησης της κίνησης. Ενώ ο κινητικός έλεγχος εστιάζει στην κατανόηση πως δημιουργείται και ελέγχεται η κίνηση που έχει ήδη αποκτηθεί, η κινητική μάθηση εστιάζει στην κατανόηση πως αποκτάται αλλά και πως τροποποιείται και διαμορφώνεται μια νέα κινητική δραστηριότητα. Το πεδίο της κινητικής μάθησης, παραδοσιακά ανα-

φέρεται στη μελέτη της απόκτησης ή της τροποποίησης της κίνησης σε φυσιολογικά άτομα. Σε αντίθεση, η ανάρρωση της λειτουργίας, αναφέρεται στην απόκτηση εκ νέου της κινητικής επιδεξιότητας που χάθηκε μέσω της βλάβης ή κάκωσης του εγκεφάλου, που είχε σαν αποτέλεσμα να διαταραχθεί ο έλεγχος της κίνησης που μας αφορά.

Στον όρο της κινητικής μάθησης δεν υπάρχει τίποτε “έμφυτο”, σε αντίθεση με ότι υποστηρίχθηκε για τον κινητικό έλεγχο. Ωστόσο θα πρέπει να διακριθεί από τη διαδικασία που εμπλέκεται στην ανάρρωση της κινητικής λειτουργίας, που είναι συνώνυμη της “νευροπλαστικότητας”, οι δύο αυτοί όροι θεωρούνται διαφορετικοί και είναι σαφώς διακριτοί. Από την άλλη ο διαχωρισμός αυτός ανάμεσα στην ανάρρωση της λειτουργίας και της κινητικής μάθησης μπορεί να είναι παραπλανητικός. Και αυτό γιατί οι προσπάθειες που γίνονται (από τους κλινικούς) που αφορά τη βοήθεια των “ασθενών” να αποκτήσουν ξανά τις δεξιότητες που χάθηκαν σαν αποτέλεσμα της βλάβης, είναι παρόμοιες με εκείνες που αντιμετωπίζονται στο πεδίο της κινητικής μάθησης. Αυτό επιβεβαιώνεται από το γεγονός ότι οι ερωτήσεις που αναδύονται για τη διευκόλυνση του πεδίου, μπορεί να θεωρηθούν κοινές, όπως: πως μπορώ να “δομήσω” καλύτερα την πράξη (θεραπευτική παρέμβαση) για να εξασφαλίσω τη μάθηση; Πως μπορώ να εξασφαλίζω ότι οι δεξιότητες που έχουν μαθευτεί σε ένα πλαίσιο μεταφέρονται σε άλλο; Ή εάν απλοποιηθεί μια δραστηριότητα, που κάνει ευκολότερη στην εκτέλεσή της, μπορεί να συνδυαστεί με αποτελεσματικότερη μάθηση;

5-1-1. Αρχικοί ορισμοί της κινητικής μάθησης

Η μάθηση (learning) γενικώς, περιγράφεται σαν η διαδικασία απόκτησης γνώσης σχετικό με τον περιβάλλοντα κόσμο. Η κινητική μάθηση περιγράφεται σαν ένα σύνολο διαδικασιών που συνοδεύεται με την πρακτική ή την εμπειρία, που οδηγούν σε σχετικά μόνιμες αλλαγές στην ικανότητα παραγωγής επιδέξιων δραστηριοτήτων. Σύμφωνα με τον ορισμό της κινητικής μάθησης, αυτός προβάλλεται σε τέσσερες απόψεις: (α) η μάθηση είναι μια διαδικασία απόκτησης ικανότητας για την εκτέλεση επιδέξιων κινητικών δραστηριοτήτων, (β) η μάθηση προέρχεται από την εμπειρία ή την πρακτική, (γ) η μάθηση δεν μπορεί να μετρηθεί απευθείας, αντίθετα, τεκμηριώνεται και ταυτοποιείται στη βάση της συμπεριφοράς, και (δ) η μάθηση προκαλεί σχετικά μόνιμες αλλαγές στη συμπεριφορά, έτσι οποιοσδήποτε βραχυπρόθεσμες αλλαγές που παρουσιάζονται στην αρχή της διαδικασίας, δεν πρέπει να θεωρούνται σαν αποτέλεσμα της μάθησης..

5-1-2. Διεύρυνση των ορισμών της κινητικής μάθησης

Εφόσον η κινητική μάθηση έχει σχέση με την εμπειρία και το αποτέλεσμα της ενσωματώνεται στη συμπεριφορά του ατόμου, ο ορισμός της κινητικής μάθησης μπορεί να επεκταθεί για να συμπεριλάβει και άλλες απόψεις που δεν θεωρούνται παραδοσιακά μέρη της κινητικής μάθησης. Έτσι, μπορεί να ειπωθεί ότι σε αυτήν εμπλέκεται κάτι περισσότερο από την κινητική διαδικασία, όπως η μάθηση νέων στρατηγικών για την αίσθηση και για τη μετακίνηση. Επομένως, η κινητική μάθηση, όπως και ο κινητικός έλεγχος, αναδύεται από μια σύμπλοκη διαδικασία: αντίληψης – γνωσιακής λειτουργίας – κινητικής δράσης. Οι κλασικές ανασκοπήσεις της κινητικής μάθησης εστίαζαν κυρίως στις αλλαγές του ατόμου. Η διαδικασία όμως της κινητικής μάθησης περιγράφεται σαν η διερεύνηση για την επίλυση δραστηριοτήτων που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση του ατόμου με την ίδια τη δραστηριότητα και με το περιβάλλον.

Παρόμοια, η αποκατάσταση της λειτουργία που έχει διαταραχθεί, εμπλέκει την επανοργάνωση των συστημάτων αντίληψης και δράσης, σε σχέση με τις ειδικές δραστηριότητες και το περιβάλλον. Έτσι, εάν θέλει κάποιος να μελετήσει την κινητική μάθηση ή την αποκατάσταση (ανάρρωση) της λειτουργίας θα πρέπει να το κάνει μέσα στο πλαίσιο της επίλυσης των λειτουργικών δράσεων σε συγκεκριμένο περιβάλλον.

5-1-3. Η έννοια της εκτέλεσης σε σχέση με τη μάθηση

Σύμφωνα με την κλασική άποψη, η μελέτη της κινητικής μάθησης εστιάζει αποκλειστικά στο κινητικό αποτέλεσμα, όπου δεν φαίνεται να μην παρουσιάζει κάποια διαφορά ανάμεσα στην “εκτέλεση” και στην κινητική μάθηση. Σύμφωνα με αυτήν, οι αλλαγές στην εκτέλεση που προέρχονται από την πράξη, θεωρεί ότι αντανακλούν αλλαγές στη μάθηση. Βέβαια, η άποψη αυτή δεν μπορεί να δικαιολογήσει ότι ορισμένα αρχικά αποτελέσματα πρακτικής βελτιώνουν την εκτέλεση, δεν συντηρούν απαραίτητα μια κατάσταση μάθησης. Αυτό οδηγεί στην άποψη ότι η μάθηση δεν είναι δυνατόν να εκτιμηθεί κατά τη διάρκεια της πράξης, αλλά μάλλον κατά τη διάρκεια ειδικών δοκιμασιών μνήμης. Έτσι, η κινητική μάθηση ορίζεται ως μια σχετικά μόνιμη αλλαγή και διακρίνεται βεβαίως από την εκτέλεση.

Η έννοια της “εκτέλεσης” από μια διαφορετική πλευρά, είναι η συμπεριφορά που παρατηρείται σε κάθε ειδική χρονική στιγμή, και δεν περιορίζεται στην περιγραφή που παρατηρείται κατά τη διάρκεια της πρακτικής. Η εκτέλεση, εάν παρατηρείται κατά τη διάρκεια των συνεδριών πρακτικής ή κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών μνήμης ή μεταφοράς, είναι το αποτέλεσμα μιας σύμπλοκης αλληλεπίδρασης ανάμεσα σε πολλές παραμέτρους και μεταβλητές, μια από τις οποίες είναι το επίπεδο μάθησης. Είναι δηλαδή διαφορετικές διαδικασίες αλλά φαίνεται ότι συνδέονται στενά μεταξύ τους.

Άλλες παράμετροι που μπορεί να επηρεάσουν την εκτέλεση, σε μικρό ή μεγάλο βαθμό, είναι αντικειμενικές καταστάσεις όπως ο κάματος ή συνθήκες του περιβάλλοντος, και εσωτερικές μεταβλητές όπως το άγχος, το κίνητρο, το ενδιαφέρον και άλλες γνωσιακές λειτουργίες. Έτσι, η εκτέλεση, ανεξάρτητα με το πότε μετριέται, δεν αποτελεί απαραίτητα και ένα μέτρο της απόλυτης μάθησης. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι οι αλλαγές στην εκτέλεση αντανακλούν όχι μόνον τις αλλαγές στη μάθηση αλλά παράλληλα και τις αλλαγές στις διάφορες παραμέτρους, από τις οποίες εξαρτάται.

5-2. Τύποι μάθησης

Η αποκατάσταση-ανάρρωση της λειτουργίας μετά από μια βλάβη του ΚΝΣ, αναφέρεται στην επανάκτηση των σύμπλοκων κινητικών δεξιοτήτων. Είναι όμως δύσκολο να κατανοηθεί η διαδικασία που μεσολαβεί στη μάθηση, μελετώντας την απόκτηση μιας σύμπλοκης δεξιότητας. Ως εκ τούτου αρχικά διερευνήθηκαν οι απλοί τύποι μάθησης, κατανοώντας ότι οι απλοί αυτοί τύποι μάθησης αποτελούν τη βάση για την απόκτηση επιδέξιας συμπεριφοράς. Βέβαια, οι πληροφορίες που υπάρχουν είναι λίγες σχετικά με το πώς οι απλοί αυτοί τύποι μάθησης συμβάλουν ώστε να αποκτηθούν πιο σύμπλοκες δεξιότητες.

5-2-1. Μη συνειρμικοί τύποι μάθησης

Η μη συνειρμική μάθηση (nonassociative learning) εμπλέκει την έκθεση συνήθως σε ένα απλό γεγονός, και θεωρείται ότι δεν αντικατοπτρίζει την εκμάθηση μιας σχέσης μεταξύ πολλαπλών εκδηλώσεων. Παρουσιάζεται όταν δίνεται στο ζώο ένα απλό ερέθισμα επαναληπτικά. Σαν αποτέλεσμα, το νευρικό σύστημα “μαθαίνει” σχετικά με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ερεθίσματος. Οι δύο πιο απλοί τύποι μη συνειρμικής μάθησης είναι η εξοικείωση και η ευαισθητοποίηση.

5-2-1,α. Εξοικείωση

Η εξοικείωση (habituation) είναι η ελάττωση της απαντητικότητας που παρουσιάζεται σαν αποτέλεσμα της επαναλαμβανόμενης έκθεσης σε ένα μη επώδυνο ερέθισμα. Η έννοια της εξοικείωσης χρησιμοποιείται με πολλούς τρόπους στην πράξη. Για παράδειγμα, οι “ασκήσεις εξοικείωσης” χρησιμοποιούνται για να αντιμετωπιστεί ο ίλιγγος σε ορισμένα άτομα με αιθουσαία δυσλειτουργία. Ζητείται από τα άτομα να κινούνται επανειλημμένα σύμφωνα με τον τρόπο που προκαλεί τον ίλιγγό τους. Η επαναλαμβανόμενη αυτή κίνηση προκαλεί εξοικείωση της απάντησης του ίλιγγου. Η εξοικείωση επίσης αποτελεί τη βάση της θεραπείας

για ενήλικες και παιδιά που είναι “αμυντικά ως προς την αφή – tactile defensive”, δηλαδή δείχνουν υπερβολική απαντητικότητα σε δερματικά ερεθίσματα. Τα άτομα εκθέτονται επανειλημμένα σε βαθμιαία αυξανόμενα επίπεδα δερματικών ερεθισμάτων σε μια προσπάθεια να ελαττωθεί η ευαισθησία τους στο συγκεκριμένο ερέθισμα.

5-2-1,β. Ευαισθητοποίηση

Η ευαισθητοποίηση (sensitization) είναι η αύξηση της απαντητικότητας που παρουσιάζεται σαν αποτέλεσμα της έκθεσης σε ένα απειλητικό ή επιβλαβές ερέθισμα. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο δεχθεί ένα επώδυνο ερέθισμα στο δέρμα, και κατόπιν εξετασθεί με ελαφρά αφή, τότε σαν απάντηση στην ευαισθητοποίηση, θα αντιδράσει πιο έντονα στην ελαφρά αφή, από ότι θα συνέβαινε φυσιολογικά. Όταν ένα άτομο εξοικειώνεται πλέον σε ένα ερέθισμα (μετά από επαναλαμβανόμενες εκθέσεις σε αυτό), ένα άλλο επώδυνο ερέθισμα μπορεί να προκαλέσει την απομάκρυνση της εξοικείωσης από το πρώτο. Δηλαδή η ευαισθητοποίηση ανταγωνίζεται το αποτέλεσμα της εξοικείωσης.

Στην πράξη, μερικές φορές είναι σημαντικό να αυξηθεί η ευαισθητοποίηση ενός ατόμου σε ένα απειλητικό ή επιβλαβές, επώδυνο ή μη, ερέθισμα. Για παράδειγμα, αυξάνοντας τη γνώση του ατόμου για ερεθίσματα που αυξάνουν την πιθανότητα για πτώση, μπορεί να προαχθεί η επανεκπαίδευση της ισορροπίας.

Δεν είναι όλοι οι τύποι των μη συνειρμικών τύπων μάθησης, απλοί. Η αισθητική μάθηση, όπου το άτομο σχηματίζει μια αισθητική εμπειρία, είναι ένα παράδειγμα μη συνειρμικής μάθησης. Το άτομο μαθαίνει ότι έχει σχέση με την κατανόηση του ερεθίσματος, στην συγκεκριμένη περίπτωση, το αισθητικό ερέθισμα. Η βοήθεια του ατόμου να διερευνήσει την αντίληψη του χώρου του, όταν σχετίζεται με τη μάθηση μιας συγκεκριμένης δεξιότητας, όπως η προσέγγιση για σύλληψη ή η μεταφορά, θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα παράδειγμα μη συνειρμικής μάθησης.

5-2-2. Συνειρμικοί τύποι μάθησης

Ένας τύπος των αρχών της μάθησης, που στηρίζεται στην παραδοχή ότι οι ιδέες και οι εμπειρίες ενισχύουν η μία την άλλη και μπορεί να συνδέονται για να ενισχύουν τη διαδικασία της μάθησης. Στη συμπεριφορά των ζώων, στη συνειρμική μάθηση εντάσσεται κάθε διαδικασία μάθησης στην οποία μια νέα απάντηση σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο ερέθισμα. Στην ευρύτερη έννοιά του, ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει σχεδόν όλα τα είδη της μάθησης, εκτός από την “εξοικείωση”. Σε πιο περιορισμένη έννοια, περιορίζεται σε μάθηση που προκύπτει από την κλασική και σε οργανική κατάσταση

Αυτή είναι μια "εκμάθηση" ή "κατάσταση προσαρμογής", που δηλώνει ότι δύο διαφορετικά γεγονότα παρουσιάζονται ή συμβαίνουν μαζί. Αυτό είναι πραγματικά ένα θεμελιώδες συστατικό της προσαρμογής εφόσον δεν μπορεί να "μαθευτεί" μια αντίδραση σε ένα ερέθισμα, εάν ο οργανισμός δεν κάνει το συνειρμό ότι το ερέθισμα και η απάντηση υποτίθεται ότι εμφανίζονται μαζί. Αυτό δεν πρέπει να είναι μια συνειδητή μάθηση, αλλά για να συμβεί η εκμάθηση θα πρέπει να γίνει ο κατάλληλος συνειρμός. Για παράδειγμα, θα μπορούσε ένα ζώο να μάθει να πιέζει έναν μοχλό, εάν δεν κάνει το συνειρμό μεταξύ της πίεσης του μοχλού και της λήψης της ανταμοιβής από την ενέργεια αυτή;

Τι είναι επομένως συνειρμική μάθηση (associative learning); Μια πιθανή απάντηση είναι ότι εμπλέκει τη συνειρμικότητα των ιδεών. Για παράδειγμα, εάν μεταφέρεις στο άτομο που έχει πρόβλημα βάρδισης να προσπαθήσει συνειρμικά να μετακινήσει το κέντρο βάρους του με την άρση του ποδιού του, τον βοηθάς να συνδυάσει δύο πλευρές της κίνησης (τη θεωρητική - ιδεατή και την πραγματική) σε μια ολοκληρωμένη δράση. Η συνειρμική μάθηση αναπτύχθηκε για να βοηθήσει τα ζώα να μάθουν να ανιχνεύουν τις αιτιολογικές σχέσεις στο περιβάλλον τους. Καθιερώνοντας προβλέψιμες σχέσεις ανάμεσα στα γεγονότα, αποτελεί τμήμα της διαδικασίας αντίληψης, αίσθησης και τάξης του κόσμου μας. Αναγνωρίζοντας τις σχέσεις κλειδιά ανάμεσα στα γεγονότα αποτελεί ουσιαστικό τμήμα της ικανότητας προσαρμογής της συμπεριφοράς σε μια νέα κατάσταση.

Άτομα που έχουν υποστεί βλάβη στο ΚΝΣ που τροποποιεί δραματικά την ικανότητα τους να αντιλαμβάνονται, να αισθάνονται και να μετακινούνται γύρω από τον "κόσμο" τους, θα πρέπει να διερευνήσουν ξανά το σώμα τους σε σχέση με το περιβάλλον, προκειμένου να καθοριστεί ποιές νέες σχέσεις αναπτύσσονται ανάμεσα στα δύο. Το άτομο μαθαίνει, μέσω συνειρμικής μάθησης, να προβλέπει τις σχέσεις-συνειρμού: (α) είτε του ενός ερεθίσματος με το άλλο (κλασική κατάσταση – classical conditioning), ή (β) τις σχέσεις της συμπεριφοράς του ενός ερεθίσματος με τις συνέπειές του (λειτουργική κατάσταση - operant conditioning). Ο Ρανλον μελέτησε πως ο άνθρωπος και τα ζώα μαθαίνουν τη σύνδεση ανάμεσα στα δύο, μέσω απλής μορφής μάθησης που χαρακτηρίζεται ως κλασική κατάσταση.

5-2-2-α. Κλασική κατάσταση λειτουργικής προσαρμογής

Η κλασική κατάσταση λειτουργικής προσαρμογής (Classical Conditioning) αποτελεί τη μάθηση που προέρχεται από τη σύνδεση δύο ερεθισμάτων. Κατά τη διάρκεια της, ένα αρχικά ασθενές ερέθισμα (conditioned stimulus) γίνεται αποτελεσματικό για να παράγει μια απάντηση όταν συνδυάζεται με ένα άλλο ισχυρότερο ερέθισμα (unconditioned stimulus). Για παράδειγμα, σε ένα ζώο το ασθενές ερέθισμα είναι συνήθως κάποιο που δεν του προκαλεί

αρχικά απάντηση (όπως ένα κουδούνι). Αντίθετα, το ισχυρό ερέθισμα, το οποίο θα μπορούσε να είναι τροφή, πάντοτε παράγει μια απάντηση. Δηλαδή το κτύπημα του κουδουνιού συνδέεται συνειρμικά με τη λήψη τροφής. Μετά από επανειλημμένη αντιστοίχιση του ασθενούς και του ισχυρού ερεθίσματος, θα μπορούσε κάποιος να παρατηρήσει μια απάντηση προσαρμογής στο ασθενές ερέθισμα, που αρχικά δεν προκαλούσε κάποια απάντηση

Σύμφωνα με τον τύπο αυτό της μάθησης, το άτομο προβλέπει τις σχέσεις ανάμεσα σε δύο ερεθίσματα ή γεγονότα που παρουσιάζονται και που απαντούν ανάλογα. Για παράδειγμα στη καθημερινή πράξη, εάν δίνουμε σε ένα άτομο μια λεκτική οδηγία σε συνδυασμό με την ανάλογη βοήθεια για να κάνει μια κίνηση, θα καταφέρει τελικά να ξεκινά την κίνηση με μόνον τη λεκτική οδηγία.

Αποδείχθηκε ότι γενικώς ο άνθρωπος μαθαίνει σχέσεις που αναφέρονται στην επιβίωσή του, επειδή είναι πιο δύσκολο να συνδέονται γεγονότα που είναι ασήμαντα βιολογικά. Αυτό υπογραμμίζει μια σημαντική αρχή της μάθησης, ότι ο εγκέφαλος είναι πιο πιθανόν να αντιλαμβάνεται και να ολοκληρώνει απόψεις του περιβάλλοντος που είναι πιο σχετικές. Όσον αφορά τη “θεραπευτική παρέμβαση” η μάθηση είναι πιθανότερο να παρουσιαστεί σε άτομα στα οποία έχει διαταραχθεί, για δραστηριότητας και περιβάλλοντα που είναι σχετικά με το πρόβλημα που παρουσιάζεται και έχουν σημασία και ενδιαφέρον για αυτόν.

5-2-2-β. Λειτουργική κατάσταση προσαρμογής

Η λειτουργική κατάσταση προσαρμογής (operant conditioning) ή με όργανα προσαρμογή (instrumental conditioning) είναι ένας δεύτερος τύπος συνειρμικής μάθησης (4). Αυτή βασικά είναι μια μάθηση προσπάθειας και λάθους. Κατά τη διάρκεια της λειτουργικής κατάστασης προσαρμογής, “μαθαίνει το άτομο να συνδέει” μια ορισμένη απάντηση, ανάμεσα από πολλές που μπορεί να υπάρχουν διαθέσιμες, με ένα αποτέλεσμα. Το κλασικό πείραμα στο πεδίο αυτό, αναφέρεται σε ζώα που δίνεται τροφή σαν ανταμοιβή, οποτεδήποτε αυτά τυχαία πατούσαν ένα από τους μοχλούς, μέσα στο κλουβί τους. Αυτά γρήγορα μάθαιναν να συνδέουν την πίεση του συγκεκριμένου μοχλού με τη παρουσία του φαγητού, ενώ η πίεση του μοχλού γινόταν όλο και πιο σταθερή.

Η αρχή της λειτουργικής προσαρμογής αναφέρεται στο γεγονός ότι συμπεριφορές που ανταμείβονται θα πρέπει να επαναλαμβάνονται σε βάρος άλλων συμπεριφορών. Αντίθετα, συμπεριφορές που συνοδεύονται από απωθητικά ερεθίσματα, συνήθως δεν επαναλαμβάνονται. Αυτό χαρακτηρίζεται σαν νόμος του αποτελέσματος (Law of effect).

Η λειτουργική προσαρμογή παίζει μέγιστο ρόλο στον καθορισμό της συμπεριφοράς που παρατηρείται σε διάφορα άτομα με περιορισμούς την κινητική του συμπεριφορά. Για

παράδειγμα εάν ένας ευπαθής ηλικιωμένος που πήγε στην αγορά υποστεί μια πτώση, τότε είναι λιγότερο πιθανόν να επαναλάβει τη συγκεκριμένη δραστηριότητα, στο μέλλον. Η μείωση της δραστηριότητας θα έχει σαν αποτέλεσμα να μειωθεί η σωματική του λειτουργία, που με τη σειρά της οδηγεί σε αύξηση της πιθανότητας για νέα πτώση. Η αυξημένη πιθανότητα πτώσης θα ενισχύσει την επιθυμία του ατόμου για αδράνεια και βέβαια, θα επιβεβαιώσει το νόμο του αποτελέσματος. Ο “κλινικός” πρέπει να βοηθήσει το άτομο να αντιληφθεί καλύτερα το περιβάλλον του και να ξανακερδίσει το επίπεδο δραστηριότητας ώστε να ελαττωθεί η πιθανότητα πτώσης. Μια τεχνική για αυτό είναι αυτή της “απευαισθητοποίησης” για να ελαττωθεί το άγχος και ο φόβος της πτώσης.

Η λειτουργική προσαρμογή αποτελεί αποτελεσματικό εργαλείο στη διάρκεια της “θεραπευτικής παρέμβασης”. Ο λεκτικός έπαινος από τον “κλινικό” για μια δραστηριότητα που εκτελέστηκε σωστά από ένα άτομο με ανάλογη διαταραχή, λειτουργεί ενισχυτικά. Η ανταμοιβή για μια κίνηση που είναι ιδιαίτερα επιθυμητή από το άτομο αυτό, και η οποία ολοκληρώθηκε με επιτυχία, είναι ένα ισχυρό παράδειγμα λειτουργικής προσαρμογής.

