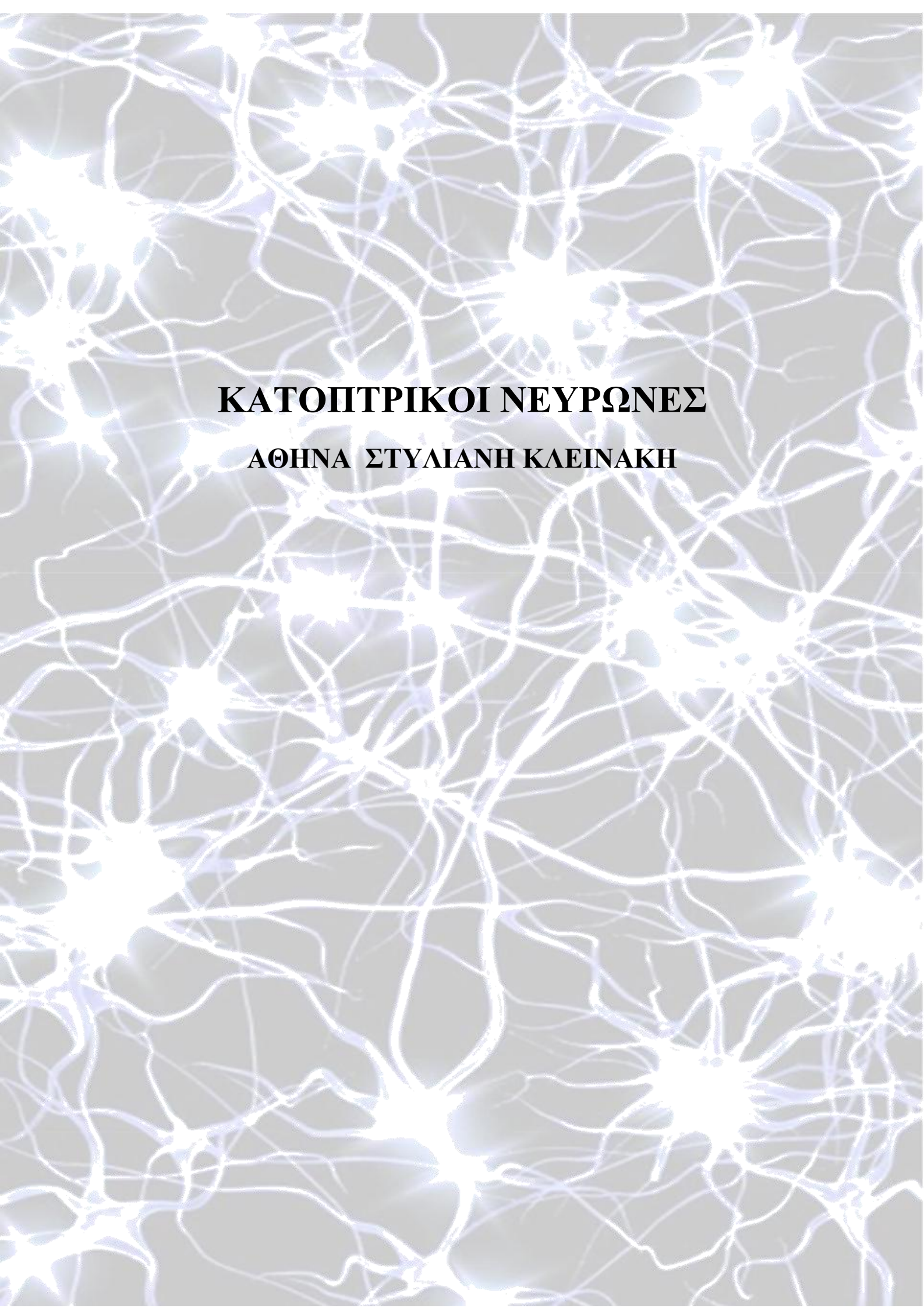




# **ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΟΙ ΝΕΥΡΩΝΕΣ**

**ΑΘΗΝΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΚΛΕΙΝΑΚΗ**

# **ΚΑΤΟΠΤΡΙΚΟΙ ΝΕΥΡΩΝΕΣ**

*ΑΘΗΝΑ ΣΤΥΛΙΑΝΗ ΚΛΕΙΝΑΚΗ*

Αθήνα 2019

## Εισαγωγή

Μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στον κόσμο της Νευροψυχολογίας και των Νευροεπιστημών γενικότερα είναι η ανακάλυψη των κατοπτρικών νευρώνων (mirror neurons) αρχικά στους εγκεφάλους των πιθήκων του είδους μακάκ (macaque) και αργότερα και στον άνθρωπο[1].

Οι νευρώνες αυτοί βρίσκονται κυρίως στον κινητικό και στον αισθητηριακό φλοιό (οπίσθιος μετωπιαίος λοβός και πρόσθιος βρεγματικός αντίστοιχα) και θεωρείται ότι έχουν κάποια άμεση σχέση με τις κοινωνικές δεξιότητες των πρωτεύοντων θηλαστικών, ανάμεσα στις οποίες συγκαταλέγονται: μίμηση, ενσυναίσθηση, θεωρία του νου αλλά και η ανάπτυξη της γλώσσας.