5-2-2-γ. Διαδικαστική μάθηση

Μερικοί ερευνητές ταξινομούν τη συνειρμική μάθηση με βάση τον τύπο γνώσης που απαιτείται από το άτομο. Χρησιμοποιώντας τον τύπο αυτόν της ταξινόμησης, ταυτοποιήθηκαν δύο τύπου μάθησης που στηρίζεται στον τύπο και την ανάκληση της πληροφορίας που μαθεύτηκε: (α) τη διαδικαστική μάθηση και (β) τη δηλωτική μάθηση.

Η διαδικαστική μάθηση (procedural learning) αναφέρεται σε δραστηριότητες μάθησης που μπορεί να εκτελεστούν αυτοματικά, χωρίς προσοχή ή ενσυνείδητη σκέψη, όπως συμβαίνει με μια συνήθεια. Η διαδικαστική μάθηση αναπτύσσεται αργά, μέσα από την επανάληψη μιας κινητικής δραστηριότητας, και εκφράζεται με τη βελτίωση της εκτέλεσης της συγκεκριμένης δραστηριότητας. Η διαδικαστική μάθηση δεν εξαρτάται από τη γνώση και συνειδητοποίηση, την προσοχή και άλλες υψηλές γνωσιακές λειτουργίες. Όταν αποκτάται μια δεξιότητα, η επανάληψή της συνεχώς και κάτω από διάφορες συνθήκες, θα μπορούσε τυπικά να οδηγήσει σε διαδικαστική μάθηση. Δηλαδή, ένα άτομο μαθαίνει αυτοματικά την ίδια την κίνηση ή τους κανόνες της, ανακαλώντας ένα σχήμα της.

Για παράδειγμα, όταν εκπαιδεύεται ένα άτομο, με διαταραχή του κινητικού ελέγχου, να μεταφέρεται από το κρεβάτι στην καρέκλα, εξασκείται σε κατάλληλες στρατηγικές μετακίνησης, χρησιμοποιώντας διάφορες καταστάσεις και πλαίσια, μαθαίνει να μεταφέρεται από διάφορα ύψη του κρεβατιού σε σχέση με διαφορετικά ύψη της καρέκλας. Έτσι το άτομο σχηματίζει τους κανόνες που σχετίζονται με τη δραστηριότητα της μεταφοράς, που

θα του επιτρέψει να μεταφέρεται με ασφάλεια σε μη οικείες καταστάσεις. Η σταθερή πρακτική και επανάληψη έχει σαν αποτέλεσμα σε αποτελεσματική διαδικαστική μάθηση.

5-2-2-δ. Δηλωτική μάθηση

Η δηλωτική μάθηση (declarative learning), από την άλλη μεριά, στηρίζεται σε γνώσεις που ανακαλούνται ενσυνείδητα επομένως απαιτούνται διαδικασίες όπως γνώση και συνειδητοποίηση, προσοχή και αντανάκλαστικά. Η μάθηση του τύπου αυτού εκφράζεται με δηλωτικές προτάσεις, οι οποίες προβάλλονται ενσυνείδητα, όπως για παράδειγμα προκειμένου να ολοκληρωθεί μια δραστηριότητα στον υπολογιστή, πρώτα θα δοθεί εκείνη η εντολή και στη συνέχεια η επόμενη, κλπ. Η σταθερή επανάληψη μπορεί να μετατρέψει τη δηλωτική μάθηση σε διαδικαστική, χωρίς να απαιτείται ενσυνείδητη προσοχή και καταγραφή.

Το πλεονέκτημα της δηλωτικής μάθησης είναι ότι μπορεί να φανεί χρήσιμη και σε άλλους τύπους δράσης από αυτές που έχουν ήδη μαθευτεί. Για παράδειγμα, ένας σκιέρ, όταν προετοιμάζεται να τρέξει μια απόσταση σε μεγάλη ταχύτητα (120 μίλια την ώρα) επαναλαμβάνει στο μυαλό του την κούρσα και το πώς θα την διανύσει, ενώ προετοιμάζει πνευματικά και τις φιγούρες που θα πρέπει να κάνει επάνω στον πάγο. Το ίδιο ακριβώς ισχύει και για έναν χορευτή, όταν προετοιμάζεται να εκτελέσει μια περίπλοκη χορογραφία.

Στη “θεραπευτική παρέμβαση” όταν βοηθιέται το άτομο να αποκτήσει ξανά δεξιότητες που έχασε από τη βλάβη, αποφεύγονται πρακτικές που οδηγούν σε διαδικαστική μάθηση, και δίνεται έμφαση σε αυτές της δηλωτικής μάθησης. Το άτομο καθοδηγείται λεκτικά να ακολουθήσει τα στάδια μια δραστηριότητας, την οποία σταδιακά θα καθιερώσει. Εφόσον η δηλωτική μάθηση απαιτεί την ικανότητα της λεκτικής έκφρασης (περιγραφή) της κινητικής διαδικασίας που πρόκειται να εκτελεστεί αλλά και της κατανόησής της, δεν είναι δυνατή σε άτομα με γνωσιακά προβλήματα και “αφασικές” διαταραχές (αντίληψης του λόγου) που εμποδίζουν την ικανότητα έκφρασης. Εκπαιδύοντας το άτομο να εκτελεί τη δραστηριότητα δηλωτικά, το επιτρέπει να επαναλαμβάνει τις κινήσεις πνευματικά, αυξάνοντας τον αριθμό επαναλήψεων, όταν υπάρχουν άλλοι περιοριστικοί παράγοντες όπως ο κάματος.

ακρίβεια μια κινητική διαδικασία είναι μέσα από την παρακολούθηση της παραγωγής της και την “ανατροφοδότηση” μέρος από αυτήν προς τα πίσω, ώστε να γίνει σύγκριση της πραγματικής απόδοσης με την επιθυμητή παροχή, έτσι ώστε να ελαττωθεί το σφάλμα και εάν διαταραχθεί, να επαναφέρει την παροχή του συστήματος πίσω στην αρχική ή επιθυμητή απάντηση. Το μέτρο της κινητικής παροχής καλείται “σήμα ανατροφοδότησης” και ο τύπος του συστήματος ελέγχου το οποίο χρησιμοποιεί σήματα ανατροφοδότησης για τον έλεγχο της ίδιας της παροχής, ονομάζεται σύστημα κλειστής αλυσίδας (Close-loop System).

Ένα σύστημα ελέγχου κλειστής αλυσίδας, επίσης γνωστό και ως “σύστημα ελέγχου ανατροφοδότησης” (feedback control system) είναι ένα σύστημα ελέγχου, το οποίο χρησιμοποιεί την έννοια ενός συστήματος ανοιχτής αλυσίδας, λόγω της προς τα εμπρός πορείας του, αλλά έχει ένα ή περισσότερους δακτυλίους ανατροφοδότησης (από όπου και το όνομά του) ή οδούς ανάμεσα στο ερέθισμα (κινητική εντολή) και της παροχής (κινητικό αποτέλεσμα). Η αναφορά της “ανατροφοδότησης”, σημαίνει απλά ότι κάποιο τμήμα της παροχής επιστρέφεται “πίσω” κεντρικά, προς το σημείο δημιουργίας των κινητικών εντολών, για να σχηματίσει μέρος του συστήματος διέγερσης.

Τα συστήματα κλειστής αλυσίδας σχεδιάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε αυτόματα να επιτυγχάνουν και να διατηρούν την επιθυμητή κατάσταση παροχής, συγκρίνοντας αυτήν με την πραγματική κατάσταση. Αυτό επιτυγχάνεται με την παραγωγή ενός “σήματος σφάλματος”, που είναι η διαφορά μεταξύ του ερεθίσματος αναφοράς και της παροχής. Με άλλα λόγια, ένα “σύστημα κλειστής αλυσίδας” είναι ένα πλήρως αυτόματο σύστημα ελέγχου στο οποίο η δράση ελέγχου του εξαρτάται κατά κάποιο τρόπο από την παροχή του.

Η θεωρία της κλειστής αλυσίδας του Adams, στηρίζεται στην άποψη της κλειστής αλυσίδας του κινητικού ελέγχου. Σύμφωνα με την άποψη της κλειστής αλυσίδας, χρησιμοποιείται η αισθητική επαναπληροφόρηση από την κίνηση που βρίσκεται σε εξέλιξη. Η θεωρία αυτή υποθέτει ότι, στην κινητική μάθηση, η αισθητική επαναπληροφόρηση από την εξελισσόμενη κίνηση, συγκρίνεται μέσα στο νευρικό σύστημα με την αποθηκευμένη μνήμη της σκοπίμης κίνησης. Η εσωτερική αυτή αναφορά της ορθότητας, την οποία ο Adams αποκαλεί “αντιληπτικό ίχνος” (perceptual trace), δημιουργείται από μια περίοδο πρακτικής.

Το αντιληπτικό ίχνος από μόνο του δεν οδηγεί στην παραγωγή με ακρίβεια της επιδέξιας κίνησης. Υποστηρίχθηκε ότι ένα δεύτερο ίχνος, το ίχνος μνήμης (memory trace) χρησιμοποιείται για να επιλέξει και να ξεκινήσει την κίνηση. Με την ενεργοποίηση του ίχνους μνήμης ξεκινάει η κίνηση, στη συνέχεια αναλαμβάνει το αντιληπτικό ίχνος, ώστε να εξελιχθεί η κίνηση και να ανιχνευτούν, εάν υπάρχουν, λάθη. Σύμφωνα με τη θεωρία του Adams, όταν το άτομο μαθαίνει μια επιδέξια κίνηση, βαθμιαία αναπτύσσει ένα αντιληπτικό ίχνος

ης συγκεκριμένης κίνησης, το οποίο κατευθύνεται προς τον τελικό σκοπό. Όσο αυξάνεται η εξάσκηση στη συγκεκριμένη κίνηση, τόσο ισχυρότερο θα γίνεται το αντιληπτικό ίχνος. Έτσι, υποστηρίζεται ότι η ακρίβεια της κίνησης είναι ευθέως ανάλογη προς την ισχύ του αντιληπτικού ίχνους.

6-1-1. Περιορισμοί της θεωρίας της κλειστής αλυσίδας

Η θεωρία της κλειστής αλυσίδας του Adams για την κινητική μάθηση, παρά τη νευροφυσιολογική λογική πάνω στην οποία έχει αναπτυχθεί, δέχθηκε μεγάλη κριτική για πολλούς λόγους. Έχει αποδειχθεί ότι τόσο ο άνθρωπος όσο και τα ζώα, μπορούν να ολοκληρώνουν ορισμένες κινήσεις και κινητικές δραστηριότητες ακόμη και χωρίς αισθητική επαναπληροφόρηση. Επιπρόσθετα, τα ζώα είναι ικανά για μάθηση λειτουργικής προσαρμογής προκειμένου να αποφύγουν το shock, ακόμη και όταν υπάρχει αποκοπή των κεντρομόλων ερεθισμάτων. Έτσι η συγκεκριμένη θεωρία δεν μπορεί να ερμηνεύσει τις κινήσεις αυτές της ανοικτής αλυσίδας, δηλαδή τις κινήσεις που γίνονται χωρίς αισθητική επανατροφοδότηση.

6-2. Θεωρία του σχήματος

Σε απάντηση στους περιορισμούς της θεωρίας της κλειστής αλυσίδας της κινητικής μάθησης, ο Richard Schmidt το 1970, πρότεινε μια νέα θεωρία για την κινητική μάθηση, που απεκάλεσε θεωρία του σχήματος (schema theory). Έδωσε έμφαση στις διαδικασίες ελέγχου ανοικτής αλυσίδας, και στην άποψη του κινητικού προγράμματος. Ενώ η άποψη των “κινητικών προγραμμάτων” θωρήθηκε ουσιαστική για τη κατανόηση του κινητικού ελέγχου, δεν υπήρξε το ανάλογο ενδιαφέρον στο πως μαθαίνονται τα κινητικά αυτά προγράμματα. Προτάθηκε ότι τα κινητικά προγράμματα δεν περιέχουν τις λεπτομέρειες των κινήσεων, αλλά γενικευμένους κανόνες για μια ειδική τάξη κινήσεων. Πρότεινε ότι όταν μαθαίνεται ένα νέο κινητικό πρόγραμμα, το άτομο μαθαίνει μια γενική ομάδα κανόνων που μπορεί να εφαρμοστούν σε μια ποικιλία πλαισίων.

Επίκεντρο της συγκεκριμένης θεωρίας της κινητικής μάθησης, είναι η άποψη του σχήματος (schema). Ο όρος “σχήμα” αναφέρεται σε μια αφηρημένη εκπροσώπηση πραγμάτων που αποθηκεύονται σε μνήμη, μετά από πολλαπλές παρουσιάσεις τους. Για παράδειγμα, παρατηρώντας διαφορετικούς τύπους σκύλων, αποθηκεύεται στον εγκέφαλο μια ομάδα κανόνων των ποιοτικών χαρακτηριστικών των σκύλων, έτσι ώστε οποτεδήποτε συναντάτε ένας νέος σκύλο, ανεξάρτητα από τα μέγεθος, το χρώμα ή το σχήμα του, αναγνωρίζεται σαν σκύλο.

Ο Schmidt επέκτεινε την θεωρία του σχήματος του κινητικού ελέγχου και την εφάρμοσε στη περιοχή της κινητικής μάθησης. Πρότεινε ότι, όταν ένα άτομο κάνει μια κίνηση, τέσσερα “γεγονότα” αποθηκεύονται σε μνήμη: (α) οι συνθήκες της αρχικής κίνησης, όπως η θέση του σώματος και το βάρος του αντικειμένου που χειρίζεται, (β) οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στα γενικά κινητικά προγράμματα, (γ) το αποτέλεσμα της κίνησης, με τον όρο της γνώσης του αποτελέσματος, και (δ) οι αισθητικές συνέπειες της κίνησης, δηλαδή, πως αυτή έγινε αντιληπτό. Η πληροφορία αυτή απλοποιείται και αποθηκεύεται με τη μορφή ενός σχήματος ανάκλησης (κινητικό) και ενός σχήματος αναγνώρισης (αισθητικό).

6-2-1. Σχήμα ανάκλησης και σχήμα αναγνώρισης

Το σχήμα ανάκλησης (recall schema) χρησιμοποιείται για την επιλογή μιας συγκεκριμένης απάντησης. Όταν γίνεται μια κίνηση, οι αρχικές συνθήκες και ο επιθυμητός στόχος της κίνησης αυτής αποτελούν τους συντελεστές και τα ερεθίσματα του σχήματος ανάκλησης. Ένας άλλος σημαντικός συντελεστής-ερεθίσμα είναι η “περιληπτική μνήμη” από προηγούμενες απαντήσεις παρόμοιων δράσεων.

Το σχήμα αναγνώρισης (recognition schema) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της απάντησης. Στην περίπτωση αυτή, οι αισθητικές συνέπειες και τα αποτελέσματα των προηγούμενων κινήσεων, ανταγωνίζονται με τις αρχικές καταστάσεις της εξελισσόμενης κίνησης, για να δημιουργήσουν μια εκπροσώπηση των αναμενόμενων αισθητικών συνεπειών. Αυτές στη συνέχεια συγκρίνονται με τις αισθητικές πληροφορίες από την εξελισσόμενη κίνηση έτσι ώστε να εκτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της απάντησης. Το σχήμα αναγνώρισης χρησιμοποιείται κυρίως για τη μάθηση μάλλον παρά για τον παράλληλο έλεγχο της εξελισσόμενης κίνησης.

Όταν η κίνηση ολοκληρωθεί, τα “σήματα λάθους” ανατροφοδοτούνται προς το “σχήμα της κίνησης” με αυτό να τροποποιείται ανάλογα σαν αποτέλεσμα της αισθητικής ανατροφοδότησης και της γνώσης του αποτελέσματος. Έτσι, σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η κινητική μάθηση αποτελείται από τη διαδικασία της αναγνώρισης και τα σχήματα ανάκλησης, ανάλογα με την κίνηση που εξελίσσεται.

Σύμφωνα με τη θεωρία του σχήματος, όταν μαθαίνεις ορισμένες δραστηριότητες, όπως η προσέγγιση για τη σύλληψη ενός ποτηριού γεμάτο νερό, εξασκείς στην πραγματικότητα πολλές παραλλαγές της ίδιας της δραστηριότητας. Αυτό σου επιτρέπει να αναπτύξεις μια ομάδα κανόνων για την προσέγγιση, που ισχύουν και εφαρμόζονται όταν υπάρχει ένα ποτήρι μπροστά σου. Όσο καλύτεροι οι κανόνες για την προσέγγιση, τόσο κατάλληλη θα εί-

ναι η στρατηγική της προσέγγισης ενός άγνωστου ποτηριού, όπου η πιθανότητα να πέσει το ποτήρι ή να χυθεί το περιεχόμενό του είναι μικρότερη.

6-2-2. Περιορισμοί της θεωρίας του σχήματος

Ένα πιθανό πρόβλημα για τη θεωρία του σχήματος είναι εάν αυτή, λόγω της φύσης της, μπορεί να υποστηριχθεί από την έρευνα. Παρόλα αυτά υπάρχουν πειραματικά στοιχεία που φαίνεται να υποστηρίζουν την άποψη αυτή, όπως ανάλογα με τον τύπο εξάσκησης (με σταθερές ή μεταβλητές συνθήκες). Ένας περιορισμός της θεωρίας αυτής είναι η έλλειψη εξειδίκευσης. Λόγω της γενικής φύσης της θεωρίας, υπάρχουν αρκετοί αναγνωρίσιμοι μηχανισμοί που μπορεί να ελεγχθούν. Έτσι, δεν είναι σαφές πως αλληλεπιδρά η επεξεργασία του ίδιου του σχήματος με άλλα συστήματα προκειμένου να μαθευτούν οι κινήσεις και πως βοηθά να ελέγχεται η κίνηση αυτή.

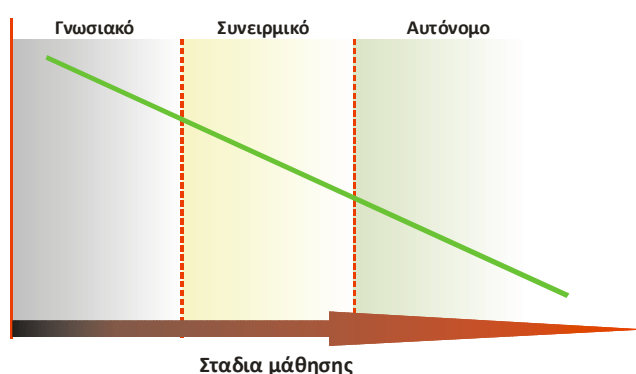
Μια άλλη πρόκληση για τη θεωρία του σχήματος είναι η αδυναμία της να υπολογίζει την άμεση απόκτηση ενός νέου τύπου συντονισμού, για νέες μορφές κινήσεων. Για παράδειγμα, αποδείχθηκε ότι εάν απομακρυνθούν όλα από τα πόδια μιας σαρανταποδαρούσας εκτός από δύο μόνο ζεύγη, τότε το ζώο θα παράγει ένα τετράποδο βάδισμα. Τέτοια παραδείγματα δεν μπορεί να υποστηριχθούν από τη θεωρία του σχήματος.

6-3. Θεωρία των σταδίων της κινητικής μάθησης

Οι Fitts και Posner, ερευνητές στο πεδίο της ψυχολογίας, περιέγραψαν μια θεωρία κινητικής μάθησης που σχετίζεται με τα στάδια που ο άνθρωπος μαθαίνει νέες δεξιότητες. Θεώρησαν ότι στην κινητική μάθηση εμπλέκονται τρία στάδια.

Στο πρώτο στάδιο, το άτομο ασχολείται με την κατανόηση της φύσης της δραστηριότητας. Στο στάδιο αυτό αναπτύσσονται στρατηγικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να διεκπεραιώσουν τη δραστηριότητα, καθορίζοντας και τον τρόπο ελέγχου της συγκεκριμένης δραστηριότητας. Οι προσπάθειες αυτές απαιτούν μια υψηλού βαθμού γνωσιακή λειτουργία, όπως είναι η προσοχή, και ως εκ τούτου χαρακτηρίζεται ως “γνωσιακό στάδιο” της μάθησης. Στο στάδιο αυτό, το άτομο έρχεται αντιμέτωπο με μια ποικιλία στρατηγικών, απομακρύνοντας όσες δεν τον βοηθούν και διατηρώντας αυτές που τον εξυπηρετούν. Η εκτέλεση της δραστηριότητας μπορεί να παρουσιάζεται διαφορετική, επειδή για την εκτέλεση της ίδιας δραστηριότητας “δοκιμάζονται” πολλές στρατηγικές. Βέβαια, είναι επίσης πολύ μεγάλες οι βελτιώσεις που παρουσιάζονται στην απόδοση της κινητικής εκτέλεσης, σαν αποτέλεσμα της επιλογής της πιο αποτελεσματικής στρατηγικής.

Στο δεύτερο στάδιο, που περιγράφεται σαν “συνειρμικό στάδιο” (associative stage), το άτομο έχει ήδη επιλέξει την καλύτερη στρατηγική για τη δράση και βελτιώνει σταδιακά τη δεξιότητα. Έτσι, κατά τη διάρκεια του σταδίου αυτού υπάρχει μικρότερη ποικιλία στην εκτέλεση, ενώ παρουσιάζονται βελτιώσεις με αργότερο ρυθμό. Επίσης στο στάδιο αυτό, οι λεκτικές και οι γνωσιακές πλευρές της μάθησης δεν είναι τόσο σημαντικές, επειδή το άτομο εστιάζει περισσότερο στη βελτίωση ενός συγκεκριμένου προτύπου και όχι στην επιλογή ανάμεσα σε εναλλακτικές στρατηγικές. Το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκεί από ημέρες, εβδομάδες έως και μήνες, ανάλογα με το άτομο και την ένταση της εξάσκησης. Το στάδιο αυτό είναι ισοδύναμο με το κινητικό στάδιο που περιγράφηκε από τον Adams.



Σχήμα 6-2: Θεωρία των σταδίων της κινητικής μάθησης

Το τρίτο στάδιο, που περιγράφεται σαν “αυτόνομο στάδιο”, ορίζεται από τους αυτοματισμούς που αποκτώνται στην εκτέλεση της δεξιότητας, και το χαμηλό βαθμό της προσοχής που απαιτείται για την εκτέλεσή της (σχήμα 6-2). Στο στάδιο επομένως αυτό το άτομο επικεντρώνει την προσοχή του σε άλλες πλευρές της δραστηριότητας, όπως στην καταγραφή του περιβάλλοντος, εάν για παράδειγμα υπάρχουν εμπόδια που ενδεχομένως να περιορίζουν την εκτέλεση, ή σε άλλη δευτερογενή δραστηριότητα (όπως συζήτηση με έναν φίλο ενώ εκτελείται η δράση), ή για να εξοικονομήσει ενέργεια αποφεύγοντας τον κόπο.

Ένα παράδειγμα επάνω στη συγκεκριμένη θεωρία της κινητικής μάθησης θα μπορούσαμε να είναι η προσέγγιση, σύλληψη και η μεταφορά του γεμάτου ποτηριού. Η πρώτη εμπειρία της χρήσης του ποτηριού, θα απαιτούσε μεγαλύτερη προσοχή και συνειδητή σκέψη, όπου πιθανόν να γίνουν λάθη και να χυθεί μέρος του περιεχομένου, ενώ δοκιμάζονται διάφοροι τρόποι για την ολοκλήρωση της δράσης. Στο δεύτερο στάδιο, θα βελτιώνεται σταδιακά η κίνηση προς το ποτήρι, απαιτώντας την πλήρη προσοχή του ατόμου. Στο τρίτο στάδιο, η δραστηριότητα πλέον εκτελείται αυτοματικά, παράλληλα με άλλες δράσεις, όπως μια συζήτηση.