Ο κιναισθητικός φλοιός αποτελεί το σύνολο των περιοχών του εγκεφάλου που συμμετέχουν στο σχεδιασμό, στον έλεγχο και στην ολοκλήρωση των εκούσιων κινητικών λειτουργιών, όπως επίσης και στην επεξεργασία και ολοκλήρωση των αισθητικών πληροφοριών που προέρχονται από αυτές τις λειτουργίες [2] Η ενεργοποίηση συγκεκριμένων νευρώνων στον πρωτοταγή κινητικό φλοιό προκαλεί την κίνηση διαφορετικών μυϊκών ομάδων. Το γεγονός της ενεργοποίησης των κατοπτρικών νευρώνων με την απλή παρατήρηση μιας κίνησης εκμεταλλεύεται η επιστήμη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας διεπαφής εγκεφάλου-υπολογιστή (ΔΕΥ) (ο όρος αποδίδεται διεθνώς από το Brain-Computer Interface, εν συντομία BCI). Μια διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή λαμβάνει σήματα από τον εγκέφαλο (του χρήστη/χειριστή) με στόχο την αποκωδικοποίηση αυτών των σημάτων σε ένα σετ εντολών. Οι εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας εκτείνονται από την αποκατάσταση ή υποβοήθηση ατόμων με αναπηρία [3][4] μέχρι τα ηλεκτρονικά παιχνίδια και την ψυχαγωγία.

Πρόσφατα έχει υπάρξει έντονο ενδιαφέρον για πιθανή σχέση του αυτισμού με τη δυσλειτουργία των κατοπτρικών νευρώνων, που εικάζεται ότι ευθύνεται για το κοινωνικό και επικοινωνιακό έλλειμμα των ατόμων του αυτιστικού φάσματος [5] [6].

## 1. Κατοπτρικοί νευρώνες

Οι κατοπτρικοί νευρώνες είναι εξειδικευμένα νευρικά κύτταρα του φλοιού του εγκεφάλου που ενεργοποιούνται όχι μόνο όταν το άτομο εκτελεί μια ενέργεια, αλλά και όταν παρατηρεί κάποιον που εκτελεί την ίδια ενέργεια. Η ονομασία τους

οφείλεται στην ιδιότητα τους να "καθρεφτίζουν" τη συμπεριφορά του άλλου, σαν ο ίδιος ο παρατηρητής να ενεργούσε.

Τα κύτταρα αυτά εντοπίστηκαν στους μακάκους στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν στο πανεπιστήμιο της Πάρμα στην Ιταλία ο καθηγητής της νευρολογίας Giacomo Rizzolatti και οι συνεργάτες του, μελετούσαν το κινητικό σύστημα των πιθήκων, βασιζόμενοι στην προϋπάρχουσα γνώση για την συμμετοχή ορισμένων νευρωνικών κυττάρων του προκινητικού φλοιού στον έλεγχο εκούσιων κινήσεων[7]. Οι ερευνητές κατέγραφαν με ηλεκτρόδια τις διεργασίες του εγκεφάλου των ζώων την ώρα που αυτά εκτελούσαν διάφορες εργασίες. Ενώ πολλοί νευρώνες δραστηριοποιούνταν όταν τα ζώα εκτελούσαν μια ενέργεια, ένα υποσύνολο νευρώνων δραστηριοποιούνταν επίσης όταν τα ζώα έβλεπαν κάποιον από τους ερευνητές να εκτελεί την ίδια ενέργεια. Διαφορετικές ομάδες κατοπτρικών νευρώνων δραστηριοποιούνταν για διαφορετικές ενέργειες.

Οι νευρώνες αυτοί ονομάστηκαν αρχικά monkey do – monkey see neurons, για να καταλήξουν στην επιστημονικότερη ονομασία κατοπτρικοί νευρώνες (νευρώνες καθρέφτες- mirror neurons). Η ενεργοποίησή τους γίνεται μόνο με την εκτέλεση ή την παρατήρηση μιας πράξης ή ακόμα και με τον ήχο που προκαλεί η πράξη και δε σχετίζεται με κίνητρα και ανταμοιβή. Ο Rizzolatti το 2005 παρατήρησε ότι όταν οι άνθρωποι ακούνε προτάσεις που περιγράφουν πράξεις, ενεργοποιούνται οι ίδιοι κατοπτρικοί νευρώνες. Η ομάδα της Nina Bien του Πανεπιστημίου του Μάαστριχτ της Ολλανδίας πρόσφατα ανίχνευσε μηχανισμούς αναστολής οι οποίοι δίνουν ενδείξεις για το πώς μπορούμε νοητικά να μιμηθούμε μια ενέργεια χωρίς στην πραγματικότητα να την εκτελούμε[8].

## **2. Κατοπτρικοί νευρώνες στον άνθρωπο**

Ο εντοπισμός των κατοπτρικών νευρώνων στους ανθρώπους ήταν δύσκολος. Μέσω τεχνικών που χρησιμοποιούν άμεση απεικόνιση των εγκεφαλικών περιοχών, και συγκεκριμένα μέσω της τομογραφίας με εκπομπή ποζιτρονίων (PET), βρέθηκε ότι υπάρχουν κατοπτρικοί νευρώνες και στον εγκέφαλο του ανθρώπου[9]. Οι νευρώνες αυτοί εντοπίζονται στις κατώτερες περιοχές των μετωπιαίων και βρεγματικών λοβών, στην πρόσθια περιοχή της έλικας του προσαγωγίου, στο οπίσθιο τμήμα της κάτω μετωπιαίας έλικας του αριστερού ημισφαιρίου, στην περιοχή Broca, όπου εδράζεται το κινητικό κέντρο του λόγου, δηλαδή η περιοχή που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο

των μυών της ομιλίας[10] και στη νήσο του Riel (insula), το σημαντικότερο εγκεφαλικό φλοιό στην συλλογή πληροφοριών από το σώμα και το περιβάλλον, την επεξεργασία τους και την εξέλιξη των σκέψεων και συναισθημάτων σε πράξεις και προθέσεις[11].



Η έρευνα της λειτουργίας των κατοπτρικών νευρώνων έγινε αρχικά με τη χρήση του ηλεκτροεγκεφαλογράφου. Η ενεργοποίηση των νευρώνων αυτών στο ηλεκτροεγκεφαλογράφημα γίνεται φανερή με την υποχώρηση του κύματος mu, που σχετίζεται με την αναστολή της κίνησης. Τελευταίως, η δραστηριότητα των κατοπτρικών νευρώνων μελετάται και με fMRI (λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού), που απεικονίζει την αιμοδυναμική αντίδραση που σχετίζεται με τη νευρωνική δραστηριότητα στον εγκέφαλο και στο νωτιαίο μυελό.

Μεταγενέστερες έρευνες υπολογίζουν πως το 20% των νευρικών κυττάρων στην περιοχή του προκινητικού φλοιού είναι κατοπτρικοί νευρώνες[12], ενώ κατοπτρικοί νευρώνες διαφόρων τύπων βρίσκονται και στις περιοχές που σχετίζονται με την αίσθηση του πόνου και της αφής (περίπου 10% των νευρικών κυττάρων στην περιοχή όπου αναγνωρίζονται οι αισθήσεις της αφής και του πόνου είναι κατοπτρικοί), αλλά και με πιο σύνθετες εγκεφαλικές λειτουργίες, όπως η όραση και η ακοή.[13]

Ο Marco Iacobini, νευροεπιστήμονας του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνιας στο Λος Άντζελες, υποστηρίζει ότι έχει δει σε ανθρώπους μεμονωμένα εγκεφαλικά κύτταρα να συμπεριφέρονται σα κατοπτρικοί νευρώνες, στηριζόμενος στις παρατηρήσεις του σε επιληπτικό που υποβαλλόταν σε διερευνητική χειρουργική επέμβαση στον εγκέφαλο προκειμένου να διαπιστωθεί η αιτία της επιληψίας του. Τα αποτελέσματα των ερευνών του δημοσιεύτηκαν στο έντυπο «Current Biology». [8].

Εικάζεται ότι η λειτουργία των νευρώνων αυτών δεν καθορίζεται αποκλειστικά από γενετικούς παράγοντες ούτε παραμένει αμετάβλητη από τη στιγμή που αποκτήθηκε. Αποκτάται και διατηρείται με οπτικο-κινητική μάθηση. [14] Πιθανολογείται ότι το σύστημα καθρεπτικών νευρώνων είναι μία εξελικτική προσαρμογή του εγκεφάλου του ανθρώπου πριν από 50.000 χρόνια στην οποία οφείλεται το άλμα στην ανάπτυξη του ανθρώπινου πολιτισμού. [15]

### **3. Ο ρόλος των κατοπτρικών νευρώνων**

Οι κατοπτρικοί νευρώνες σχηματίζουν νευρωνικές διασυνδέσεις μεταξύ των οπτικών και των κινητικών φλοιών, επιτρέποντας στους ανθρώπους να μαθαίνουν συμπεριφορές, τόσο μέσω της παρατήρησης όσο και μέσω της κιναισθητικής κατανόησης.

1. Τα κατοπτρικά κύτταρα και τα νευρικά κυκλώματα στα οποία μετέχουν μας επιτρέπουν να αντιστοιχούμε την κίνηση που βλέπουμε με τις κινήσεις που κάνουμε συνήθως εμείς, χτίζοντας μέσα μας μια εικονική αναπαράσταση της πράξης. Επιπλέον μας δίνουν τη δυνατότητα να προβλέψουμε τις προθέσεις του άλλου, αλλά και να δούμε τον κόσμο μέσα από τα δικά του μάτια, ενσυναιθανόμενοι σύνθετα συναισθήματα[16].

2. Επιτρέπουν την μίμηση και την μάθηση μέσω της μίμησης. Ο V.S. Ramachandran, καθηγητής της συμπεριφορικής νευρολογίας στο Πανεπιστήμιο του Σαν Ντιέγκο, υποστηρίζει πως η μίμηση είναι η αιτία της μεγάλης πολιτισμικής εξέλιξης που σημείωσε το ανθρώπινο είδος 60.000- 100.000 χρόνια πριν, και θεωρεί την μίμηση απότοκο μιας και μόνης μετάλλαξης που γέννησε τους κατοπτρικούς νευρώνες. [12]

3. Επιτρέπουν την κατανόηση των διάφορων πνευματικών καταστάσεων και τον διαχωρισμό των δικών μας από αυτές των άλλων.

Υπάρχουν επιστήμονες που έχουν εκφράσει αμφιβολίες για την ύπαρξη και το ρόλο των κατοπτρικών νευρώνων στους ανθρώπους. Σύμφωνα με επιστήμονες όπως οι Hickok, Pascolo και Dinstein, δεν είναι σαφές εάν οι κατοπτρικοί νευρώνες σχηματίζουν πραγματικά μια ξεχωριστή κατηγορία κυττάρων, ένα ξεχωριστό είδος απόκρισης ή είναι απλά ένα τεχνούργημα μιας συνολικής διευκόλυνσης του κινητικού συστήματος[17].

### 3.1. Ενσυναίσθηση

Πρόκειται για ένα εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο επικοινωνίας. Με τον όρο «ενσυναίσθηση» περιγράφουμε τη μη λεκτική ικανότητα των ανθρώπων, αλλά και των πιο εξελιγμένων ζώων, να αντιλαμβάνονται σε πρώτο πρόσωπο τα συναισθήματα άλλων προσώπων. Ορίζεται σαν η ικανότητα του ατόμου αφενός να αντιλαμβάνεται και να ανταποκρίνεται στη συναισθηματική κατάσταση του άλλου και αφετέρου να επικοινωνεί ικανοποιητικά με τους άλλους, ώστε να είναι σε θέση να κατανοήσει τις ανάγκες τους ( Baron - Cohen et al.,2000) [18]. Επομένως είναι ιδιαίτερα σημαντική δεξιότητα για την κοινωνικο-συναισθηματική ανάπτυξη του ανθρώπου. Η ενσυναίσθηση συνιστά μια πολυσύνθετη διαδικασία. Αφορά την προσπάθεια ενός ατόμου να κατανοήσει στο μέγιστο δυνατό βαθμό την εμπειρία ενός άλλου, είτε πρόκειται για συμπεριφορά, είτε για συναίσθημα, είτε για διανοητική κατάσταση, είτε για πλαίσιο αναφοράς[19].