6-3-1. Περιορισμοί της θεωρίας των σταδίων της κινητικής μάθησης

Πρέπει να θεωρήσουμε ότι επειδή το αυτόνομο στάδιο της μάθησης, για να ολοκληρωθεί, απαιτεί μήνες ή και χρόνια, είναι πολύ δύσκολο να γίνει ερευνητική μελέτη επάνω στο στάδιο αυτό και γενικά στην επιβεβαίωση της συγκεκριμένης θεωρίας. Δεν μπορούν επομένως να επιβεβαιωθούν οι υποθέσεις του εργαστηρίου. Έτσι, υποστηρίζεται ότι οι αρχές που καθορίζουν την κινητική μάθηση στο στάδιο αυτό, είναι σχεδόν άγνωστοι.

6-4. Θεωρία της μάθησης σα διερεύνηση

Ο Karl Newell, στηριζόμενος σε μεγάλο βαθμό και στα δύο προηγούμενα συστήματα αλλά και τις οικολογικές θεωρίες του κινητικού ελέγχου, δημιούργησε μια θεωρία για την απόκτηση νέων δεξιοτήτων, η οποία στηρίζεται σε στρατηγικές έρευνας (2). Σε προηγούμενες θεωρίες μάθησης, που προτάθηκαν από τον Adams και τον Schmidt, σημειώνεται μια αθροιστική συνεχή αλλαγή στη συμπεριφορά λόγω της σταδιακής δημιουργίας και ενίσχυσης του κινητικού προγράμματος. Προτάθηκε ότι με την εξάσκηση αναπτύσσεται μια περισσότερο κατάλληλη εκπροσώπηση της δράσης.

Σε αντίθεση, ο Newell υπέθεσε ότι η κινητική μάθηση είναι μια διαδικασία που αυξάνει το συντονισμό ανάμεσα στην αντίληψη και στη δράση, με έναν τρόπο που είναι σύμφωνος με τη δραστηριότητα και τους περιορισμούς του περιβάλλοντος. Τι ακριβώς υποδηλώνει η συγκεκριμένη θεώρηση; Υποστηρίχθηκε ότι, κατά τη διάρκεια της πράξης και με δεδομένους τους περιορισμούς, υπάρχει μια “έρευνα” για τη καλύτερη στρατηγική που μπορεί να επιλύσει τη δραστηριότητα. Μέρος της έρευνας αυτής για την κατάλληλη στρατηγική, εμπλέκεται στην διερεύνηση των καταλληλότερων θεμάτων αντίληψης και κινητικών απαντήσεων για τη συγκεκριμένη δραστηριότητα. Έτσι, τα συστήματα αντίληψης και δράσης θεωρείται ότι συντονίζονται ή χαρτογραφούνται σε μια κατάλληλη λύση δράσης.

6-4-1. Ρόλος των πληροφοριών αντίληψης

Ο Newell πιστεύει ότι ένα χρήσιμο αποτέλεσμα της θεωρίας αυτής είναι η ώθηση να ταυτοποιηθούν ουσιαστικές παράμετροι της αντίληψης που σχετίζονται με τις κατάλληλες λύσεις για τη δράση. Οι ουσιαστικές αυτές παράμετροι είναι χρήσιμες στο σχεδιασμό των στρατηγικών έρευνας που παράγουν αποτελεσματική χαρτογράφηση των πληροφοριών αντίληψης και παραμέτρων κίνησης. Ο Newell πιστεύει ότι οι πληροφορίες που σχετίζονται με την αντίληψη έχουν διάφορους ρόλους στην κινητική μάθηση. Σε έναν κανονιστικό ρόλο,

οι πληροφορίες αντίληψης σχετίζονται με την κατανόηση των στόχων της δραστηριότητας και των κινήσεων που πρόκειται να μαθευτούν. Η πληροφορία αυτή τυπικά προσφέρεται στους εκπαιδευόμενους μέσω επίδειξης.

Ένας άλλος ρόλος των πληροφοριών αντίληψης είναι η επανατροφοδότηση (feedback), τόσο κατά τη διάρκεια της κίνησης (άμεση επαναπληροφόρηση – concurrent feedback, που ορισμένες φορές χαρακτηρίζεται σα γνώση της εκτέλεσης), όσο και κατά τη συμπλήρωση της κίνησης (γνώση των αποτελεσμάτων). Τέλος, πρότεινε ότι οι πληροφορίες αντίληψης μπορεί να χρησιμοποιηθούν προκειμένου να διερευνηθεί η αντιληπτική-κινητική επίλυση, που είναι κατάλληλη για τις ανάγκες της δράσης. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, η κινητική μάθηση, χαρακτηρίζεται από κατάλληλη χαρτογράφηση της αντίληψης και της δράσης, που είναι σχετική με τη δραστηριότητα, όχι από την αναπαράσταση της δράσης.

6-4-2. Διερεύνηση του αντιληπτικού-κινητικού χώρου

Ουσιαστική είναι η διερεύνηση του αντιληπτικού-κινητικού χώρου εργασίας (perceptual-motor workspace). Αυτό θα μπορούσε να γίνει αντιληπτό μέσα από το παρά-δειγμα της προσέγγισης του γεμάτου ποτηριού. Στη προσέγγιση του Newell, κατά τη διάρκεια της πορείας μάθησης της κινητικής δραστηριότητας που σχετίζεται με την προσέγγιση ενός ποτηριού νερό, η επαναλαμβανόμενη πρακτική με διάφορα ποτήρια που περιέχουν διάφορες ουσίες, έχει σαν αποτέλεσμα η συγκεκριμένη δραστηριότητα να αντιμετωπίζεται με διάφορες κατάλληλες δυναμικές της ίδιας κίνησης (με το ίδιο στόχο και αποτέλεσμα). Μαθαίνει όμως παράλληλα το άτομο να διακρίνει ποια είναι τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για να οργανώσει τη δραστηριότητα. Στα χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται, το μέγεθος του ποτηριού, η ολισθηρότητα ή μη της επιφάνειάς του, πόσο γεμάτο είναι και με τι υλικό. Αυτά είναι μερικά από τα ουσιαστικά αντιληπτικά πεδία που βοηθούν να αναπτυχθούν οι κατάλληλες κινητικές στρατηγικές για τη σύλληψη οποιασδήποτε παραλλαγής ποτηριού.

Οι αισθητικές αντιλήψεις επίσης βοηθούν να δημιουργηθούν κατάλληλες κινητικές στρατηγικές. Εάν η αντίληψή καθοδηγεί ότι πρόκειται για ένα βαρύ ποτήρι, τότε η σύλληψή του θα γίνει με μεγαλύτερη δύναμη. Εάν ο ποτήρι είναι γεμάτο, θα τροποποιηθεί η ταχύτητα και η τροχιά του προκειμένου να μεταφερθεί με ασφάλεια. Εάν δεν υπάρχουν οι αισθητικές αυτές πληροφορίες, μπορεί να δημιουργηθεί μια κινητική στρατηγική, αυτή όμως θα είναι λιγότερο ασφαλής και επιτυχημένη. Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή μπορεί να χυθεί το περιεχόμενο του ποτηριού ή να γλιστρήσει. Η γνώση σχετικά με τα ουσιαστικά θέματα αντίληψης που σχετίζονται με τη δραστηριότητα είναι ουσιαστικά για τη διαχείριση νέων παραλλαγών της συγκεκριμένης δραστηριότητας. Έτσι, όταν αντιμετωπίζεται μια νέα κατά-

σταση, διερευνώνται ενεργητικά οι αισθητικές πληροφορίες (σχετικά με τη δραστηριότητα και το περιβάλλον), προκειμένου να βρεθεί η κατάλληλη πληροφορία που χρειάζεται για να επιλυθεί με επιτυχία το κινητικό πρόβλημα.

Ο Newell πρότεινε τρόπους για να ενισχύσει την εκπαίδευση της κινητικής μάθησης. Το πρώτο είναι να βοηθήσει τον ασθενή να κατανοήσει τη φύση του αντιληπτικού-κινητικού χώρου εργασίας. Το δεύτερο είναι να κατανοήσει τις στρατηγικές έρευνας που χρησιμοποιούνται από τον εκπαιδευόμενο για τη διερεύνηση του χώρου. Και το τρίτο είναι να προσφέρεται η ενισχυμένη και η κατάλληλη πληροφορία για να διευκολυνθεί η έρευνα.

Μια κεντρική πρόβλεψη της θεωρίας αυτής είναι ότι η μεταφορά της κινητικής δεξιότητας εξαρτάται από την ομοιότητα ανάμεσα σε δύο δράσεις και της αντιληπτικής και κινητικής στρατηγικής τους, και είναι σχετικά ανεξάρτητη από τους μυς που χρησιμοποιούνται στη δραστηριότητα ή από τα αντικείμενα που πιθανόν να συμμετέχουν σε αυτή. Συνοπτικά, η προσέγγιση αυτή της κινητικής μάθησης, αναφέρεται στη δραστηριότητα σαν μια αντανάκλαση της δυναμικής διερεύνησης, που εμπλέκεται στη χαρτογράφηση του αντιληπτικού-κινητικού χώρου εργασίας, με σκοπό να δημιουργηθούν οι κατάλληλες στρατηγικές για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης κινητικής δράσης.

6-4-3. Περιορισμοί της θεωρία της μάθησης σα διερεύνηση

Η συγκεκριμένη προσέγγιση αποτελεί μια νέα σχετικά θεωρία. Ένας από τους μεγαλύτερους περιορισμούς της είναι ότι θα πρέπει να εφαρμοστεί σε ειδικά παραδείγματα απόκτησης κινητικών δεξιοτήτων, με ένα πιο συστηματικό τρόπο. Έτσι, παραμένει ακόμη μια μη ελεγμένη θεωρία.

6-5. Νευροψυχολογική θεωρία της μάθησης κινητικής δεξιότητας

Η νευροψυχολογική θεωρία της μάθησης κινητικών δεξιοτήτων, βασίζεται στην ιδέα ότι η μάθηση αναπτύσσεται απευθείας από τις διαδικασίες του κινητικού ελέγχου. Οι διαδικασίες του κινητικού ελέγχου μπορεί να συντονιστούν σε συγκεκριμένες δραστηριότητες, βελτιώνοντας έτσι την απόδοσή τους: (α) η επιλογή στόχων του χώρου για την κίνηση, (β) ο προσδιορισμός της αλληλουχίας των στόχων αυτών, και (γ) η μετατροπή τους σε κινητικές εντολές προς τους μυς. Οι διαδικασίες αυτές λειτουργούν έξω από την ευαισθητοποίηση. Μια τέταρτη, συνειδητή διαδικασία μπορεί να βελτιώσει την απόδοση με δύο τρόπους: (α) με την επιλογή πιο αποτελεσματικών στόχων από το τι πρέπει να αλλάξει στο περιβάλλον, και (β) με την επιλογή και τον προσδιορισμό της αλληλουχίας στόχων του χώρου.

Η θεωρία εξηγεί τα πρότυπα του περιορισμού της μάθησης των κινητικών δεξιοτήτων σε πληθυσμούς ατόμων με διαταραχές του ΚΝΣ, και αλλαγές που σχετίζονται με τη μάθηση σε δραστηριότητες με μελέτες λειτουργικής απεικόνισης. Κάνει επίσης μια σειρά από προβλέψεις για την καθαρά γνωσιακή λειτουργία, συμπεριλαμβάνοντας την πνευματική πρακτική, την εκπροσώπηση των κινητικών δεξιοτήτων, και την αλληλεπίδραση των συνειδητών και μη συνειδητών διεργασιών στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων.

6-6. Παράγοντες που συμβάλουν στην κινητική μάθηση

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαδικασία της κινητικής μάθησης, επηρεάζοντας με τον έναν ή τον άλλο τρόπο αλλά και διευκολύνοντας το αποτέλεσμα της μάθησης, οι οποίοι πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη όταν γίνεται επανεκπαίδευση ενός ατόμου με διαταραχή του κινητικού ελέγχου. Στη περίπτωση αυτή φαίνεται πόσο συνδεδεμένες είναι μεταξύ τους οι δύο έννοιες: του κινητικού ελέγχου και της μάθησης. Στους παράγοντες αυτούς την κυρίαρχη θέση έχει η συλλογή πληροφοριών, είτε από την περιφέρεια σχετικά με την εκτέλεση της κινητικής δράσης ή από το περιβάλλον, για την αλληλεπίδρασή του με την κινητική δραστηριότητα. Η συλλογή αυτή των πληροφοριών αναφέρεται συνολικά στην έννοια της ανατροφοδότησης ή επαναπληροφόρησης (feedback). Άλλοι παράγοντες έχουν σχέση με την κατάσταση της πρακτικής και με τη γνωσιακή και νοητική κατάσταση του ατόμου.

6-6-1. Επαναπληροφόρηση (feedback)

Ήδη συζητήθηκε η σημασία της επαναπληροφόρησης (feedback) στο πεδίο του κινητικού ελέγχου. Είναι σαφές, ότι για να προκύψει “μάθηση” είναι απαραίτητοι ορισμένοι τύποι επαναπληροφόρησης, όπως είναι η εσωτερική, η εξωτερική και η γνώση του αποτελέσματος. Σύμφωνα με τον ευρύτερο ορισμό της επαναπληροφόρησης, σε αυτήν περιλαμβάνονται όλες τις αισθητικές πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σαν αποτέλεσμα της εξελισσόμενης κίνησης ή αυτής που ολοκληρώθηκε.

6-6-1-α. Εσωτερική επαναπληροφόρηση

Η εσωτερική επαναπληροφόρηση (intrinsic feedback), είναι πληροφορίες που προσφέρονται στο άτομο, μέσα από τα διάφορα αισθητικά του συστήματα, σαν αποτέλεσμα της φυσιολογικής παραγωγής της κίνησης. Σε αυτές περιλαμβάνονται οι οπτικές, οι ακουστικές ή

οι αιθουσαίες πληροφορίες, που αναφέρονται εάν η κίνηση ήταν ακριβής, καθώς και οι σωματοαισθητικές πληροφορίες που αναφέρονται στην ακριβή θέση των μελών, καθώς κινείται το άτομο.

6-6-1-β. Εξωτερική επαναπληροφόρηση

Η εξωτερική επαναπληροφόρηση (extrinsic feedback) είναι πληροφορίες που συμπληρώνουν την εσωτερική πληροφόρηση, και προσφέρεται με τη μορφή εντολών, ενημέρωσης ή καθοδήγησης. Για παράδειγμα, όταν ένα άτομο ενώ βαδίζει, καθοδηγείται να κάμψει το πόδι του υψηλότερα για να περάσει ένα αντικείμενο, τότε με τις οδηγίες αυτές προσφέρεται εξωτερική επαναπληροφόρηση.

Η εξωτερική επαναπληροφόρηση μπορεί να παρέχεται ταυτόχρονα με τη δραστηριότητα ή όταν αυτή τελειώσει, οπότε και χαρακτηρίζεται σαν “τελική επαναπληροφόρηση” (terminal feedback). Ένα παράδειγμα ταυτόχρονης επαναπληροφόρησης θα μπορούσε να είναι η λεκτική ή με τα χέρια καθοδήγηση στα χέρια του ατόμου για να μάθει να προσεγγίζει με ακρίβεια ένα αντικείμενο. Ένα παράδειγμα τελικής επαναπληροφόρησης θα μπορούσε να είναι, μετά από μια ανεπιτυχή προσπάθεια προσέγγισης ενός αντικειμένου, να δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες ώστε την επόμενη φορά να γίνει η κατάλληλη διόρθωση στη θέση του άνω άκρου προικισμένου να δοθεί η κατάλληλη δύναμη ώστε να ολοκληρωθεί με επιτυχία η συγκεκριμένη δραστηριότητα

6-6-1-γ. Γνώση του αποτελέσματος

Η γνώση του αποτελέσματος (knowledge of result) είναι σημαντική μορφή εξωτερικής επαναπληροφόρησης. Καθορίζεται σε σαν “τελική επαναπληροφόρηση” σχετικά με το αποτέλεσμα και τους στόχους της κίνησης. Αυτό είναι σε αντίθεση στη “γνώση της εκτέλεσης” (knowledge of performance), που είναι επαναπληροφόρηση που σχετίζεται με το πρότυπο της κίνησης που χρησιμοποιείται για την επιτυχία του στόχου.

Αναφέρθηκε ότι η γνώση του αποτελέσματος έχει προσωρινά μόνον αποτελέσματα στην ικανότητα του ατόμου να εκτελεί μια δραστηριότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται κυρίως σε άλλες παραμέτρους, κυρίως γνωσιακής φύσης, όπως είναι το κίνητρο, η προσοχή και η εγρήγορση του ατόμου, αλλά και καθοδήγησης σχετικά με την ολοκλήρωση της κινητικής δράσης, δηλαδή, να δοθούν οδηγίες στο άτομο πως θα εκτελέσει καλύτερα την επόμενη προσπάθεια.

6-6-1-δ. Εφαρμογή της λογικής της επαναπληροφόρησης

Στην καθημερινή πράξη, προβάλλουν ορισμένα βασικά ερωτήματα, τα οποία μπορεί να απαντηθούν ουσιαστικά μέσα από την έρευνα και την εμπειρία. Τα ερωτήματα αυτά για ένα άτομο που βρίσκεται στη διαδικασία της μάθησης, είναι: ο τύπος της επαναπληροφόρησης που προσφέρεται στο άτομο αυτό, είναι αποτελεσματικός για τις κινήσεις που επιλέγονται; άλλος τύπος επαναπληροφόρησης θα ήταν πιο αποτελεσματικός; Μπορεί να εφαρμοστεί η λογική αυτή σε κάθε προσπάθεια που κάνει το άτομο; Εάν υπάρχει διαταραχή του κινητικού ελέγχου, ποιός είναι ο κατάλληλος χρόνος για την κινητική μάθηση να χρησιμοποιηθεί η λογική της επαναπληροφόρησης;

Από τα πειραματικά δεδομένα φαίνεται καθαρά ότι ο καλύτερος τύπος επαναπληροφόρησης, με βάση τη μελέτη της αποτελεσματικότητας των διαφόρων τύπων “γνώσης του αποτελέσματος” είναι μια άποψη που επιδέχεται πολλαπλή κριτική. Είναι αναμφισβήτητο ότι η “γνώση του αποτελέσματος” είναι μια σημαντική παράμετρος μάθησης νέων δεξιοτήτων. Η εσωτερική επαναπληροφόρηση, όπως οπτική ή κιναισθητική, είναι επαρκής για να προσφέρει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα λάθη κατά την εκτέλεση και έτσι η γνώση του αποτελέσματος έχει μικρή μόνον σημασία. Για παράδειγμα, κατά τη μάθηση δραστηριοτήτων μέσα από την παρακολούθηση, η γνώση του αποτελέσματος ελάχιστα βελτιώνει την εκτέλεση.

Εάν υπάρχει καθυστέρηση της “γνώσης του αποτελέσματος”, αυτό έχει μικρή συνέπεια στη διαδικασία της μάθησης. Το ίδιο ισχύει και για το διάστημα της καθυστέρησης αυτής, όπου παρατηρείται μια ελαφρά μείωση της μάθησης εάν η καθυστέρηση της “γνώσης του αποτελέσματος” είναι πολύ βραχεία. Επίσης η αποτελεσματικότητα της μάθησης αυξάνει, εάν η “γνώση των αποτελεσμάτων” δίνεται μετά από κάθε κινητική προσπάθεια. Κατά τη διαδικασία της μάθησης καλόν είναι η “γνώση του αποτελέσματος” να παρέχεται συχνά μετά τις προσπάθειες, όπου οι επιδέξιες κινήσεις μαθαίνονται καλύτερα όταν υπάρχει συχνότερη πληροφόρηση.

6-6-2. Συνθήκες πρακτικής για την κινητική μάθηση

Ήδη συζητήθηκε η σημασία της “γνώσης του αποτελέσματος” στην κινητική μάθηση. Μια άλλη παράμετρος που είναι επίσης σημαντική στη διαδικασία της κινητικής μάθησης, είναι η “πρακτική εξάσκηση” μιας κινητικής δραστηριότητας. Τυπικά, όσο περισσότερο εξάσκηση προσφέρεται, τόσο περισσότερο ενισχύεται η κινητική μάθηση, με τις υπόλοιπες παραμέτρους να είναι ίσες. Όταν σχεδιάζεται μια παρόμοια πρακτική εφαρμογή, θα πρέπει ο αριθμός των προσπαθειών να είναι ο μέγιστος δυνατός ή θα πρέπει να συνυπολογιστεί η πιθα-

νότητα της εμφάνισης του καμάτου; Επομένως θα πρέπει να συνυπάρχουν στο σχεδιασμό του προγράμματος εκπαίδευσης και περίοδοι ανάπαυσης.

6-6-2-α. Μαζική και κατανεμημένη πρακτική

Οι δύο τύποι πρακτικής εφαρμογής κατά την κινητική μάθηση είναι: η μαζική και η κατανεμημένη πρακτική. Η μαζική πρακτική, είναι η συνεδρία στην οποία ο χρόνος της πρακτικής εκπαίδευσης σε μια προσπάθεια είναι μεγαλύτερος από το χρόνο ανάμεσα στις περιόδους ηρεμίας. Δηλαδή, υπερέχει η εκπαίδευση με μικρότερο χρόνους ανάπαυσης, γεγονός που σε ορισμένες δραστηριότητες μπορεί να οδηγήσει σε κάματο. Η κατανεμημένη πρακτική, είναι η συνεδρία στην οποία ο χρόνος ανάπαυσης ανάμεσα στις προσπάθειες είναι όμοιος ή και μεγαλύτερος από ότι ο χρόνος της κινητικής προσπάθειας.

Όταν αναφερόμαστε σε εκμάθηση επιδέξιων κινήσεων, ο τρόπος της μαζικής πρακτικής μπορεί να ελαττώνει τη δυνατότητα εκτέλεσης, κυρίως λόγω εμφάνισης καμάτου που μπορεί να επισκιάσει τα αρχικά αποτελέσματα μάθησης, δεν φαίνεται όμως να έχει κάποιο αποτέλεσμα σε πιο αδρές δραστηριότητες, όπως αυτές της μεταφοράς. Πάντως, τα αποτελέσματα των ερευνών δεν είναι σαφή και φαίνεται να εξαρτώνται σημαντικά από το είδος της δραστηριότητας και από άλλες παραμέτρους που την επηρεάζουν. Υπενθυμίζεται ότι στη “θεραπευτική παρέμβαση” κατά τη διάρκεια της μαζικής πρακτικής αυξάνει ο κίνδυνος κάκωσης, λόγω του καμάτου, όπως συμβαίνει κατά την εκπαίδευση της ισορροπίας που πιθανόν να προκαλέσει την πτώση του ατόμου.

6-6-2-β. Μεταβλητή και σταθερή πρακτική

Όπως αναφέρθηκε στη θεωρία του σχήματος του Schmidt, η πρακτική θεωρείται πολύ σημαντική παράμετρος στην κινητική μάθηση. Αυτή μπορεί να γίνει: (α) με μεταβλητή πρακτική, χρησιμοποιώντας δηλαδή κατά τη διάρκεια της μάθησης, διάφορες παραμέτρους, ταχύτητες ή μεταβλητές της κινητικής δραστηριότητας, δημιουργώντας διαφορετικά ερεθίσματα και παραστάσεις και (β) με σταθερή πρακτική, χρησιμοποιώντας μία μόνον παράμετρο ή ταχύτητα για την εξάσκηση της κινητικής μάθησης. Γενικά, υποστηρίζεται ότι η μεταβλητή πρακτική αυξάνει την προσαρμοστικότητα της μάθησης και φαίνεται να επιτρέπει ένα άτομο να εκτελεί σημαντικά καλύτερα μια νέα παραλλαγή της δραστηριότητας.

6-6-3. Ολική σε αντίθεση με μερική εκπαίδευση

Μια προσέγγιση για την επανεκπαίδευση της κινητικής λειτουργίας, εάν αυτή έχει διαταραχθεί, είναι να διασπαστεί η συνολική δραστηριότητα σε ενδιάμεσα μέρη και ενότητες, βοη-

θώντας το άτομο να κατανοήσει κάθε ξεχωριστό και διακριτό βήμα, πριν ακριβώς μάθει ολόκληρη τη δραστηριότητα. Αυτό χαρακτηρίζεται ως ανάλυση της δράσης και ορίζεται σαν η διαδικασία της ταυτοποίησης των συστατικών της κινητικής δεξιότητας, τα οποία κατόπιν τοποθετούνται σε μια σειρά και ακολουθία για να αποτελέσουν και πάλι μια οργανωμένη συνολική δράση.

Πως ορίζονται τα συστατικά μιας κινητικής δεξιότητας; Ορίζονται σε σχέση με τους στόχους της δεξιότητας αυτής. Έτσι, μια προσέγγιση της ανάλυσης της δεξιότητας για την επανεκπαίδευσή της, θα μπορούσε να είναι η διάσπαση του προτύπου της μετακίνησης σε απλούστερα συστατικά, όπως αυτά παρουσιάζονται σε μια ακολουθία στη φυσιολογική κινητική δράση. Για παράδειγμα, η προσπάθεια διατήρησης του κέντρου βάρους και η ασφαλής μεταφορά του διατηρώντας τη κάθετη θέση του σώματος, η έναρξη της βάδισης, η σταθερότητα κατά τη φάση αιώρησης ή τη φάση στήριξης, ή η διαδικασία για την παραγωγή της ορμής κατά τη φάση προώθησης, προκειμένου να ολοκληρωθεί η βάδιση. Κατά τη διάρκεια της επανεκπαίδευσης της συγκεκριμένης δραστηριότητας, το άτομο εκπαιδεύεται σε κάθε ένα από τα συστατικά αυτά ξεχωριστά, για να μπορέσει ακριβώς να τα ενσωματώσει αποτελεσματικά στο πρότυπο βάδισης. Κάθε ένα από τα συστατικά αυτά όμως θα πρέπει να εκπαιδεύεται μόνον μέσα στο συνολικό πλαίσιο της βάδισης. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο εξασκείται στην έκταση του ισχίου ενώ βρίσκεται σε πρηνή θέση, αυτό δεν θα αυξήσει απαραίτητα την ικανότητά του να επιτύχει σταθερότητα στη φάση στήριξης (στον κύκλο της βάδισης), αν και οι δύο καταστάσεις απαιτούν ικανοποιητική έκταση του ισχίου. Η “τμηματική εκπαίδευση” επομένως μπορεί να θεωρηθεί ένας αποτελεσματικός τρόπος επανεκπαίδευσης ορισμένων δραστηριοτήτων, εάν η δραστηριότητα από μόνη της μπορεί να διαιρεθεί σε επιμέρους τμήματα ή κινητικές ενότητες, που αντανακλούν τους έμφυτους στόχους της δεξιότητας.

6-6-4. Νοητική εξάσκηση – Οραματισμός της κίνησης

Αποδείχθηκε ότι όταν μια δεξιότητα εξασκείται νοητά, δηλαδή το άτομο οραματίζεται την εκτέλεση της δεξιότητας αυτής (στη φαντασία του), χωρίς να εμπλέκεται κάποια ενεργητική κινητική δράση, αυτό μπορεί να προκαλέσει πολύ θετικά αποτελέσματα, τόσο στην ποιότητα της εκτέλεσης της συγκεκριμένης δραστηριότητας, όσο και στη διαδικασία της κινητικής της μάθησης.

Γιατί αυτό έχει ενδιαφέρον; Μια υπόθεση είναι ότι τα νευρωνικά κυκλώματα που εμπλέκονται στα κινητικά προγράμματα της συγκεκριμένης δραστηριότητας, διεγείρονται πραγματικά κατά τη διάρκεια του οραματισμού της κίνησης και της πνευματικής εξάσκησης

της. Επίσης υποστηρίζεται ότι κατά τη διάρκεια του οραματισμού, το άτομο δεν ενεργοποιεί μεν τις μυϊκές ομάδες που συμμετέχουν στην ολοκληρωμένη κινητική δράση, αποδεδειγμένα όμως τις ενεργοποιεί σε πολύ χαμηλό επίπεδο, έτσι ώστε να μην προκαλείται κίνηση. Τέλος αναφέρεται από πειράματα ότι ένα τμήμα του εγκεφάλου, ο συμπληρωματικός κινητικός φλοιός, ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια του οραματισμού της κινητικής δραστηριότητας και της νοητικής (πνευματικής) εξάσκησης.

6-6-5. Καθοδήγηση της κινητικής δράσης

Μια άλλη διαδικασία που συχνά χρησιμοποιείται για να βοηθήσει τη διαδικασία της κινητικής μάθησης, είναι η καθοδήγηση (guidance), δηλαδή, το άτομο καθοδηγείται, από άλλο εξειδικευμένο άτομο, για τη δεξιότητα που πρόκειται να “μάθει”. Έτσι, ο “μαθητής” εκπαιδεύεται λεκτικά και σωματικά από τον “εκπαιδευτή” του, αναλύοντας λεπτομερώς, εάν χρειάζεται, τα χαρακτηριστικά της επιτυχημένης κινητικής δραστηριότητας στην οποία πρόκειται να εκπαιδευτεί.

Η μορφή αυτή της μάθησης διερευνήθηκε επίσης πειραματικά, όπου αποδείχθηκε το λογικό, ότι η καθοδήγηση βοηθά σημαντικά στην καθιέρωση της κινητικής μάθησης, τόσο για απλές όσο και για περισσότερο σύμπλοκες δραστηριότητες. Το αποτέλεσμα αυτό επίσης φάνηκε ότι διατηρείται μακροχρόνια, υποδηλώνοντας ότι η αρχική καθοδήγηση καθιερώνει την κινητική δράση σε επίπεδο οργάνωσης και προγραμματισμού της κίνησης. Καταστάσεις που κάνουν την απόκτηση της δεξιότητας πιο δύσκολη, ενισχύουν την εκτέλεσή της. Αυτό δεν σημαίνει ότι δεν μπορούμε να χρησιμοποιούμε καθοδήγηση στην εκμάθηση δεξιοτήτων, αλλά υπονοείται ότι εάν αυτή χρησιμοποιείται, αυτό θα πρέπει να γίνει μόνον κατά την αρχή της εκπαίδευσης της δραστηριότητας, για να εξοικειωθεί ο ασθενής με τα χαρακτηριστικά της δεξιότητας που πρόκειται να μάθει.

7. Βασικά στοιχεία της Νευροπλαστικότητας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η νευρική ή νευρωνική προσαρμογή αποτελεί το θεμέλιο λίθο της κινητικής μάθησης. Μέχρι πριν από μερικά χρόνια, μέχρι τη δεκαετία του '90, αυτό που επικρατούσε ήταν ότι το νευρικό σύστημα, και ιδίως το κεντρικό νευρικό σύστημα, δεν μπορεί να αναγεννηθεί ούτε να αποκατασταθεί η λειτουργία του εάν αυτή διαταραχθεί σοβαρά. Η δυνατότητα των νευρικών αλλαγών μελετήθηκε εκτεταμένα σε διάφορα δείγματα νεαρών ζώων, ιδίως κατά την περίοδο της ανάπτυξής τους. Σήμερα είναι σαφές ότι μπορεί να παρουσιαστούν σε όλη τη διάρκεια της ζωής, αλλαγές τόσο στην κατασκευή όσο και στη λειτουργία του νευρικού συστήματος, μέσα από την καθιέρωση λεπτών λειτουργικών κινητικών προτύπων, τις πολλαπλές επαναλήψεις και καθιερώνοντας ανάλογες συμπεριφορές. (1-16) Συμπεριφορές που επαναλαμβάνονται και κατευθύνονται σε συγκεκριμένους (κινητικούς και λειτουργικούς) στόχους, μπορούν όχι μόνο να καθυστερήσουν τους αισθητικούς και γνωσιακούς περιορισμούς αλλά και τις κινητικές διαδικασίες που συνοδεύονται από τη γήρανση, προσφέροντας τη δυνατότητα αποκατάστασης της νευρικής λειτουργίας που επηρεάζεται από διάφορες “νευρολογικές διαταραχές”.

Μια από τις ουσιαστικές προκλήσεις στην Αποκατάσταση, είναι η ενσωμάτωση των εξελίξεων της βασικής επιστήμης με την κλινική πράξη. Αυτό συμβαίνει γιατί πολλοί κλινικοί δε γνωρίζουν με ακρίβεια τα ευρήματα της βασικής νευροεπιστήμης ενώ οι ερευνητές αγνοούν τις πρακτικές συνέπειες και τις επιπτώσεις που αναφέρονται στις δυνητικές εφαρμογές των ευρημάτων τους στην κλινική πράξη. Έτσι, θα πρέπει να υπάρξει μια παράλληλη πορεία των δύο επιστημονικών πεδίων, γεγονός που θα έχει σαν αποτέλεσμα στη βαθύτερη γνώση και των δύο. Μπορεί όμως να δημιουργηθούν και απρόβλεπτες δυσκολίες, όπως για παράδειγμα, η δυσκολία μεταφοράς στην κλινική πράξη των πειραματικών δεδομένων της νευροεπιστήμης από τους κλινικούς, λόγω των προβλημάτων κατανόησης ή μετάφρασης των όρων και των θεωριών που μεσολαβούν.

Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που η πρόοδος περιορίζεται επειδή το άτομο δεν έχει επαρκές κίνητρο για να συμμορφωθεί με τις απαραίτητες οδηγίες ή τις επαναλήψεις που προσανατολίζονται σε συγκεκριμένο στόχο, οι οποίες θεωρούνται απαραίτητες για να καθοδηγήσουν τη νευρωνική προσαρμογή. Σε άλλες περιπτώσεις, η δυνατότητα της νευρωνικής προσαρμογής επηρεάζεται από ψυχολογικούς και γνωσιακούς περιορισμούς, όπως κατάθλιψη, αφασία, διαταραχές μάθησης, αλλά και σωματικό περιορισμό.

Παρόλα αυτά, σήμερα πιστεύεται ότι, σε όλη τη διάρκεια της ζωής μας, και ανεξάρτητα από την ηλικία, ο εγκέφαλος έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί νέους νευρώνες και να κατασκευάζει νέα νευρικές οδούς, μπορεί να προσαρμοστεί δηλαδή στις νέες καταστάσεις. Όταν το άτομο συμμετέχει σε νέες εμπειρίες ή σκέφτεται με ένα νέο τρόπο, τότε πιστεύεται ότι δημιουργούνται νέες νευρικές οδοί. Κάθε φορά που αναδύεται μια συγκεκριμένη σκέψη, πυροδοτείται μια συγκεκριμένη νευρική οδός, με συγκεκριμένους νευρώνες, απελευθερώνονται οι ανάλογοι νευροδιαβιβαστές ενώ οι συνάψεις αλλάζουν διακριτικά. Με την επανάληψη η συγκεκριμένη νευρική οδός, ενισχύεται. Ακόμη και όταν διαβάζει το άτομο ένα κείμενο, όπως αυτό εδώ, ο εγκέφαλος αλλάζει. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να θεωρηθεί ότι η δομή του εγκεφάλου, φτάνει στο αποκορύφωμά της. Με όλες τις σκέψεις, τις κινητικές δραστηριότητες και φυσικά τις εμπειρίες, που έχει το άτομο μέχρι τη στιγμή αυτή.

7-1. Ορισμός της νευροπλαστικότητας

Η νευροπλαστικότητα, επίσης γνωστή και ως “πλαστικότητα του εγκεφάλου”, είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει τόσο τη συναπτική όσο και τη μη-συναπτική πλαστικότητα, αναφέρεται σε κατασκευαστικές αλλαγές των νευρικών οδών και συνάψεων που οφείλονται σε αλλαγές της συμπεριφοράς, του περιβάλλοντος, των νευρικών διεργασιών, της σκέψης, των συναισθημάτων καθώς και των αλλαγών που προκύπτουν μετά από μια βλάβη [1] Η νευροπλαστικότητα, αντικατέστησε τη σταθερή μέχρι πριν από λίγα χρόνια άποψη ότι ο εγκέφαλος είναι ένα φυσιολογικά στατικό όργανο, και αποτελεί ένα επιστημονικό πεδίο που διερευνά το πώς και με ποιους τρόπους ο εγκέφαλος αλλάζει σε όλη τη ζωή μας.

Με άλλα λόγια, νευροπλαστικότητα είναι η ικανότητα του νευρικού συστήματος να προσαρμόσει τη δομή του και να αναδιοργανωθεί σχηματίζοντας νέες νευρικές οδούς. Η ικανότητα αυτή αναφέρεται στο πώς μια άθικτη και υγιής περιοχή του εγκεφάλου μπορεί να αντισταθμίσει τις λειτουργίες που ελέγχονται από μια άλλη περιοχή που έχει υποστεί βλάβη ή τραυματισμό. Δηλαδή, οι νευράξονες που διατηρούνται άθικτοι, μέσα από τη νευροφυσιολογική διαδικασία της “εκβλάστησης” (sprouting) σχηματίζουν νέες νευρικές συνδέσεις (συνάψεις), δημιουργώντας και καθιερώνοντας νέες ή εναλλακτικές νευρικές οδούς, που βοηθούν να ανακτηθούν οι λειτουργίες που έχουν χαθεί, λόγω της βλάβης.

Ο όρος “**νευροπλαστικότητα**” προέρχεται από τις ρίζες των Ελληνικών λέξεων “Νευρώνας - Neuron” και “πλαστικό - Plastic”. Ο “νευρώνας” αποτελεί τη βάση των νευρικών κυττάρου του εγκεφάλου μας. Κάθε νευρικό κύτταρο, αποτελείται από το κυτταρικό σώμα, έναν ή περισσότερους νευράξονες, τους δενδρίτες (οι τελικές διακλαδώσεις των

νευραξόνων), ενώ το ένα κύτταρο με το άλλο συνδέεται με ένα μικρό χώρο, που ονομάζεται “σύναψη”. Η λέξη “πλαστικό” σημαίνει κάτι το εύπλαστο, μια ύλη που μπορεί να αναμορφωθεί ή να τροποποιηθεί. Η σύνθετη επομένως λέξη “νευροπλαστικότητα” αναφέρεται στην πιθανότητα που έχει ο εγκέφαλος να αναδιοργανώνεται, δημιουργώντας νέες νευρικές οδούς για να προσαρμόζεται, σύμφωνα με τις ανάγκες που προκύπτουν. Ας θεωρηθούν τις νευρολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στον εγκέφαλο, καθώς αυτός προσπαθεί να αυτό-συντονισθεί για να καλύψει τις ανάγκες του ατόμου. Ένας απλός τρόπος για να κατανοηθεί πώς ο εγκέφαλος δημιουργεί νέες νευρικές οδούς, είναι να φανταστεί κάποιος τον εγκέφαλο σαν ένα ραδιόφωνο. Όταν προσπαθεί το άτομο να συντονίσει το διακόπτη για να “πιάσει” ένα σταθμό που ακούγεται ενδιαφέρον, εάν αυτός δεν ακούγεται καλά δεν γίνεται σαφές αυτό που εκπέμπει, τότε γίνεται καλύτερη επικέντρωση στο σταθμό για να ελαττωθεί όσο το δυνατόν η παραμόρφωση, και έτσι να ακούγεται με μεγάλη σαφήνεια και καθαρότητα. Μπορείτε να παρομοιαστεί η κατασκευή των νέων νευρικών οδών στον εγκέφαλο, με το ίδιο ακριβώς παράδειγμα, όπως όταν μαθαίνει το άτομο κάτι καινούργιο. Όσο περισσότερο επικεντρώνεται το άτομο στη νέα δράση και την εξασκεί πρακτικά τόσο καλύτερα μπορεί να εκτελεσθεί η νέα δεξιότητα που μαθαίνει το άτομο ή τόσο καλύτερα θα μπορεί να ξεπεράσει το εμπόδιο για το οποίο εκπαιδεύεται. Με τη δημιουργία των νέων αυτών νευρικών συνδέσεων, που δημιουργούνται στον εγκέφαλο ως συνάψεις, που συνήθως δεν πυροδοτούνται μαζί, αλλά ενσωματώνονται στο νέο αναδιοργανωμένο κινητικό πλάνο που σχεδιάζεται κατά την εκπαίδευση, βοηθά το άτομο να αυξήσει την ακρίβεια της νέας του κινητικής ικανότητας.

Η νευροπλαστικότητα παρουσιάζεται σε διάφορα επίπεδα, που κυμαίνονται από τις κυτταρικές μεταβολές που αποδίδονται στη μάθηση, μέχρι μεγάλης κλίμακας αλλαγές που εμπλέκονται στη αλλαγή της χαρτογράφησης (αντιστοίχισης) του φλοιού, σαν απάντηση σε μια βλάβη ή τραυματισμό του εγκεφάλου. Ο ρόλος της νευροπλαστικότητας αναγνωρίζεται πλέον ευρέως στη διαδικασία της υγιούς ανάπτυξης, στην πορεία της μάθησης, της μνήμης, και της ανάρρωσης μετά από μια εγκεφαλική βλάβη. Όπως αναφέρθηκε, στο μεγαλύτερο μέρος του 20ου αιώνα, υπήρχε συναίνεση μεταξύ των νευροεπιστημόνων ότι η δομή του εγκεφάλου είναι σχετικά αμετάβλητη, μετά από την κρίσιμη περίοδο κατά την πρώιμη παιδική ηλικία, μετά δηλαδή την ωρίμανσή τους. Η πεποίθηση αυτή αμφισβητήθηκε έντονα, και τα πειραματικά ευρήματα και στοιχεία αποκαλύπτουν ότι πολλές πτυχές του εγκεφάλου παραμένουν “πλαστικές”, έχουν δηλαδή τη δυνατότητα προσαρμογής και αναδιοργάνωσης, ακόμη και στην ενήλικη ζωή.

Από τα πειραματικά δεδομένα υποστηρίζεται ότι αισθητικές οδούς σταθεροποιούνται-ωριμάζουν μετά την κρίσιμη περίοδο τη ανάπτυξης. Επίσης ότι οι αλλαγές του περιβάλλοντος θα μπορούσαν να μεταβάλλουν τη συμπεριφορά και τη γνωσιακή λειτουργία, τροποποιώντας τις συνδέσεις ανάμεσα στους νευρώνες που υπάρχουν αλλά και μέσω “νευρογένεσης” στον υπόκαμπο και σε άλλα μέρη του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένης της παρεγκεφαλίδας.

Δεκαετίες έρευνας έδειξαν ότι ουσιαστικές αλλαγές εμφανίζονται στο νεοφλοιό, στις χαμηλότερες περιοχές επεξεργασίας, και ότι αυτές οι αλλαγές μπορούν να μεταβάλουν ριζικά το πρότυπο της νευρωνικής ενεργοποίησης, σαν απάντηση στην εμπειρία. Έρευνα στη νευροεπιστήμη δείχνει ότι η “εμπειρία” μπορεί να αλλάξει στην πραγματικότητα τόσο φυσική δομή του εγκεφάλου (ανατομία) όσο και τη λειτουργική του οργάνωση (φυσιολογία). Σήμερα η νευροεπιστήμη προσπαθεί να συμβιβάσει τη βασική μέχρι τώρα άποψη που αποδεικνύει την αμετάβλητο του εγκεφάλου μετά την ανάπτυξη, με την πιο πρόσφατη έρευνα που δείχνει πώς ο εγκέφαλος μπορεί, και κάνει, αλλαγή.

7-2. Βασικοί κανόνες στη νευροπλαστικότητα

Στην έννοια της νευροπλαστικότητας, αν και αυτή έχει μελετηθεί και εισαχθεί στην επιστημονική σχετικά πρόσφατα, υπάρχουν ορισμένα βασικοί κανόνες που ισχύουν σε κάθε περίπτωση, αποτελώντας ουσιαστικά μια πραγματικότητα πάνω στην οποία αναπόφευκτα στηρίζεται. Αυτοί είναι: (α) η νευροπλαστικότητα περιλαμβάνει αρκετές διαφορετικές διαδικασίες που διεξάγονται σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ατόμου. Η νευροπλαστικότητα δεν αποτελείται από ένα μόνο τύπο μορφολογικών αλλαγών, αλλά μάλλον περιλαμβάνει πολλές και διαφορετικές διαδικασίες που συμβαίνουν καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής ενός ατόμου. Στη νευροπλαστικότητα εμπλέκονται πολλοί τύποι κυττάρων του εγκεφάλου, ανάμεσα στα οποία περιλαμβάνονται οι νευρώνες των διάφορων κυττάρων του εγκεφάλου, η νευρογλοία, και τα αγγειακά κύτταρα. (β) Η νευροπλαστικότητα έχει μια παράμετρο που εξαρτάται σαφώς από την ηλικία. Αν και πλαστικότητα συμβαίνει σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ατόμου, κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων της ζωής του κυριαρχούν διαφορετικά είδη “πλαστικότητας” τα οποία είναι λιγότερο εμφανή στη διάρκεια άλλων περιόδων. (γ) Η νευροπλαστικότητα παρουσιάζεται στον εγκέφαλο κάτω από δύο κύριες προϋποθέσεις: 1) κατά τη διάρκεια της κανονικής ανάπτυξης του εγκεφάλου, όταν ο ανώριμος εγκέφαλος αρχίζει να επεξεργάζεται τις πρώτες αισθητικές του πληροφορίες, με τη διαδικασία της ενηλικίωσης (αναπτυξιακή πλαστικότητα και πλαστικότητα μάθησης και μνήμης) και 2) σαν προ-

σαρμοστικός μηχανισμός είτε για να αντισταθμίσει την απώλεια της λειτουργίας είτε να μεγιστοποιήσει τις λειτουργίες που έχουν απομείνει, σε περίπτωση βλάβης του εγκεφάλου, και (δ) το περιβάλλον παίζει έναν καθοριστικό ρόλο στην εκδήλωση της πλαστικότητας, την οποία επηρεάζει ουσιαστικά. Εκτός από τους γενετικούς παράγοντες, ο εγκέφαλος κάθε ατόμου διαμορφώνεται από τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος αλλά και από τις ενέργειες του συγκεκριμένου ατόμου.

7-2-1. Πότε παρουσιάζεται η νευροπλαστικότητα

Η νευροπλαστικότητα παρουσιάζεται κυρίως στον εγκέφαλο και όπως αναφέρθηκε σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ατόμου. Υπάρχουν όμως περίοδοι που αυτή μπορεί να εκδηλωθεί με εντονότερο τρόπο και τα αποτελέσματά της να είναι ισχυρότερα, όπως ακριβώς στη νεαρότερη ηλικία, μια και η νευροπλαστικότητα είναι μια διαδικασία που εξαρτάται από την ηλικία. Αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι η διαδικασία της μάθησης είναι ευκολότερη κατά τη νεαρά ηλικία και πιο αποτελεσματική μέχρι την τρίτη δεκαετία της ζωής.

Σύμφωνα πάντως με τα στάδια της εξέλιξης του ατόμου και τις νευροφυσιολογικές διαδικασίες που υπεισέρχονται στη λειτουργία του εγκεφάλου, μπορεί να ειπωθεί με σαφήνεια ότι η νευροπλαστικότητα παρουσιάζεται σε: (α) στην έναρξη της ζωής, όταν ο ανώριμος εγκέφαλος, ωριμάζει και οργανώνεται μόνος του, (β) κατά την ωρίμανση και ενηλικίωση του εγκεφάλου, όταν πρόκειται να μαθευτούν και να απομνημονευθούν νέα πράγματα και νέες κινητικές δεξιότητες, και (γ) σε περίπτωση βλάβης ή κάκωσης όταν ο εγκέφαλος θα πρέπει μέσα από τις διαδικασίες ανάρρωσης να δημιουργήσει συνθήκες για την αντιστάθμιση της λειτουργίας που χάθηκε ή για να ενισχυθούν αυτές που έχουν απομείνει, ώστε να αναλάβουν να εξισορροπήσουν την απώλεια.

7-2-2. Τύποι της νευροπλαστικότητας

Πώς μπορούν να επιλυθούν καλύτερα τα προβλήματα που συναντά καθημερινά ο άνθρωπος, σε σχέση με τη συμπεριφορά και τη μάθησή του: να μάθει μια νέα γλώσσα, να αυξήσει την ικανότητα προσοχής και επικέντρωσης σε γεγονότα και γνώσεις, να αποκτήσει νέες κινητικές δεξιότητες, να μάθει ένα μουσικό όργανο, να ανακτήσει και πάλι τον έλεγχο της λειτουργίας του σώματος του μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, ή να ανακτήσει κάποια χαμένη λειτουργία του εγκεφάλου μετά από ένα τραύμα; Ο εγκέφαλος αποδείχθηκε πλέον πειραματικά και επιβεβαιώθηκε με εργαστηριακές μετρήσεις ότι έχει την ικανότητα να δημιουργήσει τις απίστευτες αυτές διαρκείς αλλαγές στη λειτουργία του, μέσα από τη διαδικασία της νευροπλαστικότητας.