Ο όρος μοιάζει με τη λέξη συμπάθεια, όμως δεν ταυτίζεται. Η συμπάθεια είναι η βαθιά κατανόηση και συμμετοχή στη ψυχική κατάσταση ενός άλλου που πάσχει, χωρίς όμως να υπάρχει η αντίληψη των συναισθημάτων που προκαλούν αυτόν τον πόνο ή απορρέουν από αυτόν[20]. Η έννοια της συμπάθειας περικλείει στοιχεία οίκτου, συλλύπησης και συμφωνίας, τα οποία δεν χαρακτηρίζουν την ενσυναίσθηση[21]. Στις κοινωνικές επιστήμες ο όρος ενσυναίσθηση δηλώνεται με τον όρο εμπάθεια με τον οποίο «καλείται η κατανόηση της συμπεριφοράς ενός άλλου με βάση τη βίωση και συμπεριφορά του ίδιου του ατόμου» [22]. Στην ψυχολογία η λέξη ‘‘ενσυναίσθηση’’ χρησιμοποιείται με τρεις διακριτές έννοιες: α) αντιλαμβάνομαι τα συναισθήματα του άλλου, β) αισθάνομαι αυτό που αισθάνεται και ο άλλος και γ) αντιδρώ συμπονετικά στη στενοχώρια του άλλου[23]. Μπορεί να υπάρχουν πολλοί όροι μεταξύ των ερευνητών που να περιγράφουν την ενσυναίσθηση, όπως είναι η ‘‘ταύτιση’’, η ‘‘διείσδυση’’ και η ‘‘υιοθέτηση’’, όμως όλοι οι ερευνητές αναφέρονται σε διαδικασίες κατά τις οποίες το άτομο προσπαθεί να δει τον κόσμο μέσα από τα μάτια κάποιου άλλου[24].

Η ενσυναίσθηση περιλαμβάνει την συναισθηματική ενσυναίσθηση και την γνωστική ενσυναίσθηση, που ελέγχονται από διαφορετικά νευροανατομικά και νευροχημικά συστήματα, λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά αλληλεπιδρούν και εμπλέκονται κάθε φορά που εκδηλώνεται. Ο ρόλος της αλληλεπίδρασης των δύο συστημάτων της ενσυναίσθησης γίνεται αντιληπτός σε παθολογικές καταστάσεις

όπως είναι η ψύχωση ή ο αυτισμός. Μόνη η «συναισθηματική ενσυναίσθηση» θα μπορούσε να οδηγήσει σε σκληρότητα παρά σε βοήθεια.( psychopathy; de Waal, 2008; Decety, 2011)[25], ενώ «η γνωστική ενσυναίσθηση» θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαταραχές της κοινωνικής συμπεριφοράς και της διαπροσωπικής επικοινωνίας. (Blair 2005) [26]

Η ενσυναίσθηση που αρχικά αναπτύχθηκε ως εργαλείο της Ψυχοθεραπείας, σύντομα αγκαλιάστηκε και από άλλες επιστήμες, αφού αναγνωρίστηκαν οι δυνατότητές της σε όλες τις μορφές των διαπροσωπικών σχέσεων, σε κάθε κατάσταση, δηλαδή, στην οποία ένας άνθρωπος προσπαθεί να καταλάβει αυτόν που βρίσκεται απέναντί του. Η μέχρι χθες κοινωνικά υποτιμημένη και παραμελημένη από την επιστήμη βιολογική μας ικανότητα για ενσυναίσθηση έχει μετατραπεί τα τελευταία χρόνια σε αντικείμενο συστηματικής διερεύνησης τόσο των νευροεπιστημών όσο και της εξελικτικής ψυχολογίας. Κοινός στόχος αυτών των ερευνών είναι να αποκαλύψουν τις βιολογικές (εξελικτικές και εγκεφαλικές) προϋποθέσεις και τους νευροψυχολογικούς μηχανισμούς που επιτρέπουν την εμφάνισή της.

Βασιζόμενη στη μελέτη ασθενών με κάποια βλάβη στον μετωπιαίο λοβό του εγκεφάλου τους, η επιφανής Αμερικανίδα νευρολόγος Leslie Brothers πρότεινε το 1979 μια πρώτη νευρολογική εξήγηση της ενσυναίσθησης. Συγκεκριμένα, υποστήριξε ότι στις εκδηλώσεις ενσυναίσθησης εμπλέκονται κυρίως το μεταιχμιακό σύστημα και η αμυγδαλή, δύο εγκεφαλικές δομές που ήταν ήδη γνωστό ότι παίζουν καθοριστικό ρόλο στη γέννηση και την επεξεργασία των συναισθημάτων. Σύντομα όμως η παραδοσιακή αυτή εντοπιστική προσέγγιση αποδείχτηκε όχι μόνο ανεπαρκής αλλά και ιδιαίτερα παραπλανητική [27].