Οι τύποι της νευροπλαστικότητας που υπάρχουν, δηλαδή οι νευροφυσιολογικές διαδικασίες που μεσολαβούν για τη διαμόρφωση της επανοργάνωσης και της αλλαγής του εγκεφάλου είναι δύο: (α) λειτουργική πλαστικότητα (functional plasticity), που αναφέρεται στην ικανότητα του εγκεφάλου να “μετακινεί” λειτουργίες από μια περιοχή που έχει προσβληθεί από μια βλάβη ή κάκωση, σε μια άλλη περιοχή που παραμένει άθικτη και ανεπηρέαστη, και (β) κατασκευαστική πλαστικότητα (structural plasticity) που αναφέρεται στην ικανότητα του εγκεφάλου να αλλάζει πραγματικά τη φυσική του κατασκευή, σαν αποτέλεσμα της μάθησης.

7-3. Αρχές της νευροπλαστικότητας

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες έγινε σημαντική γενετική έρευνα στις περιοχές της νευροεπιστήμης και νευροπλαστικότητας. Αποδείχθηκε πλέον σαφώς ότι το νευρικό σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί. Αν και αυτό αποδείχθηκε ότι ισχύει κατά την περίοδο της ανάπτυξης, η νευρωνική πλαστικότητα είναι γεγονός σε όλα τα επίπεδα του νευρικού συστήματος και σε όλη τη διάρκεια της ζωής του ατόμου. Άλλωστε, οι αλλαγές στην πλαστικότητα στην περιοχή του φλοιού, φαίνεται να εξηγούνται από τις τοπικές αλλαγές που παρατηρούνται στη νευροανατομία. Η διαδικασία της φλοιϊκής πλαστικότητας στο αναπτυσσόμενο παιδί, αντιπροσωπεύεται από την προοδευτική, και σε πολλαπλά επίπεδα μάθηση των κινητικών δεξιοτήτων. Υποστηρίζεται δηλαδή ότι στο παιδί που αναπτύσσεται, η καθιέρωση των πολλαπλών δεξιοτήτων, αποτελεί εκδήλωση της νευροπλαστικότητας του φλοιού του εγκεφάλου. Αντίθετα, στα ενήλικα άτομα, η διαδικασία της φλοιϊκής νευροπλαστικότητας αντιπροσωπεύει περισσότερο αποτελεσματικές προσαρμογές των νευρολογικών διεργασιών.

Για να μεγιστοποιηθεί η νευρική προσαρμογή, κινητικές συμπεριφορές που προκαλούν αλλαγές στο νευρικό σύστημα, και ενισχύουν την άποψη της νευροπλαστικότητας, απαιτούν έντονη προσοχή από το άτομο, την πολλαπλή επανάληψη με την πάροδο του χρόνου και τη θετική επαναπληροφόρηση. Οι κινητικές αυτές συμπεριφορές θα πρέπει να έχουν κίνητρο και να επικεντρώνονται σε σαφείς στόχους, επιθυμίες και ενδιαφέροντα. Η κινητική συμπεριφορά που εκπαιδεύεται πρέπει να επαναλαμβάνεται και να συντονίζεται με την πάροδο του χρόνου, αλλά δεν πρέπει να είναι στερεότυπη. Ιδανικά, οι συμπεριφορές αυτές πρέπει να έχουν μια προοδευτικότητα στην ακρίβεια της εκτέλεσής τους και στη μάθηση. Εάν οι συμπεριφορές αυτές είναι διαφορετικές αλλά συμπληρωματικές και χρονικά σύμφωνες, τότε θα μπορούσε επίσης να παρατείνεται η συμπλοκότητα της προσαρμογής και της μάθησης.

Κατά τη νευροπλαστικότητα, στις φάσεις μάθησης υπάρχουν καταστάσεις συμπεριφοράς οι οποίες πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη. Στην κινητική μάθηση, οι εκπροσώπησης στον εγκεφαλικό φλοιό, των ερεθισμάτων και των εγκεφαλικών δράσεων, είναι εξειδικευμένες για συγκεκριμένη μάθηση. Τα ερεθίσματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά θα πρέπει να προκαλούν την επανειλημμένη διέγερση των νευρωνικών πληθυσμών του φλοιού. Έτσι, σαν αποτέλεσμα, θα πρέπει προοδευτικά να αυξηθεί ο αριθμός των νευρώνων που εμπλέκεται στην όλη διαδικασία.

Τα επανειλημμένα αυτά ερεθίσματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά και τα οποία μεσολαβούν στην επεξεργασία της εξειδικευμένης μάθησης, οδηγούν προοδευτικά σε μεγαλύτερη εξειδίκευση της μάθησης, σε διαστάσεις χώρου και χρόνου. Με την εξέλιξη της μάθησης, ένας αριθμός νευρώνων που απαντούν εκλεκτικά σε αυτήν, εκφορτίζεται με προοδευτικά ισχυρότερο χρονικό συντονισμό (κατανεμημένος συγχρονισμός). Η επιλογή ερεθισμάτων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά είναι αποτέλεσμα των ενισχυμένων διασυνδέσεων, δηλαδή των συνάψεων, οι οποίες στηρίζονται στην ταύτιση των ερεθισμάτων αυτών.

7-3-1. Ερεθίσματα και εκπροσώπηση στον εγκεφαλικό φλοιό

Οι εξειδικευμένες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού, που σχετίζονται με την πηγή και την κατανομή των ερεθισμάτων αλλά και αυτές που αφορούν τα δομημένα με το χρόνο ερεθίσματα, δημιουργούν διάφορες εκπροσωπευτικές κατασκευαστικές δομές. Οι χρονικές όμως διαστάσεις των ερεθισμάτων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά, επηρεάζουν την “εξειδικευμένη” αυτή εκπροσώπηση στον εγκεφαλικό φλοιό. Ο χρόνος ολοκλήρωσης, δηλαδή ο χρόνος επεξεργασίας, των ερεθισμάτων αυτών στο φλοιό, υπεισέρχεται στη διαδικασία της ενισχυμένης νευροπλαστικότητας, η οποία στηρίζει τη μάθηση. Για παράδειγμα, οι μουσικοί μαθαίνουν να εναλλάσσουν τα δάκτυλά τους μέσα σε 60 msec, ή σε πολύ εκπαιδευμένα άτομα και λιγότερο, σε αντίθεση με το μέσο άνθρωπο που εναλλάσσει τα δάκτυλά του με ένα ρυθμό 100 msec. Επιπρόσθετα, η κινητική αυτή μάθηση μπορεί να τροποποιηθεί ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση συμπεριφοράς. Για παράδειγμα, ένα άτομο που βρίσκεται κάτω από συνθήκες υψηλής εγρήγορσης, συγκίνησης και υπερδιέγερσης, μπορεί να εκτελέσει ιδιαίτερες, αξιoσημείωτες ακόμη και ακραίες δραστηριότητες, όπως να σηκώσει ένα υπερβολικό βάρος σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, τι οποίο φαίνεται ακατόρθωτο σε συνθήκες φυσιολογικής εγρήγορσης.

Είναι ευκολότερο να κατανοήσουμε θετικές νευρωνικές προσαρμογές της πρακτικής εξάσκησης που αναφέρονται σε δομικά αποτελέσματα καθώς και αποτελέσματα που σχετίζονται με τη συμπεριφορά. Σε αυτά περιλαμβάνονται η βελτίωση της εκτέλεσης μιας

δραστηριότητας με επάρκεια, η αποτελεσματική μάθηση μια νέας δραστηριότητας και η ενισχυμένη “ανάρρωση” μετά από μια νευρολογική βλάβη. Από μελέτες που έγιναν σε ζώα, που εκπαιδεύτηκαν να διακρίνουν αισθητικά ερεθίσματα σε λεπτές κινητικές δραστηριότητες, όπως η συλλογή σφαιριδίων από ένα δοχείο μικρού μεγέθους, διαπιστώθηκε ότι οι νευρώνες στο φλοιό του εγκεφάλου τους παρουσίαζαν εντυπωσιακές κατασκευαστικές αλλαγές. Παρατηρήθηκε ότι οι εκπροσωπήσεις στην ανάλογη περιοχή του φλοιού ήταν περισσότερο εκτεταμένες και υπάρχει μια παράλληλη συλλογή των συμπληρωματικών ερεθισμάτων. Παράλληλα αυξάνεται ο αριθμός των νευρώνων που μπορούν να διεγερθούν, ενισχύεται η θέση της προβολής και της εξειδίκευσης της επαναπληροφόρησης, ενισχύονται οι συνάψεις ανάμεσα σε ταυτόσημα ερεθίσματα, βραχύνεται ο χρόνος ολοκλήρωσης της επεξεργασίας και ενισχύεται η συμπλοκότητα των νευρωνικών και δενδριτικών διακλαδώσεων. Για παράδειγμα, αυτό γίνεται εμφανές στους αναγνώστες της γραφής Braille και στους μουσικούς που χρησιμοποιούν έντονα και με ακρίβεια τα χέρια τους, παρατηρείται εκτεταμένη εκπροσώπηση των δακτύλων στον φλοιό.

Είναι γνωστό επίσης ότι είναι δυνατόν να εκπαιδευτεί ένα αισθητικό σύστημα, όπως για παράδειγμα η διάκριση της σωματοαισθητικής αίσθησης. Αποδείχθηκε ότι η μάθηση που εστιάζεται για παράδειγμα στη σωματοαισθητικότητα (αισθητικές αντιλήψεις που σχετίζονται με το σώμα, όπως η αφή, η θερμότητα και ο πόνος), γενικεύεται και σε άλλες αισθήσεις, όπως για παράδειγμα την ακουστική διάκριση. Το εύρημα αυτό φαίνεται ότι μπορεί να εφαρμοστεί έντονα στη διαδικασία της εκπαίδευσης. Για παράδειγμα, μια επανεκπαίδευση που είναι στοχευμένη στη σωματοαισθητικότητα, θα μπορούσε να ξεκινήσει με μια ακουστική ή οπτική επανεκπαίδευση. Μπορεί να εκπαιδευτεί δηλαδή το άτομο να διακρίνει ήχους ή οπτικά ερεθίσματα που θα μπορούσαν να συνδεθούν ανάλογα με την εξειδικευμένη αισθητική αντίληψη της σωματοαισθητικότητας.

7-3-2. Οραματισμός της κίνησης και νευροπλαστικότητα

Είναι γνωστό ότι ο κινητικός οραματισμός επιστρατεύει σημαντικές νευρωνικές απαντήσεις. Επομένως, ο πραγματικός ή εικονικός οραματισμός μπορεί να συνδυάζεται με τη μάθηση. Κατά τη διάρκεια του κινητικού οραματισμού, η αύξηση της διεγερσιμότητας του φλοιού του εγκεφάλου δεν συνοδεύεται από ανάλογες αλλαγές της διεγερσιμότητας του νωτιαίου μυελού. Φαίνεται ότι υπάρχει μια σχέση ανάμεσα στα αντικείμενα και στα συστατικά της δράσης που οραματίζεται το άτομο. Διαπιστώθηκε επίσης ότι η πνευματική εξάσκηση μιας κινητικής δραστηριότητας επιστρατεύει μόνον τους άλφα κινητικούς νευρώνες και δεν ε-

πηρεάζει καθόλου τους γάμμα κινητικού νευρώνες (της μυϊκής ατράκτου – fusimotor), επειδή ακριβώς δεν υπάρχει αισθητική επαναπληροφόρηση.

Όταν υπάρχει μια νευρολογική βλάβη, τότε η ακρίβεια του οραματισμού μιας δραστηριότητας που μπορεί να επαναλαμβάνεται μπορεί να είναι διαφορετική από ότι η πραγματική εκτέλεσή της, η οποία μπορεί να ποικίλει ανάλογα με την κατάσταση της νευρικής προσβολής. Με δεδομένη την αναλογική νευρωνική επιστράτευση της φανταστικής σε σχέση με την πραγματική εκτέλεση μιας δραστηριότητας, μπορεί να απαιτείται “οραματισμός” μεγαλύτερης έντασης και διάρκειας, προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία ισοδύναμης μάθησης σε σύγκριση με την πραγματική εξάσκηση της δραστηριότητας. Βέβαια, ο οραματισμός της κινητικής δράσης, έχει χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να βελτιώσει την απόδοση σε αθλητές. Χρησιμοποιήθηκε επίσης “οραματισμός” μέσα από καθρέπτη για να αντιμετωπιστούν τα δύσκολα προβλήματα του πόνου “μέλους φαντάσματος” (πόνος που εντοπίζεται σε μέλος που λείπει λόγω ακρωτηριασμού, χωρίς όμως να παύει να υπάρχει η εκπροσώπησή του στο φλοιό του εγκεφάλου).

7-4. Περιορισμοί της νευροπλαστικότητας

Σε μια φυσιολογική βάση, η πλαστικότητα συγκρατείται δομικά σε συγκεκριμένες ανατομικές θέσεις, αλλά και από τη διάχυση των ερεθισμάτων που συγκλίνουν και αποκλίνουν. Επίσης συγκρατείται από τη σταθερά του χρόνου, η οποία ελέγχει τις παράλληλες επιλογές των ταυτόσημων ερεθισμάτων, επιτρέποντας να επιτυγχάνεται ο φλοιϊκός ερεθισμός από σαφή ή και ασαφή φλοιϊκά ερεθίσματα. Η φλοιϊκή όμως εκπροσώπηση της νευροπλαστικότητας μπορεί να περιορίζεται από σύμπλοκα καθώς και από απλά ερεθίσματα.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την εξέλιξη της διαδικασίας της μάθησης, είναι η ενοποίηση και κατ’ επέκταση συγχώνευση όλων των φλοιϊκών εκπροσωπήσεων, προκειμένου να δημιουργηθεί μια πολύ ισχυρή δομική αλλαγή. Για παράδειγμα, ο εγκεφαλικός φλοιός που εκπαιδεύεται, δημιουργεί προοδευτικά περισσότερο ειδικές κατανομές εκπροσώπησης των ερεθισμάτων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά, μέσω της ειδικής φυσικά εξειδίκευσης. Ο περιορισμός αυτός είναι ιδιαίτερα σημαντικός, εφόσον με την ενοποίηση, αυξάνεται η δύναμη που κατέχουν οι φλοιϊκοί μηχανισμοί να καθοδηγούν αποτελεσματικά τις αλλαγές που παρουσιάζονται στο νευρικό σύστημα, οποτεδήποτε υπάρχει φλοιϊκή κατανομή ανάλογων ερεθισμάτων, όσο αυξάνεται και η αναπτυσσόμενη φλοιϊκή εκπροσώπηση. Με άλλα λόγια, οι μηχανισμοί ελέγχου που εξασκούνται από τις ειδικές περιοχές του φλοιού, είναι ισχυρότεροι όταν οι εκπροσωπήσεις στις περιοχές του εί-

ναι ενισχυμένες και καλύτερα οργανωμένες. Έτσι εξασκείται ισχυρότερη επίδραση στο νευρικό σύστημα, που αναπόφευκτα ελέγχεται από τις ανώτερες αυτές θέσεις. Σε διαφορετική περίπτωση, περιορίζεται η ευεργετική επίδραση της νευροπλαστικότητας.

Η μυελίνωση, η οποία εξελίσσεται προοδευτικά, αποτελεί μια άλλη παράμετρο με δυναμική βάση για τη διαδικασία της μάθησης. Η διαδικασία της μυελίνωσης καθορίζει αλλά και ελέγχει το χρόνο της νευρικής αγωγιμότητας (εφόσον οι εμμύελες νευρικές ίνες έχουν μεγαλύτερη ταχύτητα αγωγής από ότι οι αμύελες) και ως εκ τούτου τη χρονική διασπορά των ερεθισμάτων, προς και μέσα στις περιοχές του φλοιού του εγκεφάλου. Υπάρχουν και άλλοι παράμετροι που περιορίζουν συγκεκριμένες επεκτάσεις των νέων δενδριτικών διακλαδώσεων και συναπτικών συνδέσεων, όπως είναι ο συναγωνισμός ανάμεσα σε νευρικές κατασκευαστικές δομές, τόσο για τις ξεχωριστές τους λειτουργίες όσο και για αυτές που είναι κοινές για τις δομές αυτές, τα δύσκολα κινητικά προγράμματα, αλλά και νευροχημικές διαδικασίες, η ολοκλήρωση της μυελίνωσης και άλλοι κυτταρικοί μηχανισμοί.

Η διαδικασία της προσαρμογής που άγεται φυγόκεντρα με μια ιεραρχική σειρά, ελέγχει τα “διαστήματα” προσοχής και την πρόβλεψη για τη μάθηση. Με την εξέλιξη της διαδικασίας της μάθησης, δημιουργούνται προσδοκίες και συμπεριφερσιολογικοί στόχοι. Τα συστήματα του προσαρμοστικού ελέγχου που επιτρέπουν τη μάθηση, παρουσιάζουν επίσης πλαστικότητα και φαίνεται ότι αλλάζουν με την ωρίμανση. Μπορεί όμως να περιορίζουν την προοδευτική μάθηση, επειδή χαρακτηρίζεται από σύμπλοκες πληροφορίες επαναπληροφόρησης προς το φλοιό. Οι νευροφυσιολογικοί αυτοί περιορισμοί επομένως, φαίνεται ότι περιορίζουν και τις νευρωνικές προσαρμογές.

Η προσαρμογή μπορεί να περιορίζεται από το συναγωνισμό που αναπτύσσεται ανάμεσα στις νευρωνικές δεξαμενές και στις σταθερές του χρόνου, στο χρόνο ολοκλήρωσης και στην αναστολή των αντανακλαστικών. Όταν τα ερεθίσματα παρουσιάζονται κανονικά μέσα στις περιόδους αναστολής ή ενσωμάτωσής τους, δεν μπορεί να καταχωρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα σαν ξεχωριστά και διακριτά μεταξύ τους. Για παράδειγμα, η εκπροσώπηση των δακτύλων στον εγκεφαλικό φλοιό μπορεί να “διασπαστεί” στην περίπτωση ακρωτηριασμού των δακτύλων, άλλης χειρουργικής επέμβασης ή την ταυτόχρονη χρήση πολλών δακτύλων, όπου σημειώνονται επαναλαμβανόμενοι ερεθισμοί, όπως στην ανάγνωση Braille με πολλά δάκτυλα. Οι επιφάνειες του δέρματος που ερεθίζονται σχηματίζουν μια πιο ενοποιημένη από ότι διακριτή εκπροσώπηση στον εγκεφαλικό φλοιό.

7-4-1. Νευροπλαστικότητα και ύπνος

Αναφέρθηκε ότι «...εάν ο ύπνος δεν εξυπηρετεί την απόλυτη ζωτικής σημασίας λειτουργία του, τότε αυτό είναι το μεγαλύτερο λάθος που έγινε ποτέ στην εξελικτική διαδικασία". Πράγματι, σχεδόν όλα τα ζωικά είδη, από τα μεγαλύτερα μέχρι τα μικρότερα, δείχνουν μια κατάσταση συμπεριφοράς που μπορεί να θεωρηθεί σαν ύπνο. Ο ύπνος φαίνεται να είναι μια επιτακτική ανάγκη, ίσης σημασίας με το πόσιμο νερό ή το φαγητό, σε τέτοιο βαθμό που η χρόνια στέρηση ύπνου (σε αρουραίους) παράγει κυτταρικές και μοριακές αλλαγές στον εγκέφαλο, που επιφέρουν το θάνατο του ζώου μέσα σε λίγες εβδομάδες.

Προκειμένου να ερμηνευτούν οι λειτουργίες του ύπνου έχουν προταθεί διάφορες υποθέσεις. Σήμερα υπάρχει μια γενική συμφωνία ότι ο ύπνος είναι στενά συνδεδεμένη με τη μνήμη, τη μάθηση και, σε γενικές γραμμές, με τους μηχανισμούς της νευρικής πλαστικότητας. Πράγματι, μία από τις κύριες συνέπειες της στέρησης ύπνου είναι οι γνωσιακές διαταραχές, ιδιαίτερα στη μάθηση και στη μνήμη, Παρά το γεγονός ότι έχει διερευνηθεί εκτενώς η σύνδεση μεταξύ του ύπνου, της μνήμης και της νευρικής πλαστικότητας, δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητή μια παρόμοια σχέση. Υπάρχουν στοιχεία που συμφωνούν με την υπόθεση μιας ομοιοστατικής, μιας συναπτικής ρύθμισης προς τα κάτω που γίνεται με τη μεσολάβηση του ύπνου, ενώ άλλες μελέτες υποστηρίζουν ένα μοντέλο "ενοποίησης" το οποίο στηρίζεται στην επανενεργοποίηση, κατά τη διάρκεια του ύπνου, από τις ίδιες περιοχές, οι οποίες ήταν ενεργείς κατά τη διάρκεια της εγρήγορσης. Δεδομένου ότι είναι ευρέως αποδεκτό ότι οι μηχανισμοί της συναπτικής πλαστικότητας αποτελούν τη βάση της κινητικής και της γνωσιακής "ανάρρωσης", είναι απαραίτητο να κατανοηθεί η σχέση που υπάρχει ανάμεσα στον ύπνο και στη νευροπλαστικότητα, σαν μια προοπτική αποκατάστασης.

Ο ύπνος φαίνεται λοιπόν ότι έχει σχέση με την όλη διαδικασία της μάθησης. Θεωρείται ότι ένας άλλος περιορισμός στη νευρική προσαρμογή μπορεί να σχετίζεται με την ανάπτυξη ώριμων προτύπων ύπνου, ειδικά μέσα στα πρώτα έτη της ζωής. Ο ύπνος επιτρέπει να ενισχυθούν οι αλλαγές που σχετίζονται με τη νευροπλαστικότητα και αναφέρονται στη μάθηση. Ο ύπνος αναστοιχειοθετεί και απορυθμίζει τους μηχανισμούς μάθησης, "σβήνοντας" προσωρινά μη ενισχυμένες και χωρίς ανταπόδοση αλλαγές που προκαλούνται από ερεθίσματα και οι οποίες δημιουργούνται κατά τις περιόδους εγρήγορσης.

7-4-2. Αρνητική μάθηση

Η αρνητική μάθηση, μπορεί χαρακτηριστεί εκείνη κατά την οποία ενώ ολοκληρώνεται η διαδικασία, το αποτέλεσμα της δεν είναι σύμφωνο με το αναμενόμενο ευεργετικό αποτέλεσμα επάνω στην κινητική δεξιότητα και επάρκεια, στην ψυχολογία, στο κίνητρο και στην

κοινωνική συμμετοχή. Παρουσιάζεται δε όταν ένα άτομο εκτελεί επαναλαμβανόμενες δράσεις με μη φυσιολογικό ή με έναν άτυπο τρόπο. Μπορεί επίσης να είναι αποτέλεσμα της αντιστάθμισης που παρουσιάζεται σα συνέπεια της ανεπαρκούς “αναπτυξιακής” διαδικασίας ή σα συνέπεια μιας σοβαρής κάκωσης του εγκεφάλου, παρουσίας χρόνιου πόνου, χειρουργικής επέμβασης που επηρεάζει την έκφραση του φυσιολογικού κινητικού προτύπου, ή άλλη περισσότερο διάχυτη νευρολογική βλάβη, όπως το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο ή νευρολογική εκφυλιστική πάθηση, όπως η σκλήρυνση κατά πλάκας ή νόσος Parkinson.