Αποφασιστικής σημασίας για την αποκάλυψη των νευρωνικών υποδομών και των εγκεφαλικών κυκλωμάτων της ενσυναίσθησης ήταν η επαναστατική θεωρία για τους κατοπτρικούς νευρώνες των Giacomo Rizzolati, Vittorio Gallese και Leonardo Fogassi στις αρχές της δεκαετίας του 1990 [28]. Σήμερα θεωρείται επαρκώς επιβεβαιωμένο ότι στον εγκεφαλικό φλοιό των περισσότερων ανώτερων θηλαστικών και του ανθρώπου, υπάρχει μια ειδική ομάδα νευρώνων, η οποία ενεργοποιείται όποτε ανιχνεύεται από τους νευρώνες αυτούς κάποια κινητική ή άλλη σωματική μεταβολή είτε στο ίδιο το θηλαστικό είτε σε κάποιον οργανισμό που βρίσκεται κοντά του. Πράγματι, οι κατοπτρικοί νευρώνες ενεργοποιούνται όχι μόνο όταν ο οργανισμός εκτελεί ο ίδιος κάποια πράξη, αλλά και όταν απλώς βλέπει κάποιον άλλο

οργανισμό να εκτελεί αυτή την πράξη. Όταν κάποιος παρατηρεί έναν άλλο να εκτελεί μια κίνηση, ο παρατηρητής σχηματίζει μια γνωστική αναπαράσταση της κίνησης και διεγείρει την αντίστοιχη περιοχή του κινητικού φλοιού. Αυτός ο μηχανισμός αντίληψης δράσης (perception-action mechanism - PAM) πιστεύεται ότι αποτελεί τη βάση της ενσυναίσθησης.

Είναι ενδιαφέρον ότι η ενσυναίσθηση σχετίζεται άμεσα με ενεργοποίηση κατοπτρικών νευρώνων, π.χ. νευρώνες των προσθίων περιοχών της νήσου του Riel και της έλικας του προσαγωγίου ενεργοποιούνται σε περίπτωση πόνου, αλλά και όταν το άτομο παρατηρεί κάποιον που πονάει ή άτομα που βαθμολογούνται υψηλά σε κλίμακα ενσυναίσθησης ενεργοποιούν το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων περισσότερο έντονα[2929]. Εικάζεται ότι η λειτουργία των νευρώνων αυτών δεν καθορίζεται αποκλειστικά από γενετικούς παράγοντες ούτε παραμένει αμετάβλητη από τη στιγμή που αποκτήθηκε. Αποκτάται και διατηρείται με οπτικο-κινητική μάθηση.

### 3.2. Μίμηση- μάθηση

Η μίμηση παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ανάπτυξης στη ζωή του ατόμου . Είναι μία από τις βασικότερες λειτουργίες μάθησης, ένας σημαντικός φυσικός μηχανισμός που για να πραγματοποιηθεί και να εκδηλωθεί στη συνέχεια, είναι απαραίτητη η αντίληψη της πράξης που πρόκειται κάποιος να μιμηθεί (Chaminade et al. , 2001) [30]. Περιλαμβάνει τρεις βασικές διεργασίες: *παροχή προτύπου*, δηλαδή μια πράξη που εκτελεί κάποιος και την οποία παρατηρεί κάποιος άλλος (παρατηρητής), *σχέδιο δράσης* το οποίο καταστρώνει ο παρατηρητής και *εκ νέου εκτέλεση της πράξης*, η οποία προηγήθηκε από τον παρατηρητή (Meltzoff,2002) [31]. Για να μιμηθεί κάποιος μια πολύπλοκη πράξη χρειάζεται ο εγκέφαλος να υιοθετήσει την οπτική πλευρά του άλλου. Είναι σχεδόν σαν να αναπαριστά μια προσομοίωση εικονικής πραγματικότητας της δράσης του άλλου. Ένα σύνολο νευρώνων πυροδοτείται όταν γίνεται μία συγκεκριμένη πράξη, αλλά και στη θέα κάποιου άλλου να πραγματοποιεί την ίδια πράξη.

Μέσω της μίμησης ανακινούνται οι πιο πρώιμες μορφές αλληλεπίδρασης, γεγονός που συντελεί στην κατάκτηση καινούριων αντιδράσεων, συμβάλλοντας στην κοινωνικο-γνωστική ανάπτυξη του βρέφους (Meltzoff & Moore,1983b) [32]. Η ικανότητα της μίμησης το καθιστά ικανό να συνειδητοποιήσει ότι διαφοροποιείται

από τους άλλους, αλλά και ταυτόχρονα σχετίζεται με αυτούς (Meltzoff & Gopnik, 1993) [33]. Επιπλέον η μίμηση συνδέεται με την κατανόηση των προθέσεων των άλλων. Συνεπώς αποτελεί έναν πολύ σημαντικό μηχανισμό που συμβάλλει στη μετέπειτα κοινωνικο-γνωστική ανάπτυξη του παιδιού. Μέσω της μίμησης προωθείται η επικοινωνία, διότι το άτομο μοιράζεται εμπειρίες με κάποιον άλλο και εφαρμόζει διάφορους κανόνες που ενισχύουν την αλληλεπίδραση (Nadel, 2002) [34].

Στο μπροστινό μέρος του εγκεφάλου μας, βρίσκεται ένα τμήμα που ονομάζεται φλοιός του προτροπέα. Αυτό είναι το μέρος του εγκεφάλου όπου σχεδιάζονται οι κινήσεις [35]. Σε κάθε κίνηση ενεργοποιούνται οι νευρώνες στο φλοιό του προτροπέα. Στη θέα κάποιου άλλου που εκτελεί την ίδια κίνηση ενεργοποιούνται οι κατοπτρικοί νευρώνες που αποτελούν ένα υποσύνολο προηγούμενων. Στη συνέχεια υπάρχει ένας βρόχος ανάδρασης που διακρίνει την πράξη του άλλου από την προσωπική.

Η έρευνα του Πανεπιστημίου UCL στο Λονδίνο καταδεικνύει τον πρωταγωνιστικό ρόλο των κατοπτρικών νευρώνων στις διαδικασίες της μάθησης. Όπως δείχνουν τα ευρήματα, από τη στιγμή που ο εγκέφαλος μαθαίνει μια κίνηση παρατηρώντας την, μπορεί να την αναπαραγάγει νοερά, χωρίς απαραίτητα να την εκτελέσει και με το σώμα του. Η μίμηση αποτελεί πρώιμη εργασία που συντελεί στην ανάπτυξη του λόγου. Οι γονείς μεταδίδουν στα παιδιά τους στοιχεία της προσωπικότητάς τους. Όταν το παιδί παρατηρεί μια κίνηση ή μια χειρονομία που κάνει η μητέρα του, την κωδικοποιεί οπτικά στον εγκέφαλό του, για να μπορέσει να την επαναλάβει. Και όταν ένας θεατής παρακολουθεί τις κινήσεις του αγαπημένου του ηθοποιού, οι κατοπτρικοί νευρώνες ενεργοποιούνται για να τις αποθηκεύσουν στη μνήμη του και να μπορέσει αργότερα να τις μιμηθεί.

Ωστόσο υπάρχει και η άποψη ότι η μίμηση είναι ένα δυναμικό σύστημα, το οποίο πηγάζει από διαφορετικά είδη γνωστικών και κοινωνικών δεξιοτήτων. Όταν τα παιδιά κατανοήσουν το σώμα τους κι αποκτήσουν έλεγχο του εαυτού τους μπορούν και να μιμηθούν [36].

### **3.3. Θεωρία του νου**

Θεωρία του νου είναι η ικανότητα του ατόμου να αντιλαμβάνεται και να επεξεργάζεται τις επιθυμίες, τα συναισθήματα, τις σκέψεις και τις προθέσεις των άλλων και να τις διαχωρίζει από τις δικές του, καθώς και να κατανοεί τους

κοινωνικούς θεσμούς που ρυθμίζουν τις κοινωνικές συναλλαγές (Μαριδάκη-Κασσωτάκη, 2004)[37]. Προκειμένου κάποιος να είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται κοινωνικές καταστάσεις, θα πρέπει αφενός να μπορεί να αντιλαμβάνεται ότι οι άλλοι μπορεί να έχουν διαφορετικές πεποιθήσεις από εκείνον και αφετέρου να επεξεργάζεται και να αντιλαμβάνεται τη συναισθηματική κατάσταση του άλλου (Bradmetz & Schneider, 1999) [38], (Wellman & Banerjee, 1991) [39]. Σχετική έννοια είναι η ενσυναίσθηση, γνωστή ως συναισθηματική προοπτική, ενώ η θεωρία του νου ορίζεται ως η γνωστική προοπτική[40].

Η θεωρία του νου αναφέρεται:

- στη δυνατότητα του ατόμου να βγάζει συμπεράσματα για τις νοητικές διεργασίες, τόσο τις δικές του όσο και των άλλων
- Να χρησιμοποιεί τα συμπεράσματά του, για να ερμηνεύσει, να κατανοήσει και να προβλέψει τη δική του συμπεριφορά, καθώς και τη συμπεριφορά των άλλων, γεγονός για το οποίο απαιτείται (Wellman et al., 2001) [41] μετάθεση από τον κόσμο των παραστάσεων στον κόσμο των αναπαραστάσεων και από την επεξεργασία της επιθυμίας στην επεξεργασία σύνθεσης πεποίθησης/ γνώσης και επιθυμίας.

Βασικές προϋποθέσεις για την ανάπτυξη θεωρίας του νου είναι (Wellman, Cross, & Watson, 2001) [41] :

- η ικανότητα να «διαβάζουμε» τη σκέψη του άλλου
- ο διαχωρισμός μεταξύ των νοητικών διεργασιών και της πραγματικότητας
- η αναγνώριση εσφαλμένων αντιλήψεων
- η αντίληψη κανόνων
- η διαφοροποίηση μεταξύ ορθών και εσφαλμένων αντιλήψεων

Η Θεωρία του Νου είναι η πλέον πιο επιτυχής προσέγγιση που διαθέτει το άτομο για να ερμηνεύσει ή να προβλέψει τη συμπεριφορά τη δική του ή των άλλων (Μισαηλίδη, 2003) [42]. Φαίνεται να είναι μια έμφυτη δυναμική ικανότητα στους ανθρώπους που απαιτεί κοινωνική και άλλη εμπειρία για πολλά χρόνια για την πλήρη ανάπτυξή της. Διαφορετικοί άνθρωποι μπορεί να αναπτύξουν περισσότερο ή λιγότερο αποτελεσματική θεωρία του νου.

### **3.4. Κατοπτρικοί νευρώνες και γλώσσα**

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που πιστοποιούν το δεσμό ανάμεσα στο σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων και τη γλώσσα. Ο Keyser υποστηρίζει ότι η γλώσσα δεν

προέκυψε από άναρθρες κραυγές, αλλά από τις κινήσεις των χεριών που προσπάθησαν να αναπαραστήσουν την επικοινωνία με τη βοήθεια των κατοπτρικών νευρώνων[43]. Σύμφωνα με τον Keyser το βάβισμα είναι ο τρόπος με τον οποίο το παιδί ανακαλύπτει και εκπαιδεύει το δικό του προσωπικό σύστημα κατοπτρικών νευρώνων. Μελέτες αποδεικνύουν ότι καθώς ο ενήλικας ακούει τους ήχους κάποιου άλλου, ενεργοποιεί το κιναισθητικό πρόγραμμα που χρειάζεται για την αναπαραγωγή αυτού του ήχου, καθιστώντας το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων εξαιρετικά χρήσιμο στην μάθηση και αναπαραγωγή των ήχων που ακούμε από άλλους ανθρώπους.