Αν και οι περισσότεροι από τους περιορισμούς αυτούς θεωρούνται στατικοί, συχνά το μέγεθος της αδυναμίας χρήσης των φυσιολογικών προτύπων και κατ’ επέκταση της ανικανότητας αυξάνεται με την ηλικία και με το χρόνο. Για παράδειγμα, δεν είναι ασύνηθες ένα άτομο να παρουσίασε πολύ καλά επίπεδα νευροφυσιολογικής ανάρρωσης μετά από ένα ΑΕΕ, επιτυγχάνοντας ικανοποιητικά επιστροφή της ενεργητικής κίνησης στα μέλη που προσβλήθηκαν, επιμένει παρόλα αυτά κατά την μετακίνησή του να χρησιμοποιεί το κάτω άκρο που προσβλήθηκε, με ένα ανώριμο συνεργικό πρότυπο (για παράδειγμα να βαδίζει με ελάχιστη κάμψη του γόνατος και δρεπανοειδές βάδισμα), δημιουργώντας πραγματικό λειτουργικό πρόβλημα, το οποίο στηρίζεται στην αρνητική μάθηση. Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει κάποια ανατομική ή άλλη εμβιομηχανική ανωμαλία ή διαταραχή, αλλά και την προσεκτική και με χειρουργική ακρίβεια διόρθωση του προτύπου της βάδισης κατά την εκπαίδευση, η ελευθέρωση των οπίσθιων μηριαίων που επιτρέπει περισσότερη κάμψη του γόνατος, κατά τη φάση αιώρησης της βάδισης, πιθανόν να μην έχει ως αποτέλεσμα πλήρη λειτουργικότητα του ατόμου. Επίσης εάν συνυπάρχουν κατασκευαστικές αλλαγές, όπως μια ετερότοπη οστεοποίηση που προκαλεί σύγκαμψη του γόνατος ή του ισχίου, τροποποιώντας έτσι τη μηχανική της βάδισης, επειδή διαταράσσεται η λεπτή ισορροπία των εμβιομηχανικών μηχανισμών της βάδισης, μπορεί να δημιουργήσουν περισσότερη ανικανότητα. Επιπλέον, υπάρχουν δεδομένα ότι η εκτεταμένη επανάληψη μη φυσιολογικών προτύπων της κίνησης ή η χρήση τους με έναν καθαρά άτυπο τρόπο δημιουργεί μια τέτοια φλοιϊκή εκπροσώπηση, η οποία σταδιακά μαθαίνεται και επίσης σταδιακά γίνεται το κυρίαρχο πρότυπο της συγκεκριμένης δραστηριότητας.

Για να αλλάξει η “αρνητική” κινητική συμπεριφορά, θα πρέπει το άτομο να “ξεμάθει” το παθολογικό και άτυπο κινητικό πρότυπο. Αυτό θα γίνει σταδιακά, με έναν αργό και συστηματικό τρόπο, έτσι ώστε να δοθούν οι συνθήκες εκείνες για να αποκατασταθεί η “παθολογική” τοπογραφική εκπροσώπηση της κίνησης στο φλοιό του εγκεφάλου με ένα περισσότερο “φυσιολογικό” πρότυπο, ενώ θα πρέπει να αλλάξει και η λειτουργική εκπροσώπηση του στο φλοιό, στα βασικά γάγγλια, στην παρεγκεφαλίδα και στο θάλαμο. Στην πε-

ρίπτωση αυτή, οι κεντρικές αλλαγές πιθανόν να μην αποκαθίστανται μόνον με περιφερικές τροποποιήσεις και να απαιτείται μια πιο δύσκολη διαδικασία και σύμπλοκη μάθησης.

7-4-3. Εισροή μη ταυτόσημων ερεθισμάτων σε χρόνο και χώρο

Παρά το μεγάλο αριθμό των βαθμών ελευθερίας που υπάρχει έμφυτα σε κάθε κινητική δράση αλλά και τις πολλαπλές παραμέτρους που επηρεάζουν, διευκολύνουν ή αναστέλλουν, την κίνηση, ο τρόπος με τον οποίο κινείται ένα άτομο στη ζωή του είναι με την καθιέρωση μια δικής του επαναληπτικής κινητικής συμπεριφοράς. Κάθε άτομο, με μέση ικανότητα νόησης και κίνησης, μαθαίνει νέες κινητικές δραστηριότητες και εκτελεί με ακρίβεια τις παλαιότερες. Μπορεί να ειπωθεί ότι “η μάθηση αποτελεί το απόσταγμα της νευρικής προσαρμογής”. Εκτελεί ορισμένες καθημερινές δραστηριότητες τόσο ομαλά, ώστε γίνονται σχεδόν αυτόματες, είναι σταθερές, αναπαράγονται με ευκολία και είναι ασφαλείς, όπως η έγερση από την καθιστή στην όρθια στάση, η κατάποση, η ομιλία, το τρέξιμο, η γραφή με μολύβι ή και η πληκτρολόγηση. Μόλις οι δραστηριότητες αυτές αυτοματοποιηθούν, περιορίζεται η δυνατότητα απόκτησης νέας μάθησης ή εάν αυτή προκύψει θα είναι μικρή. Οι δραστηριότητες που έχουν μαθευτεί και έχουν καθιερωθεί αυτοματικά μπορεί να ολοκληρωθούν με ελάχιστη προσπάθεια, τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση ενέργειας, τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια και την ελάχιστη συμμετοχή της διαδικασίας της μάθησης. Βέβαια, η κατάσταση αυτή ενέχει τον κίνδυνο της αρνητικής μάθησης.

Η χωριστή εισροή μη ταυτόσημων ερεθισμάτων σε χρόνο και σε χώρο είναι ουσιαστική για τη διατήρηση της φυσιολογικής αισθητικής οργάνωσης της κίνησης στον εγκεφαλικό φλοιό, για παράδειγμα του χεριού, ενώ τα καλά διακριτά όρια εκπροσώπησης των δακτύλων είναι απόλυτα ουσιαστικά για το λεπτό κινητικό έλεγχο τους. Υπάρχουν περιπτώσεις που αναφέρεται στον αυτοματισμό των καλά μαθημένων δραστηριοτήτων, όταν η επαναληπτικότητά τους ξεπερνά σαφώς την ικανότητα της νευρικής επεξεργασίας, όπως συμβαίνει στη πολλαπλή και υψηλής ταχύτητας χρήση των δακτύλων των μουσικών. Εάν οι επαναληπτικές αυτές κινητικές συμπεριφορές, γίνονται στερεοτυπικές και σχεδόν αυτοματικές στο χρόνο, το νευρικό σύστημα δεν είναι ικανό να καταγράψει πληροφορίες ξεχωριστά από κάθε ένα δάκτυλο ή δεν μπορεί να δημιουργήσει τα ανάλογα ακριβή ερεθίσματα.

Επομένως, ερεθίσματα που επαναλαμβάνονται, είναι στερεότυπα, και είναι σχετικά, συγκριτικά ή ταυτόσημα, παρουσιάζονται σχεδόν ταυτόχρονα σε χρόνο, μπορεί να αποσυντονίσουν και να υποβαθμίσουν την τοπογραφική εκπροσώπηση του τμήματος του σώματος που έχει προσβληθεί. Αυτό μπορεί να μετρηθεί με ηλεκτροφυσιολογικές και ηλεκτροεγκεφαλογραφικές τεχνικές. Η μη φυσιολογική εκπροσώπηση του σωματοαισθητικής

προβολής του προσβεβλημένου τμήματος του σώματος στο φλοιό, μπορεί να παρεμβάλλεται με τη φυσιολογική επαναπληροφόρηση από αυτό, διακόπτοντας ουσιαστικά το λεπτό κινητικό έλεγχο.

7-4-4. Χρόνος από τη βλάβη και επανεκπαίδευση

Ένας άλλος περιορισμός στη νευρωνική προσαρμογή έχει σχέση με το χρόνο της κάκωσης ή εμφάνισης της βλάβης και της επανεκπαίδευσης. Είναι λογικό ότι αρχικά και μετά από μια κάκωση ή βλάβη που εκδηλώνεται με οξύ τρόπο, κάθε προσπάθεια πρέπει να κατευθύνεται στην ελάττωση της έκτασης της βλάβης. Αυτό σημαίνει τη χρήση φαρμακευτικών παραγόντων για να περιοριστεί η βλάβη, ακινητοποίηση για τη ηρεμία του μέλους και χορήγηση παραγόντων που θα μπορούσαν να διευκολύνουν την επούλωση και νευρολογική ανάρρωση. Φαίνεται ότι υπάρχει μια λεπτή ισορροπία στην αρχική αυτή φάση της βλάβης του εγκεφάλου, όπου η επιθετική σωματική εκπαίδευση μπορεί να επιδεινώσει την εγκεφαλική βλάβη. Με άλλα λόγια, φαίνεται να υπάρχει μια λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην ακινητοποίηση και στην κινητοποίηση, αλλά και στην ένταση που αυτή θα ξεκινήσει. Οι μηχανισμοί για κάτι τέτοιο είναι πολλοί. Ίσως, ο εγκέφαλος που έχει υποστεί βλάβη, να αδυνατεί να επεξεργαστεί από την αρχή έντονα και επαναλαμβανόμενα ερεθίσματα, δημιουργώντας μια σύγχυση και πιθανόν καθιέρωση λανθασμένων κινητικών προτύπων, μια και αυτά δεν μπορεί να ολοκληρωθούν με επιτυχία. Επομένως, ο χρόνος έναρξης προγραμμάτων εκπαίδευσης μετά τη λειτουργική βλάβη του εγκεφάλου, είναι εξατομικευμένος και καθορίζεται από παραμέτρους της ίδιας της βλάβης και φυσικά του περιβάλλοντος και του ατόμου.

Οι λειτουργικοί περιορισμοί και η ανικανότητα που μπορεί να προκύψει από μια βλάβη, ποικίλει και εξαρτάται από την προσωπικότητα του ατόμου, το κίνητρο και τα ενδιαφέροντα που δημιουργούνται σε αυτό. Επιπρόσθετα, είναι γνωστό ότι δεν απαιτείται η παρουσία μιας παθολογικής κατάστασης (κάκωσης ή βλάβης) για να δημιουργηθούν προβλήματα στη νευρωνική μάθηση ή στη δυσλειτουργία. Με άλλα λόγια, μετά από προσωρινές βλάβες ακολουθούν αντισταθμιστικές συμπεριφορές, όπως η υπερβολική, εντατική, επαναλαμβανόμενη υπερχρήση ενός μέλους μπορεί να οδηγήσει σε διαταραχή της ισορροπίας της όρθιας στάσης, καθώς και περιφερικές ή κεντρικές αλλαγές στο νευρικό σύστημα.

7-5. Νευροφυσιολογία της νευροπλαστικότητας

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η νευροπλαστικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του νευρικού συστήματος να προσαρμόζεται κατασκευαστικά και λειτουργικά, μετά από μια βλάβη, και

να αναδιοργανώνεται με το σχηματισμό νέων νευρικών οδών. Πως όμως γίνεται αυτό; Πως μπορεί μια κατασκευή όπως είναι το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα, που μέχρι πριν από λίγα μόλις χρόνια την θεωρούσαν ότι δεν έχει καμία δυνατότητα αναγέννησης, μετά από μια βλάβη της να δείχνει σημεία αναδιοργάνωσης και ανασχηματισμού της λειτουργικότητάς της; Με βάση αυτά που ισχύουν μέχρι σήμερα και έχουν αποδειχθεί πειραματικά, υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους παρουσιάζεται η νευροπλαστικότητα στο εσωτερικό του εγκεφάλου: (α) επιτρέπει τη δημιουργία νέων συνδέσεων από νευρώνα σε νευρώνα, και (β) καταργεί παλιές συνδέσεις που κυρίως οφείλονται στους νευρώνες που έχουν υποστεί βλάβη, που μπορεί να έχουν πλέον ελαττωματική ή ελλιπή λειτουργία.

Υπάρχουν άλλες απόψεις που υποστηρίζουν τέσσερις μορφές νευροπλαστικότητας που μπορεί να ευθύνεται τόσο για την ανάπτυξη όσο και την ανάρρωση και αποκατάσταση των λειτουργικών νευρικών δικτύων στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Αυτά περιλαμβάνουν: (α) την προσαρμογή της ομόλογης περιοχής, (β) τη διασταυρούμενη ανακατανομή λειτουργίας, (γ) την επέκταση της χαρτογράφησης, και (δ) την αντισταθμιστική τροποποίηση.

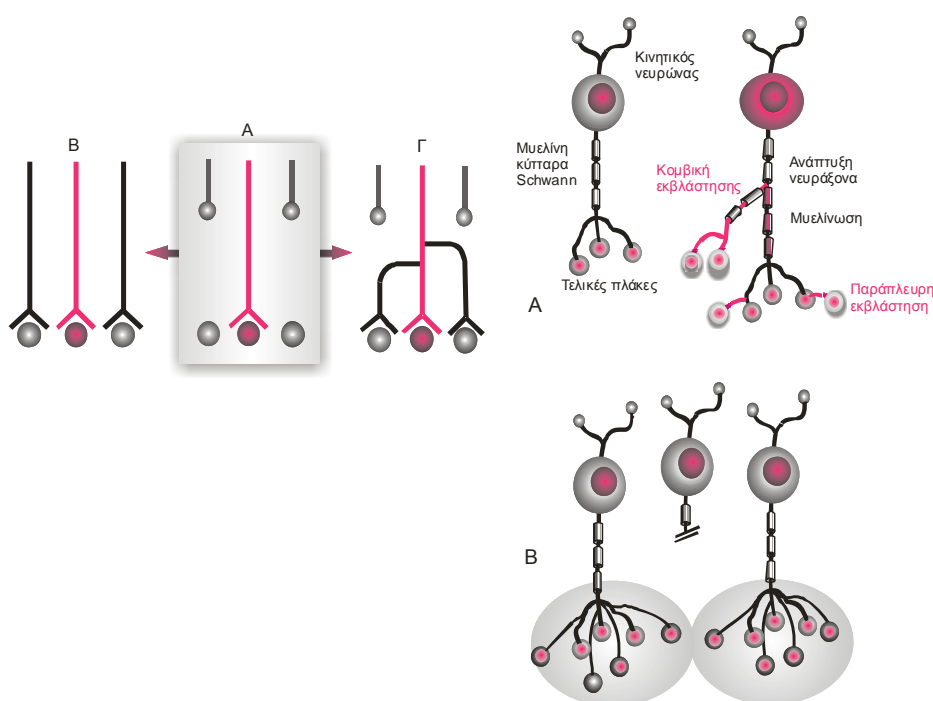
7-5-1. Προσαρμογή της ομόλογης περιοχής και επέκταση της χαρτογράφησης

Υπάρχουν επαρκή επιστημονικά στοιχεία που δείχνουν ότι τα άτομα με αφασία δείχνουν ανάρρωση της λειτουργίας του λόγου παρά την υποκείμενη βλάβη στην περιοχή του λόγου στο αριστερό ημισφαίριο. Νευροαπεικονιστικά στοιχεία από κλινικές μελέτες σε άτομα με αφασία συγκλίνουν ότι οι κύριες περιοχές για την ανάρρωση περιλαμβάνουν είτε την ομόλογη περιοχή του δεξιού ημισφαιρίου, που αναφέρεται επίσης και σαν αντιστάθμιση του δεξιού ημισφαιρίου ή πλάγια μετατόπιση, είτε περιοχές του κυκλώματος του λόγου που δεν έχουν καταστραφεί στο αριστερό ημισφαίριο, ή και τα δύο. Μελέτες επάνω στη ανάπτυξη του λόγου και της αποκατάστασης σε άτομα με αφαίρεση του αριστερού εγκεφαλικού ημισφαιρίου παρέχουν επίσης πειστικές αποδείξεις ότι το δεξί ημισφαίριο έχει την ικανότητα να υποβοηθούν τη λειτουργία του λόγου.

Η άποψη ότι η ανάκτηση της λειτουργίας εμπλέκει την επέκταση της φλοιϊκής περιοχής του λόγου στο αριστερό ημισφαίριο, δηλαδή, επέκταση χαρτογράφησης, υποστηρίζεται επίσης από κλινικές ενδείξεις. Για παράδειγμα, άτομα με αφασία συχνά εμφανίζουν περαιτέρω απόκλιση της λειτουργίας του λόγου μετά από ένα δευτερόλεπτο εγκεφαλικό επεισόδιο στο αριστερό ημισφαίριο, γεγονός που υποδηλώνει ότι περιοχές του φλοιού στο αριστερό ημισφαίριο που πριν από το επεισόδιο είχαν να διεκπεραιώσουν μια άλλη λειτουργία, επιστρατεύονται στο δίκτυο του λόγου όταν συμβεί η βλάβη στον εγκέφαλο.

7-5-2. Νευρωνική εκβλάστηση (neuronal sprouting)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η βασική νευροφυσιολογική διαδικασία πάνω στην οποία στηρίζεται η νευροπλαστικότητα και αναδιοργάνωση της περιοχής που έχει υποστεί μια βλάβη στον εγκέφαλο, είναι η νευρωνική εκβλάστηση (neuronal sprouting). Η διαδικασία αυτή αναφέρεται στην ανάπτυξη νευραξόνων ή δενδριτών από έναν νευρώνα που έχει καταστραφεί, ή έχει υποστεί απόπτωση μετά από μια βλάβη ή από ένα ανέπαφο νευρώνα που προβάλλει σε άλλους νευρώνες, σε μια περιοχή που έχει απονευρωθεί από μια βλάβη ή κάκωση (σχήμα 7-1)



Σχήμα 7-1: Σχηματική παράσταση της νευρωνικής εκβλάστησης

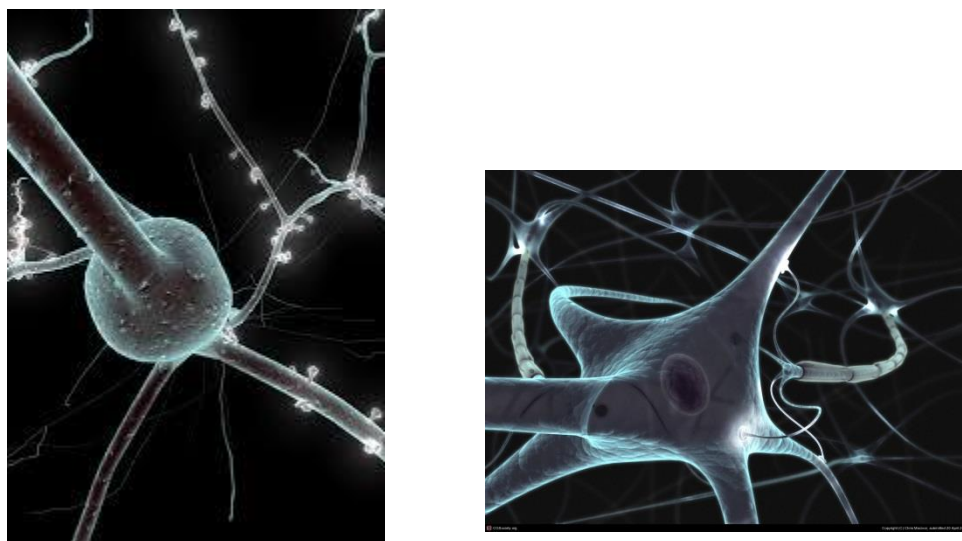
Προκειμένου να γίνει η κατασκευαστική ανάρρωση μετά από μεγάλες βλάβες ή κακώσεις του εγκεφάλου ή του νωτιαίου μυελού, απαιτεί η ανάπτυξη των νευριτών, είτε ως αντισταθμιστική αύξηση των ινών που έχουν διαφυλαχθεί είτε ως μια πραγματική αναγεννητική αύξηση των ίδιων των νευραξόνων που έχουν υποστεί τη βλάβη. Και οι δύο αυτοί τύποι της ανάπτυξης των νευριτών παρατηρούνται σε αφθονία μετά από έναν σημαντικό τραυματισμό ή παθολογική βλάβη στο νεογέννητο κεντρικό νευρικό σύστημα. Η πιθανότητα αυτή σταματά, σε λίγες εβδομάδες μετά τη γέννηση στα ζώα, και σε λίγους μήνες στους ανθρώπους. Ταυτόχρονα, η κυτταρική σύνθεση του ΚΝΣ αλλάζει δραματικά με τη διαφορο-

ποίηση των ολιγοδενδροκυττάρων και τη μυελίνωση των νευραξόνων. Οι πρωτεΐνες που αναστέλλουν την ανάπτυξη των δενδριτών που ανακαλύφθηκαν πρόσφατα στη μυελίνη του ΚΝΣ, αντιπροσωπεύουν έναν σημαντικό παράγοντα που περιορίζει την ανάπτυξη των νευριτών και την ανασκευή του προσβεβλημένου ΚΝΣ στον ενήλικα εγκέφαλο και νωτιαίο μυελό. Οι παράγοντες αυτοί, ιδίως του Nogo-A που μελετήθηκε καλύτερα, καταστέλλουν το ενδογενές δυναμικό ανάπτυξης των νευρώνων. Έτσι σε μια κάκωση ή βλάβη που υπάρχει καταστροφή νευραξόνων, προτείνονται τοπική χορήγηση παραγόντων που καταστέλλουν τις πρωτεΐνες της μυελίνης, έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα διευκόλυνσης της δενδριτικής ανάπτυξης, ενισχύοντας την ικανότητα αναγέννησης των ενήλικων νευρώνων του ΚΝΣ Επιπλέον, σε περιπτώσεις βλαβών που διευκολύνουν το σχηματισμό ουλής, αυτές Αποτελούν ένα επιπρόσθετο σημαντικό εμπόδιο, στην αναγέννηση των νευραξόνων.

Σε πειραματικές προσπάθειες αδρανοποίησης ή καταστολής της δράσης των παραγόντων που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη των νευραξόνων, (των αναστολέων της μυελίνης που σχετίζεται με την ανάπτυξη των νευριτών Nogo-A, ή την “πέψη” των πρωτεογλυκανών που συνδέονται με την ανάπτυξη των ουλών), μπορεί να οδηγήσει σε αναγέννηση των νευραξόνων που έχουν υποστεί βλάβη ή έχουν διακοπεί για μεγάλες μάλιστα αποστάσεις και σημαντική επίσης αντισταθμιστική αύξηση της ανάπτυξης των νευρικών ινών. Οι ίνες αυτές που αναπτύσσονται στους ιστούς του ενήλικου ΚΝΣ, φαίνεται ότι είναι σε θέση να αναγνωρίζουν λειτουργικά σημαντικούς στόχους. Μέχρι τώρα πάντως δεν φαίνεται να είναι απολύτως κατανοητός ούτε η αλληλουχία των γεγονότων, ούτε οι μοριακοί μηχανισμοί που οδηγούν στο σχηματισμό νέων, λειτουργικά σημαντικών συνδέσεων και νευρωνικών κυκλωμάτων. Οι αρχικές μοριακές καταγραφές έδειξαν μια αυξημένη έκφραση των νευροτροφικών παραγόντων, των αξονικών καθοδηγητικών μορίων και των πρωτεϊνών εξωκυττάριας ουσίας, παράλληλα με μια αυξημένη έκφραση πρωτεϊνών που σχετίζονται με την ανάπτυξη στους νευρώνες.

Είναι, ως εκ τούτου, κατανοητό ότι κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακατασκευής στον ενήλικο εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό, επανα-εκφράζεται η αναπτυξιακή καθοδήγηση και οι μηχανισμοί που απευθύνονται σε σκόπιμους στόχους, Μπορεί επίσης να προκύψει μια λεπτή ρύθμιση ή συντονισμός των νέων συνδέσεων μέσα από μηχανισμούς που λειτουργούν φυσιολογικά και κυρίως κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης, όπως είναι η σταθεροποίηση που εξαρτάται από τη δραστηριότητα και η απόπτωση. Οι μηχανισμοί αυτοί, οι οποίοι πιθανώς αποτελούν ένα μεγάλο μέρος της βάσης της εκπαίδευσης της νευροαποκατάστασης σε άτομα με ατελή βλάβη του νωτιαίου μυελού ή μετά από τραυματισμό

του εγκεφάλου, μπορεί να είναι λειτουργική κατά την αυθόρμητη ανάρρωση που παρατηρείται σε πειραματικές μελέτες σε ζώα και ανθρώπους.



Εικόνα 7-1: Η διαδικασία της νευρωνικής εκβλάστησης όπως φαίνεται με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

7-5-3. Νευρογένεση (Neurogenesis)

Η νευρογένεσης (γέννηση νέων νευρώνων) είναι η διαδικασία με την οποία δημιουργούνται (γεννιούνται) νέοι νευρώνες, που προέρχονται από τα νευρικά βλαστικά κύτταρα (νευρικό κυτταρικό σώμα) και τα προγονικά κύτταρα. Η διαδικασία είναι πιο ενεργός κατά τη διάρκεια της προγεννητικής ανάπτυξης, η νευρογένεση είναι υπεύθυνη για την συμπλήρωση του διαρκώς αυξανόμενου αριθμού νευρώνων στον εγκέφαλο, κατά τη φάση αυτή. Πρόσφατα, η νευρογένεση αποδείχθηκε ότι συνεχίζει να παρουσιάζεται σε δύο μέρη του εγκεφάλου των ενήλικων θηλαστικών: τον ιππόκαμπο και την υποκοιλιακή ζώνη. Πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι ο ρυθμός της νευρογένεσης επηρεάζεται από παράγοντες, όπως ορμονικοί (η τεστοστερόνη σε σπονδυλωτά, και η προορμόνη εκδυσόνη στα έντομα).