Η ανακάλυψη των κατοπτρικών νευρώνων παρείχε ισχυρή υποστήριξη για την χειρονομική θεωρία της προέλευσης του λόγου[44]. Οι κατοπτρικοί νευρώνες δημιουργούν μια άμεση σύνδεση μεταξύ του αποστολέα ενός μηνύματος και του δέκτη του (Rizzolatti G, Arbib MA 1998) [45]. Χάρη στον μηχανισμό κατοπτρισμού, οι ενέργειες ενός ατόμου γίνονται μηνύματα που κατανοούνται από έναν παρατηρητή χωρίς κάποια γνωστική διαμεσολάβηση[44]. Βάσει αυτής της θεμελιώδους ιδιότητας των κατοπτρικών νευρώνων και του γεγονότος ότι η παρατήρηση ενεργειών των χεριών ενεργοποιεί το ουραίο τμήμα της IFG (περιοχή Broca), οι Rizzolatti και Arbib (1998) [45] πρότειναν ότι ο μηχανισμός καθρέφτης είναι ο βασικός μηχανισμός από τον οποίο η γλώσσα εξελίχθηκε και από χειρωνακτική πράξη μετατράπηκε σε φωνητική.

Σύμφωνα με τον Arbib η εξέλιξη αυτή έγινε σε 6 στάδια [46]. Στο πρώτο και δεύτερο στάδιο, τη *δράση* και τη *μίμηση*, η επικοινωνία ήταν περίπου ίδια με αυτή των κωφών. Χάρη στους κατοπτρικούς νευρώνες οι πρωτόγονοι μπορούσαν και να αναπαραστήσουν μια πράξη και να τη μιμηθούν. Στο τρίτο και τέταρτο στάδιο, την *παντομίμα συγκεκριμένων πράξεων* και την *παντομίμα γενικευμένων- πιο αφαιρετικών πράξεων*, η μίμηση εξελίχτηκε σε παντομίμα, που είναι περισσότερο επικοινωνιακή, γιατί τραβά την προσοχή του παρατηρητή πάνω στις κινήσεις των χεριών με σκοπό να τον κάνει να σκεφτεί πάνω σε μια συγκεκριμένη πράξη ή γεγονός. Στο επόμενο στάδιο, τον *πρωτοσυμβολισμό*, η παντομίμα έγινε πιο αφαιρετική και οι κινήσεις των χεριών απέδιδαν πολύ λεπτές εννοιολογικές διαφορές. Στο τελευταίο στάδιο, την *πρωτογλώσσα*, εμπλέχθηκαν και άλλα μέρη του σώματος και συμμετείχαν οι μορφασμοί και η φωνή. Κύριος φορέας της επικοινωνίας έγινε ο ακουστικός ήχος. Ο Πλάτωνας στον Κρατύλο αναφέρει ότι οι πρώτες λέξεις ήταν ονοματοποιητικές[47], δηλαδή προήλθαν από τον ήχο που κάνει ο άνθρωπος, όταν αλληλεπιδρά πάνω στα

πράγματα. Στη συνέχεια η φωνητικοποίηση της πράξης αντικατέστησε την νοηματική ( χειρωνακτική) αναπαράστασή της.

Η νοηματική μορφή επικοινωνίας ήταν δυνατή, γιατί οι πρόγονοί μας με τη βοήθεια των κατοπτρικών νευρώνων μπορούσαν να αναπαραστήσουν μέσα τους τις πράξεις του άλλου και να τις αναπαράγουν. Με την βιολογική εξέλιξη του ανθρώπου και την ανάπτυξη της περιοχής Broca πάνω στους υπάρχοντες κατοπτρικούς νευρώνες, το κατοπτρικό σύστημα πήρε ένα δευτερεύοντα λόγο στην επικοινωνία, παρέμεινε όμως σταθερό στην αναπαράσταση της κινητικής πράξης. Όταν το ρόλο της επικοινωνίας και το βάρος του νοήματος ανέλαβε η φωνητική γλώσσα, οι κατοπτρικοί νευρώνες συνέχισαν να ενεργοποιούνται, γιατί ο βασικός φορέας του νοήματος και της επικοινωνίας ήταν στη βάση του πραξιακού, όπως και ο ρόλος του κατοπτρικού συστήματος. Η εξέλιξη της νοηματικής σε φωνητική επικοινωνία έγινε ουσιαστικά για πρακτικούς λόγους.

#### **4. Αυτισμός**

Η σύγχρονη έρευνα έχει παρουσιάσει σημαντικές ενδείξεις ότι η παθολογία του εγκεφάλου του ατόμου με αυτισμό συνίσταται σε πολλαπλές κυτταροαρχιτεκτονικές ανωμαλίες, που παρατηρούνται στη φαιά και τη λευκή ουσία των ημισφαιρίων και της παρεγκεφαλίδας. Στα ημισφαίρια, οι ανωμαλίες που έχουν παρατηρηθεί κυρίως στους μετωπιαίους λοβούς και στις κατώτερες μοίρες των κροταφικών λοβών (ιππόκαμπος, αμυγδαλές, ατρακτροειδής έλικα), καθώς και οι αντίστοιχες στους κερκοφόρους πυρήνες, εξηγούν και τις ειδικές δυσκολίες του ατόμου με αυτισμό, όπως τη «θεωρία του νου», τη μνήμη εργασίας, το λόγο, τις στερεοτυπίες. Η λευκή ουσία παρουσιάζει διακοπές σε πολλαπλά σημεία επαφής με το φλοιό. Συνέπεια των διακοπών είναι η έλλειψη συντονισμού μεταξύ δικτύων του εγκεφάλου όταν αυτά ενεργοποιούνται. Οι κυτταροαρχιτεκτονικές ανωμαλίες, σύμφωνα με τις υπάρχουσες ενδείξεις, επισυμβαίνουν κατά τα δύο πρώτα χρόνια της ανάπτυξης του παιδιού,