7-5-3 - α. Εμφάνιση νευρογένεσης στους ενήλικες

Όπως ήδη αναφέρθηκε, νέοι νευρώνες συνεχίζουν να “γεννιούνται” σε όλη την ενήλικη ζωή σε δύο κυρίως περιοχές του εγκεφάλου: (α) στην υποκοιλιακή ζώνη (subventricular zone) που επενδύει τις πλευρικές κοιλίες, όπου νευρικά βλαστικά κύτταρα και πρόδρομοι δημιουργούν νέους νευρώνες (νευροβλάστες) τα οποία μεταναστεύουν στον οσφρητικό βολβό, αν και πρόσφατα αποδείχθηκε ότι τα κύτταρα αυτά μεταναστεύουν στο ραβδωτό σώμα σε

ανθρώπους και όχι στον οσφρητικό βολβό, (β) στην υποκοκκιώδη ζώνη (subgranular zone), μέρος της οδοντωτής έλικας του ιππόκαμπου. Πολλά από τα νεογέννητα αυτά νευρικά κύτταρα “πεθαίνουν: λίγο μετά τη γέννησή τους, αλλά ένας μικρός αριθμός από αυτά γίνονται λειτουργικά και ενσωματώνονται στον περιβάλλοντα ιστό του εγκεφάλου.

Η νευρογένεση στον ενήλικό εγκέφαλο είναι ένα παράδειγμα μιας μακροχρόνιας επιστημονικής θεωρίας που θα πρέπει να μελετηθεί περαιτέρω. Από την αρχή, το νευρικό σύστημα θεωρήθηκε σταθερό και χωρίς καμία δυνατότητα αναγέννησης. Μόλις το 1963, παρουσιάστηκαν τα πρώτα στοιχεία νευρογένεσης στον εγκεφαλικό φλοιό ενήλικων θηλαστικών, στην οδοντωτή έλικα του ιππόκαμπου. ΗΤο μεγαλύτερο ενδιαφέρον αναπτύχθηκε μετά το 1990, όπου επιβεβαιώθηκαν τα ευρήματα αυτά στον ιππόκαμπο ενώ πιο πρόσφατα, σημειώθηκαν σημεία νευρογένεση στην παρεγκεφαλίδα ενήλικων κουνελιών. Πρόσφατα προτείνεται πάντως ότι η νευρογένεση στους ενήλικες μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες περιοχές στο εσωτερικό του εγκεφάλου, που δεν συνδέονται με τη νευρογένεση, συμπεριλαμβανομένου και του νεοφλοιού. Ωστόσο, άλλοι αμφισβητούν την επιστημονική απόδειξη των στοιχείων αυτών, υποστηρίζοντας ότι τα νέα κύτταρα μπορεί να προέρχονται από τη νευρογλοία.

7-5-3 - β. Ο ρόλος της νευρογένεσης στη μάθηση

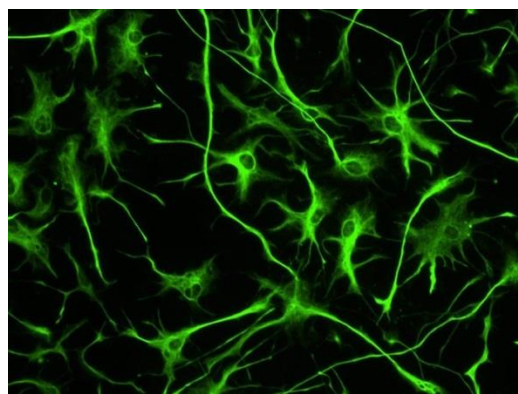
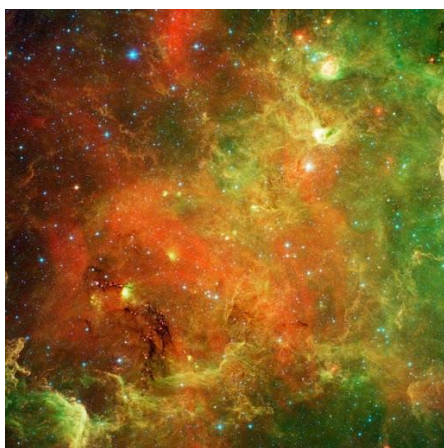
Η λειτουργική σημασία της νευρογένεσης στους ενήλικες είναι αβέβαιη, υπάρχουν όμως κάποιες ενδείξεις ότι η νευρογένεση στον ιππόκαμπο στους ενήλικες είναι σημαντική για τη μάθηση και τη μνήμη. Έχουν προταθεί πολλαπλοί μηχανισμοί για τη σχέση μεταξύ της αυξημένης νευρογένεση και της βελτίωσης της γνωσιακής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένης της υπολογιστικής θεωρίας για να αποδείξουν ότι οι νέοι νευρώνες αυξάνουν τη χωρητικότητα της μνήμης, μειώνουν τις παρεμβολών ανάμεσα στις εμπειρίες μνήμης (αναμνήσεις), ή προσθέτουν πληροφορίες σχετικά με το χρόνο της μνήμης. Τα πειράματα με στόχο την αποκοπή της νευρογένεσης έχουν αποδειχθεί ασαφή, αλλά αρκετές μελέτες προτείνουν τύπους της μάθησης που εξαρτώνται από τη νευρογένεση. Πιστεύεται ότι η ίδια η μάθησης συνδέεται με αυξημένη νευρωνική επιβίωση. Ωστόσο, τα συνολικά συμπεράσματα για τη νευρογένεση των ενήλικων είναι διφορούμενα.

7-5-4. Νευροαναγέννηση (Neuroregeneration)

Η διαδικασία αυτή δεν θα πρέπει να συγχέεται με τη νευρογένεση. Η νευροαναγέννησης αναφέρεται στην εκ νέου ανάπτυξη ή αποκατάσταση του νευρικού ιστού, των κυττάρων ή των κυτταρικών τους προϊόντων. Στους μηχανισμούς της νευροαναγέννησης περιλαμβάνε-

ται η δημιουργία νέων νευρώνων, νευρογλοίας, νευραξόνων, μυελίνης, ή συνάψεων. Η διαδικασία της νευροαναγέννησης διαφέρει ανάμεσα στο περιφερικό νευρικό σύστημα (ΠΝΣ) και στο κεντρικό νευρικό σύστημα (ΚΝΣ), κυρίως στους λειτουργικούς μηχανισμούς και ειδικά την έκταση και την ταχύτητα που αυτή ολοκληρώνεται. Όταν ένας νευράξονας έχει υποστεί μια βλάβη, το περιφερικό του τμήμα υφίσταται Βαλλεριανή εκφύλιση, χάνοντας το έλυτρο της μυελίνης του. Το κεντρικότερο τμήμα και αυτό που βρίσκεται κοντά στο σημείο της βλάβης μπορεί είτε να “πεθάνει” με απόπτωση ή να υποστεί την χρωματολυτική αντίδραση, η οποία είναι μια προσπάθεια “επισκευής”. Στο ΚΝΣ, η συναπτική “απογύμνωση” εμφανίζεται σαν διεργασίες της νευρογλοίας που εισβάλλουν στις “νεκρές” συνάψεις.

Επειδή οι κακώσεις του κεντρικού και περιφερικού νευρικού συστήματος είναι πολλές και σοβαρές και παρουσιάζουν τάση αύξησης, το πεδίο της αναγέννησης των νευρώνων και της αποκατάστασης της νευρικής λειτουργίας αναπτύσσεται ταχέως. Το νευρικό σύστημα διαιρείται σε δύο διακριτά μέρη: το κεντρικό νευρικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από τον εγκέφαλο και το νωτιαίο μυελό, και το περιφερικό νευρικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από τα κρανιακά νεύρα και τις νευρικές (νωτιαίες) νευρικές ρίζες μαζί με τα γάγγλια τους. Ενώ το περιφερικό νευρικό σύστημα έχει μια εγγενή ικανότητα για ανακατασκευή και αναγέννηση, το κεντρικό νευρικό σύστημα, ως επί το πλείστον, δεν παρουσιάζει κάποια εμφανή ικανότητα αυτο-επισκευής και αναγέννησης. Σήμερα δεν υπάρχει θεραπεία για την αποκατάσταση της νευρικής λειτουργίας μετά από τραυματισμό του ΚΝΣ. Επιπλέον, πολλές προσπάθειες αναγέννησης του νεύρου στη μετάβαση του από το ΚΝΣ στο ΠΝΣ, δεν υπήρξαν επιτυχείς, γεγονός που αν και τα στοιχεία προσφέρουν μια αισιοδοξία, απαιτείται πολύ σοβαρή και οργανωμένη πειραματική και κλινική έρευνα.



Εικόνα 7-2: Η διαδικασία της νευροαναγέννησης, όπως φαίνεται με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

7-5-4-α. Νευροαναγέννηση στο Περιφερικό Νευρικό Σύστημα

Η νευρικής αναγέννησης στο περιφερικό νευρικό σύστημα παρουσιάζεται σε σημαντικό βαθμό. Αναπτύσσονται αξονικές εκβλαστήσεις στο κεντρικό “κολόβωμα” του νευράξονα μέχρι να εισέλθουν στο περιφερικό “κολόβωμα”. Η ανάπτυξη των εκβλαστήσεων αυτών διέπεται από χημειοτακτικούς παράγοντες που εκκρίνονται από τα κύτταρα Schwann (νευρολεμφοκύτταρα). Μια βλάβη στο περιφερικό νευρικό σύστημα προκαλεί αμέσως τη μετανάστευση των φαγοκυττάρων, των κυττάρων Schwann, και των μακροφάγων κυττάρων στην περιοχή της βλάβης, προκειμένου να απομακρύνουν τα “απόβλητα” που δημιουργούνται από τον κατεστραμμένο ιστό. Όταν ένας νευράξονα αποκόπτεται, το τελικό του άκρο εξακολουθεί να συνδέεται με το κυτταρικό σώμα, ενώ το άλλο περιφερικό άκρο παραμένει ελεύθερο. Μετά από τον τραυματισμό, το εγγύς άκρο παρουσιάζει οίδημα και εκδηλώνει ανάδρομη εκφύλιση, μόλις όμως απομακρυνθούν από την περιοχή τα “απόβλητα”, αρχίζει να εκβλαστάνουν οι νευράξονες και να παρουσιάζονται αυξητικοί κώνοι. Οι εγγύς νευράξονες μπορούν να αναγεννηθούν όσο το κυτταρικό σώμα είναι άθικτο, και μπορεί να κάνουν επαφή με τα κύτταρα Schwann στο ενδονεύριο δίαυλο. Ο ρυθμός ανάπτυξης στους νευράξονες του ανθρώπου μπορεί να φθάσει σε μικρά νεύρα στα 2 mm/ημέρα και σε μεγαλύτερα νεύρα, τα 5 mm/ημέρα. Το περιφερικό τμήμα, ωστόσο, υφίσταται Βαλλεριανή εκφύλιση ώρες μετά τον τραυματισμό. Ο νευράξονας και η μυελίνη εκφυλίζεται, παραμένει όμως το ενδονεύριο. Σε προχωρημένα στάδια της αναγέννησης, οι υπολειπόμενοι ενδονεύριοι δίαυλοι κατευθύνουν την ανάπτυξη του νευράξονα προς τους σωστούς στόχους. Κατά τη διάρκεια της Βαλλεριανής εκφύλισης, τα κύτταρα Schwann αναπτύσσονται προκειμένου να διαταχθούν σε στήλες κατά μήκος των ενδονεύριων διαύλων, δημιουργώντας μια ζώνη Büngner, που προστατεύει και διατηρεί τον ενδονεύριο δίαυλο. Επίσης, τα μακροφάγα και τα κύτταρα Schwann απελευθερώνουν νευροτροφικούς παράγοντες που ενισχύουν την νευροαναγέννηση αυτή.

7-5-4-β. Νευροαναγέννηση στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Σε αντίθεση με τη βλάβη του περιφερικού νευρικού συστήματος, βλάβη στο ΚΝΣ δεν ακολουθείται από εκτεταμένη αναγέννηση. Αυτή περιορίζεται από τις ανασταλτικές επιδράσεις της νευρογλοίας και του εξωκυττάρου περιβάλλοντος. Αυτό το εχθρικό και μη ανεκτικό περιβάλλον για την ανάπτυξη, δημιουργείται, εν μέρει, από την μετανάστευση των αναστολέων που σχετίζονται με τη μυελίνη, τα αστροκύτταρα, ολιγοδενδροκύτταρα, τους προδρόμους των ολιγοδενδροκυττάρων και τη μικρογλοία. Το περιβάλλον στο ΚΝΣ, ιδιαίτερα μετά

από τραύμα, εξουδετερώνει την επισκευή της μυελίνης και των νευρώνων. Οι αυξητικοί παράγοντες δεν εκφράζονται ή επανεκφράζονται. Για παράδειγμα, η εξωκυττάριος βασική ουσία στερείται από λαμίνες, οι ουλές της γλοίας σχηματίζονται γρήγορα, και η γλοία παράγει στην πραγματικότητα παράγοντες που αναστέλλουν επαναμυελίνωση και την ανακατασκευή του νευράξονα.

Η βραδύτερη εκφύλιση του περιφερικού τμήματος σε σχέση με ότι συμβαίνει στο περιφερικό νευρικό σύστημα, επιδεινώνει ακόμη περισσότερο το ανασταλτικό περιβάλλον, επειδή η ανασταλτική μυελίνη και τα “απόβλητα” των νευραξόνων δεν απομακρύνονται τόσο γρήγορα. Όλοι οι παράγοντες αυτοί συμβάλλουν στο σχηματισμό της νευρογλοιακής ουλής, μέσω της οποίας δεν μπορεί να αναπτυχθούν οι νευράξονες. Το κεντρικό τμήμα επιχειρεί μετά από τραυματισμό να αναγεννηθεί, αλλά η ανάπτυξη του παρεμποδίζεται από το περιβάλλον. Αναφέρεται ότι οι νευράξονες του κεντρικού νευρικού συστήματος αποδείχθηκε ότι αναγεννιούνται σε ανεκτικό περιβάλλον. Ως εκ τούτου, το κύριο πρόβλημα της νευροαναγέννησης στο κεντρικό νευρικό σύστημα είναι η εξάλειψη του ανασταλτικού περιβάλλοντος που προκαλεί η κάκωση.

7-6. Νευροβιολογία και χαρτογράφηση του εγκεφάλου

Μία από τις θεμελιώδεις αρχές του πώς λειτουργεί η νευροπλαστικότητα συνδέεται με την έννοια της συναπτικής απόπτωσης (περικοπή) (synaptic pruning), την ιδέα ότι μεμονωμένες συνδέσεις στο εσωτερικό του εγκεφάλου συνεχώς απομακρύνονται ή να ανασυγκροτούνται, γεγονός που σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από το πώς αυτές χρησιμοποιούνται. Η έννοια αυτή αποτυπώνεται στο απόφθεγμα: “νευρώνες που πυροδοτούνται μαζί, συνδέονται και μαζί” και “νευρώνες που πυροδοτούνται ξεχωριστά, συνδέονται και ξεχωριστά”, όπως συνοψίζεται στη Hebbian θεωρία. Εάν υπάρχουν δύο κοντινοί, στο χώρο, νευρώνες που συχνά παράγουν μια ταυτόχρονη ώση, οι εκπροσώπησή τους στο φλοιό (φλοιϊκός χάρτης) των συγκεκριμένων νευρώνων μπορεί να γίνει ένας. Η άποψη αυτή λειτουργεί επίσης και με τον αντίθετο τρόπο, δηλαδή ότι οι νευρώνες που δεν παράγουν συχνά ταυτόχρονες νευρικές ώσεις (δεν πυροδοτούνται δηλαδή ταυτόχρονα) θα εκπροσωπούνται σε διαφορετικές θέσεις, θα σχηματίσουν δηλαδή διαφορετικούς χάρτες.

7-6-1. Φλοιϊκή εκπροσώπηση (cortical maps)

Η οργάνωση του φλοιού, ιδίως για τα αισθητικά συστήματα, περιγράφεται με την άποψη των “χαρτών”. Για παράδειγμα, οι αισθητικές πληροφορίες από το πόδι προβάλλουν σε μια

περιοχή του φλοιού ενώ αυτές που προέρχονται από τα χέρια προβάλλουν σε άλλες διαφορετικές περιοχές του φλοιού. Σαν αποτέλεσμα της σωματοτοπικής αυτής οργάνωσης των αισθητικών ερεθισμάτων στον εγκεφαλικό φλοιό, η αναπαράσταση (εκπροσώπηση) του σώματος στον φλοιό, μοιάζει με ένα χάρτη, ή όπως χαρακτηρίζεται ως ανθρωπάριο.

Από τη δεκαετία του 1970, άρχισε να μελετάται τι ακριβώς θα συνέβαινε εάν απομακρυνόταν τμήματα των αισθητικών ερεθισμάτων. Οι Merzenich, Kaas και Rasmusson χρησιμοποίησαν το “χάρτη” του φλοιού, σαν μια εξαρτημένη μεταβλητή τους, και βρήκαν ότι εάν μια συγκεκριμένη “περιοχή” του φλοιού στερηθεί από τα δικά του ερεθίσματα, θα ενεργοποιηθεί σε μεταγενέστερο χρόνο σαν απάντηση σε άλλα, συνήθως γειτονικά ερεθίσματα. Μια βασική μελέτη του Merzenich περιελάμβανε τη χαρτογράφηση των χεριών μαζί τους πριν και μετά τον ακρωτηριασμό του τρίτου δακτύλου. Πριν από τον ακρωτηριασμό, υπήρχαν πέντε διαφορετικούς περιοχές, κάθε μια από τις οποίες αντιστοιχούσε σε κάθε δάκτυλο του πειραματικού χεριού. Εξήντα δύο ημέρες μετά τον ακρωτηριασμό του τρίτου δακτύλου, η περιοχή του φλοιού που προηγουμένως καταλαμβάνονταν από το δάκτυλο αυτό, είχε καταληφθεί από τις γειτονικές ζώνες του 2^{ου} και 4ου δακτύλου. Οι άλλες περιοχές των δακτύλων παρέμειναν αμετάβλητες μετά τον ακρωτηριασμό. Αυτό δείχνει ότι μόνο οι περιοχές που συνορεύουν με μια συγκεκριμένη περιοχή θα καταλάβουν την περιοχή που δεν δέχεται πλέον αισθητικά ερεθίσματα, για να μεταβάλλουν το “χάρτη” του φλοιού. Στον σωματοαισθητικό σύστημα, στον οποίο έχει ερευνηθεί πιο διεξοδικά το φαινόμενο αυτό, έχουν εντοπιστεί οι μηχανισμοί που διέπουν την πλαστικότητα αυτή. Η επανοργάνωση δεν είναι φλοιϊκά αναδύομενη, αλλά συμβαίνει σε κάθε επίπεδο στην ιεραρχία της επεξεργασίας. Αυτό προκαλεί τις μεταβολές στον “χάρτη” που παρατηρούνται στον εγκεφαλικό φλοιό.

Μελετήθηκε επίσης η επίπτωση της αισθητικής εμπειρίας, χωρίς παθολογική διαταραχή, στην πλαστικότητα του φλοιού που παρατηρείται στο πρωτεύον σωματοαισθητικό σύστημα, και διαπιστώθηκε ότι αισθητικές περιοχές που ενεργοποιούνται σε μια συμπεριφορά προσοχής αυξάνουν την εκπροσώπηση τους στο φλοιό.

Πιο πρόσφατες μελέτες του Merzenich, χρησιμοποιώντας φλοιϊκά εμφυτεύματα για να μελετήσει την εξέλιξη της πλαστικότητας στο σωματοαισθητικό και στο ακουστικό σύστημα, διαπιστώθηκε ότι και τα δύο συστήματα παρουσιάζουν παρόμοιες αλλαγές όσον αφορά τη συμπεριφορά. Όταν ένα ερέθισμα συνδέεται γνωσιακά με την ενίσχυση, η φλοιϊκή του εκπροσώπηση ενισχύεται και διευρύνεται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εκπροσώπησης στο φλοιό μπορεί να αυξηθούν κατά δύο έως τρεις φορές, σε 1-2 ημέρες, τη στιγμή όπου αποκτάται για πρώτη φορά μια νέα αισθητική και κινητική συμπεριφορά, και οι αλλαγές αυτές τερματίζουν σε μεγάλο βαθμό μέσα σε λίγες το πολύ εβδομάδες. Τα δεδομένα

αποδεικνύουν ότι οι αλλαγές αυτές δεν προκαλούνται μόνο από την αισθητική εμπειρία. Απαιτούν μάθηση σχετικά με την αισθητική εμπειρία, και είναι ισχυρότερη για τα ερεθίσματα που σχετίζονται με ανταμοιβή, εμφανίζονται δε με την ίδια ευκολία σε λειτουργικές και κλασικές καταστάσεις συμπεριφοράς.

Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο που σχετίζεται με τους χάρτες του εγκεφαλικού φλοιού είναι η συχνότητα εμφάνισης του “μέλους φαντάσματος”, όπως αυτό βιώνεται από άτομα που έχουν υποστεί ακρωτηριασμούς στα δάκτυλα, χέρια ή πόδια, αλλά δεν περιορίζεται μόνον στα άκρα. Ίσως στην περίπτωση αυτή να είναι περισσότερο εμφανές, Αν και η νευρολογική βάση του μέλους φαντάσματος εξακολουθεί να είναι απόλυτα κατανοητή. πιστεύεται ότι στην εμφάνισή του παίζει σημαντικό ρόλο η αναδιοργάνωση του φλοιού.

7-6-2. Θετική και αρνητική νευροπλαστικότητα

Ακολουθώντας το παράδειγμα του Merzenich, έγινε προσπάθεια να διαχωριστούν οι εκδηλώσεις της νευροπλαστικότητας σε προσαρμογές που έχουν θετικές ή αρνητικές συνέπειες στη συμπεριφορά. Για παράδειγμα, εάν ένα άτομο μπορεί να ανακτήσει και πάλι σε κανονικά επίπεδα επιδόσεων, λειτουργικά και γνωσιακά, μετά από ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, η προσαρμοστικότητα θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα παράδειγμα “θετικής πλαστικότητας”. Από την άλλη, αλλαγές όπως μια υπερβολική νευρωνική ανάπτυξη που οδηγεί σε σπαστικότητα ή τονική παράλυση, ή μια υπερβολική απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών σαν απάντηση σε μια βλάβη που θα μπορούσε να προκαλέσει το “θάνατο” των νευρικών κυττάρων, θα πρέπει να θεωρείται “αρνητική πλαστικότητα”. Επιπλέον, ο εθισμός σε φάρμακα και οι ιδεο-ψυχαναγκαστικές διαταραχές θεωρούνται παραδείγματα “αρνητικής πλαστικότητας”, καθώς η συναπτική αναδιοργάνωση και επανασχηματισμός των νευρωνικών κυκλωμάτων που προκύπτει στις συμπεριφορές αυτές είναι επίσης εξαιρετικά δυσπροσαρμοστικός.

Μια πρόσφατη σχετικά μελέτη διαπιστώνει ότι οι επιπτώσεις της νευροπλαστικότητας συμβαίνουν ακόμα πιο γρήγορα από ό, τι αναμενόταν παλαιότερα. Από απεικονιστικές καταγραφές σε εγκεφάλους φοιτητών της Ιατρικής κατά τη διάρκεια της περιόδου των εξετάσεων, διαπιστώθηκε ότι σε λίγους μήνες, η φαιά ουσία του εγκεφάλου στους φοιτητές αυτούς αυξήθηκε σημαντικά στον οπίσθιο και στον πλάγιο βρεγματικό φλοιό.

7-7. Εμπλοκή της νευροπλαστικότητας στην κλινική πράξη

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρι τώρα επάνω στη νευροπλαστικότητα, υπάρχουν δύο δεδομένα. Ένα καλό και ένα κακό νέο. Τα καλά νέα είναι ότι το ΚΝΣ πλέον σήμερα θεωρείται ότι εί-

να “μαζικά προσαρμόσιμο”. Εάν μπορεί να καθοδηγηθούν οι αυθόρμητες και σκόπιμες κατασκευαστικές και λειτουργικές αλλαγές σε πιο προσεκτικές, επαναλαμβανόμενες και σκόπιμες συμπεριφορές, τότε είναι δυνατόν να ανατραπούν οι αρνητικές μυοσκελετικές και νευρολογικές αυτές συμπεριφορές μέσα από επικεντρωμένες, επιλεκτικές και συμπεριφορές που επαναλαμβάνονται σε συγκεκριμένο στόχο. Αν και η έρευνα επάνω στη νευροπλαστικότητα και τα αποτελέσματα των στοχευμένων και επαναλαμβανόμενων συμπεριφορών έχει επικεντρωθεί κυρίως στο σωματοαισθητικό φλοιό (περιοχή 3b), και πιο ειδικά στην τοπογραφία του χεριού, τα ευρήματα μπορεί να εφαρμοστούν εύκολα και στις υπόλοιπες περιοχές του σώματος.

Από την άλλη, τα κακά νέα είναι ότι μέρος μόνον των νευρωνικών προσαρμογών είναι αυτοματικό. Η μεγαλύτερη δυνατή νευρωνική προσαρμογή μπορεί να παρουσιαστεί μόνον σε άτομα που είναι προσηλωμένα στη μάθηση. Η δυνατότητα στο νευρικό σύστημα να κάνει αλλαγές προσφέρεται μόνον με επικεντρωμένες, σχεδιασμένες και επαναλαμβανόμενες κινητικές συμπεριφορές που εξελίσσονται με μια προοδευτική δυσκολία και φυσικά σταδιακά, με την πάροδο του χρόνου. Κινητικές συμπεριφορές που είναι αυτοματικές και στερεότυπες, δεν μπορεί να συνοδεύονται με μάθηση που μπορεί να μετρηθεί.

Στην καθημερινή “θεραπευτική παρέμβαση”, δεν είναι πάντοτε δυνατόν να προσφέρονται στα άτομα που έχουν υποστεί μια εγκεφαλική βλάβη, εξατομικευμένα προγράμματα για τα οποία υπάρχει στενή και διαρκής παρακολούθηση και επίβλεψη και τα οποία απαιτούνται για να καθοδηγήσουν τις κατασκευαστικές και λειτουργικές αλλαγές στο νευρικό σύστημα. Αντί για αυτό, θα πρέπει γίνεται η σωστή καθοδήγηση, παρακίνηση, μέντορινγκ και διδασκαλία ώστε να μάθει το άτομο που πάσχει σχετικά με τις ικανότητες προσαρμογής του νευρικού του συστήματος. Κάθε άτομο με μια ανάλογη βλάβη του ΚΝΣ, θα πρέπει να μάθει ότι, παρά το μέγεθος της βλάβης του, μπορεί να του προσφερθεί το κατάλληλο κίνητρο ώστε να κάνει εντυπωσιακές αλλαγές στο νευρικό του σύστημα, μέσα από επιλεκτικές και ειδικά εστιασμένες σε συγκεκριμένο στόχο κινητικές συμπεριφορές, οι οποίες μπορεί να επαναλαμβάνονται.

Η πρόκληση για τα άτομα που ασχολούνται με τη “θεραπευτική παρέμβαση”, σε παρόμοιες περιπτώσεις, είναι να σχεδιάσουν καινοτόμα προγράμματα που θα περιλαμβάνουν δημιουργικές εφαρμογές της βασικής έρευνας της νευροεπιστήμης στην καθημερινή πράξη. Σε πολλές περιπτώσεις, η συνεχής έρευνα στα πεδία της νευροεπιστήμης, θα μπορούσε να βοηθήσει να επιλυθούν οι σοβαροί προβληματισμοί σχετικά με τη νευροφυσιολογική δυσλειτουργία και να κατανοηθούν οι μηχανισμοί των νευρομεταβιβαστικών ουσιών, των ορμονών και των αναπτυξιακών παραγόντων που είναι ουσιαστικοί για τη διαδι-

κασία της μάθησης. Επίσης απαιτείται μια βαθύτερη κατανόηση του ρόλου των συναισθημάτων και του λιμβικού συστήματος στην κατασκευαστική και λειτουργική τροποποίηση της κινητικής λειτουργίας.

Βιβλιογραφία

Adkins DL, Voorhies AC, Jones TA. Behavioral and neuroplastic effects of focal endothelin-1 induced sensorimotor cortex lesions. *Neuroscience*. 2004;128:473–86.

Adkins-Muir DL, Jones TA. Cortical electrical stimulation combined with rehabilitative training: enhanced functional recovery and dendritic plasticity following focal cortical ischemia in rats. *Neurol Res*. 2003;25:780–8.

Alaverdashvili M, Foroud A, Lim DH, et al. “Learned baduse” limits recovery of skilled reaching for food after forelimb motor cortex stroke in rats: A new analysis of the effect of gestures on success. *Behav Brain Res*. 2008;188:281–90.

Allred RP, Jones TA. Experience – a double edged sword for restorative neural plasticity after brain damage. *Future Neurol*. 2008;3:189–98.

Allred RP, Maldonado MA, Hsu And JE, et al. Training the “less-affected” forelimb after unilateral cortical infarcts interferes with functional recovery of the impaired forelimb in rats. *Restor Neurol Neurosci*. 2005;23:297–302.

Bach-y-Rita P, Balliet R. Recovery from stroke. In Duncan P, Badke Md eds. *Stroke Rehabilitation: the recovery of motor control*. Chicago. Year Book. Medical Publishers 1987: 79-107.

Barbay S, Plautz EJ, Friel KM, et al. Behavioral and neurophysiological effects of delayed training following a small ischemic infarct in primary motor cortex of squirrel monkeys. *Exp Brain Res*. 2006;169:106–16.

Barbay S, Plautz EJ, Friel KM, et al. Behavioral and neurophysiological effects of delayed training following a small ischemic infarct in primary motor cortex of squirrel monkeys. *Exp Brain Res*. 2005;5:1–11.

Born J., Rasch B., Gais S., “Sleep to remember,” *The Neuroscientist*, vol. 12, no. 5, pp. 410–424, 2006.

Brooks VB, Thatch WT. Cerebellar control of posture and movement. In Brooks VB (ed) *Handbook of Physiology*, section I, nervous system, vol 2, motor control, part 2, Bethesda, MD, American Physiology Society, 1981; 877-946.

Brooks VB. *The neural basis of motor control*. New York Oxford University Press, 1990.

Brouwer BJ, Schryburt-Brown K. Hand function and motor cortical output poststroke: are they related? *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87:627–34.

Brown CE, Murphy TH. Livin’ on the edge: Imaging dendritic spine turnover in the peri-infarct zone during ischemic stroke and recovery. *Neuroscientist*. 2008;14:139–46.

Brus-Ramer M, Carmel JB, Chakrabarty S, et al. Electrical stimulation of spared corticospinal axons augments connections with ipsilateral spinal motor circuits after injury. *J Neurosci*. 2007;27:13 793.

Caleo M, Tropea D, Rossi C, et al. Environmental enrichment promotes fiber sprouting after deafferentation of the superior colliculus in the adult rat brain. *Exp Neurol*. 2009;21:515–9.

Cheatwood JL, Emerick AJ, Kartje GL. Neuronal plasticity and functional recovery after ischemic stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2008;15:42–50.

- Cheeran B, Talelli P, et al. A common polymorphism in the brain-derived neurotrophic factor gene modulates human cortical plasticity and the response to rTMS. *J Physiol*. 2008;586 (Pt 23):5717–25.
- Cirelli C, “Cellular consequences of sleep deprivation in the brain,” *Sleep Medicine Reviews*, vol. 10, no. 5, pp. 307–321, 2006.
- Conner JM, Chiba AA, Tuszynski MH. The basal forebrain cholinergic system is essential for cortical plasticity and functional recovery following brain injury. *Neuron*. 2005;46:173–9.
- Conner JM, Chiba AA, Tuszynski MH. The basal forebrain cholinergic system is essential for cortical plasticity and functional recovery following brain injury. *Neuron*. 2005;46:173–9.
- Craik RL. Recovery processes: maximizing function In: *Contemporary management of motor control problems. Proceedings of the II Step Conference*. Alexandria, VA, APTA, 1992; 165-173
- Cramer SC. Repairing the human brain after stroke: I. Mechanisms of spontaneous recovery. *Ann Neurol*. 2008;63:272–87.
- Dancause N, Barbay S, Frost SB, et al. Effects of small ischemic lesions in the primary motor cortex on neurophysiological organization in ventral premotor cortex. *J Neurophysiol*. 2006;96:3506–11.
- DeBow SB, McKenna JE, Kolb B, et al. Immediate constraint-induced movement therapy causes local hyperthermia that exacerbates cerebral cortical injury in rats. *Can J Physiol Pharmacol*. 2004;82:231
- DeDeyne PG. Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Phys Ther*. 2001;81:819-827.
- Dhanushkodi A, Bindu B, Raju TR, et al. Exposure to enriched environment improves spatial learning performances and enhances cell density but not choline acetyltransferase activity in the hippocampus of ventral subicular-lesioned rats. *Behav Neurosci*. 2007;121:491–500.
- Durmer JS and. Dinges DF, “Neurocognitive consequences of sleep deprivation,” *Seminars in Neurology*, vol. 25, no. 1, pp. 117–129, 2005.
- Edwards D, Fregni F. Modulating the healthy and affected motor cortex with repetitive transcranial magnetic stimulation in stroke: Development of new strategies for neurorehabilitation. *NeuroRehabilitation*. 2008;23:3–14.
- Emerick AJ, Neafsey EJ, Schwab ME, et al. Functional reorganization of the motor cortex in adult rats after cortical lesion and treatment with monoclonal antibody IN-1. *J Neurosci*. 2003;23:4826–30.
- Feydy A, Carlier R, Roby-Brami A, et al. Longitudinal study of motor recovery after stroke: recruitment and focusing of brain activation. *Stroke*. 2002;33:1610–7.
- Fisher AG, Murray EA, Bundy AC. *Sensory Integration: Theory and Practice*. Philadelphia, Pa: FA Davis Co; 1991:3-26.
- Flanagan JR, Wing AM. The Role of Internal Models in Motion Planning and Control: Evidence from Grip Force Adjustments during Movements of Hand-Held Loads, *The Journal of Neuroscience*, 1997; 17(4): 1519-1528
- Fregni F, Pascual-Leone A. Hand motor recovery after stroke: Tuning the orchestra to improve hand motor function. *Cogn Behav Neurol*. 2006;19:21–33.
- Gallesea V, Goldmanb A. Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences* 1998; 2 (12): 493–501

Gerloff C, Braun C, Staudt M, et al. Coherent corticomuscular oscillations originate from primary motor cortex: Evidence from patients with early brain lesions. *Hum Brain Mapp.* 2006;27:789–98.

Gordon J, Ghez C. Muscle receptor and spinal reflexes: the stretch reflex In Kandel E, Schwartz JH, Jessell TH (eds) *Principles of neuroscience*, 3rd ed NY Elsevier, 1991; 564-580.

Gorgoni M, D'Atri A, Lauri G, Rossini PM, Ferlazzo F. Is Sleep Essential for Neural Plasticity in Humans, and How Does It Affect Motor and Cognitive Recovery? *Neural Plasticity*, 2013: 2013; 13

Gotts JE, Chesselet MF. Migration and fate of newly born cells after focal cortical ischemia in adult rats. *J Neurosci Res.* 2005;80:160–71.

Grillner W, Wallen P, Central pattern generators for locomotion, with special reference to vertebrates. *Ann Rev Neurosci* 1985; 8: 233-261.

Haith A M, Krakauer JW. Theoretical models of motor control and motor learning, In Gollhofer A, Taube W, Nielsen JB (Eds). "The Routledge Handbook of Motor Control and Motor Learning," Routledge International Handbooks, pp 7-28, 2012

Hamiltona AF, Brindleyb RM, Frithb U. Imitation and action understanding in autistic spectrum disorders: How valid is the hypothesis of a deficit in the mirror neuron system? *Neuropsychologia*, 2007; 45 (8): 1859–1868

Holt S, Baagoe S, Lillelund F, et al. Passive resistance of hamstring muscles in children with severe multiple disabilities. *Dev Med Child Neurol.* 2000;42:541-544.

Horak F, Shumway-Cook A, Clinical implications of postural control research. In Duncan P. ed *Balance* Alexandria VA, APA, 1990.

Horak F. Assumption underlying motor control for neurologic rehabilitation. In *Contemporary management of motor control problems*. Proceedings of the II Step Conference. Alexandria VA: APTA 1992; 11-28.

Imamizu H, Miyauchi S, Tamada T, Sasaki Y, et al. Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature* 403, 2000:192-195

Ito M, Control of mental activities by internal models in the cerebellum, *Nature Reviews Neuroscience.* 2008; 9; 304-313

Jablonka JA, Witte OW, Kossut M. Photothrombotic infarct impairs experience-dependent plasticity in neighboring cortex. *Neuroreport.* 2007;18:165–9.

Jankowska E, Edgley SA. How can corticospinal tract neurons contribute to ipsilateral movements? A question with implications for recovery of motor functions. *Neuroscientist.* 2006;12:67–79.

Kandel E, Jessell T. Touch In Kandel E, Schwartz JH, Jessell TH (eds) *Principles of neuroscience*, 3rd ed NY Elsevier, 1991; 367-384.

Kandel E. Brain and Behavior. In Kandel E, Schwartz JH, Jessell TH (eds) *Principles of neuroscience*, 3rd ed NY Elsevier, 1991; 5-17.

Kawato M. Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, 1999; 9 (6): 718–727

Kirkland SW, Coma AK, Colwell KL, et al. Delayed recovery and exaggerated infarct size by post-lesion stress in a rat model of focal cerebral stroke. *Brain Res.* 2008;1201:151–60.

- Kleim JA, Barbay S, Cooper NR, et al. Motor learning-dependent synaptogenesis is localized to functionally reorganized motor cortex. *Neurobiol Learn Mem.* 2002;77:63–77.
- Kleim JA, Bruneau R, VandenBerg P, et al. Motor cortex stimulation enhances motor recovery and reduces peri-infarct dysfunction following ischemic insult. *Neurol Res.* 2003;25:789–93.
- Kleim JA, Chan S, Pringle E, et al. BDNFval66met polymorphism is associated with modified experiencedependent plasticity of human motor cortex. *Nat Neurosci.* 2006;9:735–7.
- Kleim JA, Hogg TM, VandenBerg PM, et al. Cortical synaptogenesis and motor map reorganization occur during late, but not early, phase of motor skill learning. *J Neurosci.* 2004;24:628–33.
- Koski L, Mernar TJ, Dobkin BH. Immediate and longterm changes in corticomotor output in response to rehabilitation: Correlation with functional improvements in chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2004;18:230–49.
- Kozlowski DA, James DC, Schallert T. Use-dependent exaggeration of neuronal injury after unilateral sensorimotor cortex lesions. *J Neurosci.* 1996;16:4776–86.
- Kupfermann I. Learning and memory. In Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM eds *Principles of neuroscience*, 3rd edition, New York Elsevier, 1991; 997-1008.
- Latash M.L., Scholz J.P, and. Schoner G.. Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, , 2002: 30 (1); 26–31.
- Lichtenwalner RJ, Parent JM. Adult neurogenesis and the ischemic forebrain. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2006;26:1–20.
- MacDonald E, Van der Lee H, Pocock D, et al. A novel phosphodiesterase type 4 inhibitor, HT-0712, enhances rehabilitation-dependent motor recovery and corticalreorganization after focal cortical ischemia. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007;21:486–96.
- Maldonado MA, Allred RP, Felthausen EL, et al. Motor skill training, but not voluntary exercise, improves skilled reaching after unilateral ischemic lesions of the sensorimotor cortex in rats. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008;22:250–61.
- Martin J,. Coding and processing of sensory information In Kandel E, Schwartz JH, Jessell TH (eds) *Principles of neuroscience*, 3rd ed NY Elsevier, 1991; 329-240.
- Martin JH, Jessell TM, Anatomy of the somatic sensory system In Kandel E, Schwartz JH, Jessell TH (eds) *Principles of neuroscience*, 3rd ed NY Elsevier, 1991; 353-366.
- McCoy JG. Strecker RE., “The cognitive cost of sleep lost,” *Neurobiology of Learning and Memory*, vol. 96, no. 4, pp. 564–582, 2011.
- Merfeld DM, Zupan L Peterka RJ. Humans use internal models to estimate gravity and linear acceleration, *Nature* 1999; 398: 615-618
- Miall R.C., Wolpert D.M. Forward Models for Physiological Motor Control, *Neural Networks*, 1996; 9 (8): 1265–1279.
- Miall RC, Wolpert DM. Forward Models for Physiological Motor Control. *Neural Networks*, 1996; 9 (8): 1265–1279.
- Monfils MH, Plautz EJ, Kleim JA. In search of the motor engram: Motor map plasticity as a mechanism for encoding motor experience. *Neuroscientist.* 2005;11:471–83.

- Monfils MH, Teskey GC. Skilled-learning-induced potentiation in rat sensorimotor cortex: A transient form of behavioural long-term potentiation. *Neuroscience*. 2004;125:329–36.
- Nudo RJ. Postinfarct cortical plasticity and behavioural recovery. *Stroke*. 2007;38:840–5.
- Ohab JJ, Fleming S, Blesch A, et al. A neurovascular niche for neurogenesis after stroke. *J Neurosci*. 2006;26:13 007–16.
- Papadopoulos CM, Tsai SY, Cheatwood JL, et al. Dendritic plasticity in the adult rat following middle cerebral artery occlusion and Nogo-a neutralization. *Cereb Cortex*. 2006;16:529–36.
- Pascual-Leone A., Freitas C., Oberman L., Horvath JC., Halko, M., Eldaief, M. et al. Characterizing brain cortical plasticity and network dynamics across the age-span in health and disease with TMS-EEG and TMS-fMRI. *Brain Topography*, 2011; 24: 302-315.
- Pearson KG, RaMIREZ jm, Jang W. Entrainment of the locomotor system by group IB afferent from ankle extensor muscle in spinal cats. *Exp. Brain Res*, 1992; 90: 557-566.
- Petcu EB, Sfredel V, Platt D, et al. Cellular and molecular events underlying the dysregulated response of the aged brain to stroke: A mini-review. *Gerontology*. 2008;54:6–17.
- Plautz EJ, Barbay S, Frost SB, et al. Post-infarct cortical plasticity and behavioral recovery using concurrent cortical stimulation and rehabilitative training: A feasibility study in primates. *Neurol Res*. 2003;25:801–10.
- Plow EB, Carey JR, Nudo RJ, et al. Cortical stimulation to promote recovery of function after stroke: A critical appraisal. *Stroke*. 2009;40:1926–31.
- Rakic, P. "Neurogenesis in adult primate neocortex: an evaluation of the evidence". *Nature Reviews Neuroscience* 2002; 3 (1): 65–71
- Rechtschaffen A, "The control of sleep," in *Human Behavior and Its Control*, W. A. Hunt, Ed., p. 88, Shenkman Publishing Company, Cambridge, Mass, USA, 1971.
- Rosenbaum D. *Human motor control*. New York Academic Press, 1991.
- Sauve K, Bartlett, D *Dynamic Systems Theory: A Framework for Exploring Readiness to Change in Children with Cerebral Palsy*, CanChild Centre for Childhood Disability Research. 2010
- Schmidt RA, Lee TD. *Motor Control and Learning – A Behavioral Emphasis* 5th edition, Human kinetics, 2011, pp.3-19
- Schmidt RA. Lee TD. *Motor control and learning: a behavioral emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics. 2005
- Schmidt RA. Motor learning principles for physical therapy Contemporary management of motor control problems *Proceedings of the II Step Conference*. Alexandria, VA, APTA, 1991.
- Schmidt RA. Motor learning principles for Physical Therapy. In: *Contemporary management of motor control problems. Proceedings of the II Step Conference*. Alexandria, VA, APTA, 1992; 49-62.
- Schulkin J. Theory of mind and mirroring neurons. *Trends in Cognitive Sciences*, 2000; 7 (7): 252–254
- Scott SH. Optimal feedback control and the neural basis of volitional motor control. *Nature Reviews Neuroscience* 2004; 5: 532-546

Shadmehr R, Smith MA, Krakauer JW. Error Correction, Sensory Prediction, and Adaptation in Motor Control. *Annual Review of Neuroscience*, 2010; 33: 89-108

Shepard K. *Theory: criteria, importance and impact*. Alexandria, VA, APTA, 1991; 5-10.

Shumway-Cook A. Wquilibrium deficits in children. In Woollacott M, Shumway-Cook A eds. *Development of posture and gait across the span*. Columbia SC. Univ of SC Press 1989; 229-252.

Siironen J, Juvela S, Kanarek K, et al. The Met allele of the BDNF Val66Met polymorphism predicts poor outcome among survivors of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *Stroke*. 2007;38:2858–60

Simmons G, Demiris Y. Optimal robot arm control using the minimum variance model *Journal of Robotic Systems* 2005; 22 (11): 677–690

Stickgold R. "Sleep-dependent memory consolidation," *Nature*, vol. 437, no. 7063, pp. 1272–1278, 2005.

Taub E, Uswatte G, Mark VW, et al. The learned nonuse phenomenon: Implications for rehabilitation. *Eura Medicophys*. 2006;42:241–56.

Teskey GC, Flynn C, Goertzen CD, et al. Cortical stimulation improves skilled forelimb use following a focal ischemic infarct in the rat. *Neurol Res*. 2003;25:794–800.

Todoro E, Jordan MI. Optimal feedback control as a theory of motor coordination. *Nature Neuroscience* 2002; 5; 1226 - 1235

Tononi G, Cirelli C., "Sleep and synaptic homeostasis: a hypothesis," *Brain Research Bulletin*, vol. 62, no. 2, pp. 143–150, 2003.

Tononi G, Cirelli C., "Sleep function and synaptic homeostasis," *Sleep Medicine Reviews*, vol. 10, no. 1, pp. 49–62, 2006.

Walker MP., "Cognitive consequences of sleep and sleep loss," *Sleep Medicine*, vol. 9, supplement 1, pp. S29–S34, 2008.

Warren C. *Workbook for a Dynamic Mind*, Las Vegas, Houghton-Brace Publishing, 2006: 44

Weinstein CJ. Designing practice for motor learning: clinical implications. Contemporary management of motor control problems *Proceedings of the II Step Conference*. Alexandria, VA, APTA, 1991

Whishaw IQ. Loss of the innate cortical engram for action patterns used in skilled reaching and the development of behavioral compensation following motor cortex lesions in the rat. *Neuropharmacology*.2000;39:788–805.

Wieloch T, Nikolich K. Mechanisms of neural plasticity following brain injury. *Curr Opin Neurobiol*. 2006;16:258–64.

Williamsa JHG, Whitenb A, Suddendorfc T, Perrettb DI. Imitation, mirror neurons and autism. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2001; 25 (4): 287–295

Williamsa JHG,. Waiterb GD, Gilchrist A,. Perrettd DJ,. Murrayb AD, Whitend A. Neural mechanisms of imitation and 'mirror neuron' functioning in autistic spectrum disorder. *Neuropsychologia*, 2006: 44 (4); 610–621

Willingham DB. A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychological Review*, 1998; 105(3): 558-584

Wittenberg GF, Chen R, Ishii K, et al. Constraint-induced therapy in stroke: Magnetic-stimulation motor maps and cerebral activation. *Neurorehabil Neural Repair*. 2003;17:48–57.

Wolpert D.M., Kawato M. Multiple paired forward and inverse models for motor control, *Neural Networks*, 1998; 11 (7–8): 1317–1329.

Wolpert DM, Miall RC, Kawato M. Internal models in the cerebellum, *Trends in Cognitive Sciences*, 1998; 2 (9): 338–347.

Woollacott M, Shumway-Cook A. Changes in postural control across the life-span – a systems approach. *Phys Ther* 1990; 70: 799-807

Woollacott M, Shumway-Cook A. The development of posture and balance control In Woollacott M, Shumway-Cook A eds. *Development of posture and gait across the span*. Columbia SC. Univ of SC Press 1989; 77-96.

Zemke A, Heagerty P, Lee C, et al. Motor cortex organization after stroke is related to side of stroke and level of recovery. *Stroke*. 2003;34:E23–8.