Τα χαρακτηριστικά της διαταραχής του φάσματος του αυτισμού (ΔΦΑ ή ASD όπως αναφέρεται διεθνώς από τα αρχικά της ορολογίας Autism spectrum disorder) περιέχουν:

- διαταραχές στην αντίληψη της γλώσσας
- αδυναμία κατανόησης συναισθημάτων
- ελλιπή κοινωνική συμπεριφορά και επικοινωνία

- επαναλαμβανόμενες κινήσεις
- υπερευαίσθησία σε ορισμένους ήχους

Απόδειξη των ανωμαλιών του κατοπτρικού συστήματος στη διαταραχή του φάσματος του αυτισμού παρέχεται από τη δομική μαγνητική τομογραφία, τη μαγνητοεγκεφαλογραφία, την ηλεκτροεγκεφαλογραφία, τη διακρατική μαγνητική διέγερση και τη λειτουργική μαγνητική τομογραφία (fMRI)[48]. Τα δεδομένα fMRI δείχνουν ότι τα παιδιά με αυτισμό έχουν μειωμένη δραστηριότητα του συστήματος κατοπτρικών νευρώνων και ότι η δραστηριότητα του κατοπτρικού συστήματος συσχετίζεται με τη σοβαρότητα της νόσου: όσο υψηλότερη είναι η εξασθένηση, τόσο χαμηλότερη είναι η δραστηριότητα του κατοπτρικού συστήματος στην ASD[49]. Η κοινωνική διάστασή μας θα καταστραφεί εντελώς χωρίς κατοπτρικούς νευρώνες, υποστηρίζει ο Iacoboni.

Στα παιδιά με αυτισμό βρέθηκε έλλειμμα σε δοκιμασίες «θεωρίας του νου», στις συναισθηματικές διεργασίες, στο συντονισμό της κοινωνικής τους συμπεριφοράς σε σχέση με τις συναισθηματικές εκδηλώσεις των άλλων (Charman, 2006, Genna, et al, 1996) [50] [51], στη μιμητική τους ικανότητα που δεν είναι απλά ελλειμματική, αλλά απαιτεί επίπονη προσπάθεια ακόμη και με θεραπευτικές συνθήκες, για να αναπτυχθεί. Επιπλέον βρέθηκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της ικανότητας μίμησης και της σοβαρότητας των συμπτωμάτων του αυτισμού[52]. Συγγραφείς πιθανολογούν ότι διαφορετικοί τύποι μίμησης και κατανόησης πράξεων απαιτούν τη δραστηριοποίηση πολλαπλών συστημάτων του εγκεφάλου και ότι η ικανότητα της κατανόησης και μίμησης των στόχων των κινήσεων των χεριών είναι ανέπαφη στο παιδί με αυτισμό[53].

## 5. Σημασία των κατοπτρικών νευρώνων

Οι κατοπτρικοί νευρώνες αποτελούν το επίκεντρο της έρευνας στις νευροεπιστήμες τα τελευταία χρόνια. Οι ερευνητές, παρά τις σημαντικές διαφωνίες, έχουν συνειδητοποιήσει το σημαντικό ρόλο που παίζει για τον άνθρωπο το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων, γι' αυτό και στόχος τους είναι να διερευνήσουν τη λειτουργία του και την επίδρασή του στην ανθρώπινη συμπεριφορά.

Ο V.S. Ramachandran το 1995 εξήρε τη σημασία τους, υποστηρίζοντας πως αποτελούν για την ψυχολογία ό,τι το DNA για τη βιολογία, αφού θα βοηθήσουν στην εξήγηση μιας σειράς από ψυχικές ικανότητες που μέχρι τώρα παρέμεναν

μυστηριώδεις και απρόσιτες στα πειράματα[54]. «Με τους κατοπτρικούς νευρώνες οι άνθρωποι μπόρεσαν να απλώσουν το χέρι για ν' αγγίζουν τα αστέρια !»( Vilayanous S. Ramachandran και Lindsay M. Oberman). [55] [56].

Οι κατοπτρικοί νευρώνες παίζουν αποφασιστικό ρόλο τόσο στην εκτέλεση όσο και στην αναπαράσταση πολλών ανθρώπινων και ζωικών συμπεριφορών. Το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων θεωρείται ότι εξασφαλίζει στο άτομο έναν απλό νευρωνικό μηχανισμό για την κατανόηση των πράξεων, των σκέψεων και των συναισθημάτων των άλλων, έχοντας ήδη επεξεργαστεί μέσα από το ίδιο σύστημα και με τη διαδικασία εσωτερικής απομίμησης τις δικές του σχετικές εμπειρίες. Η εσωτερική απομίμηση δίνει τη δυνατότητα στο άτομο να προβλέπει τις προθέσεις του άλλου ατόμου. Οι συγγραφείς προτείνουν ότι το σύστημα των κατοπτρικών νευρώνων είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική ανάπτυξη της ενσυναίσθησης, της μίμησης, της θεωρίας του νου και της γλώσσας[57]. Δυσλειτουργία σε αυτό το κατοπτρικό σύστημα πιθανόν να οδηγεί σε χαμηλά επίπεδα ταύτισης, ανικανότητα να συμπάσχουμε με τους άλλους ή να αναπτύσσουμε την απαραίτητη κοινωνικότητα, και εικάζουν ότι ευθύνεται για το κοινωνικό και επικοινωνιακό έλλειμμα των ατόμων του αυτιστικού φάσματος (Ramachandran and Oberman, 2006) [58].

Κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι ερευνητικές ομάδες του Andrew Whiten στο Πανεπιστήμιο St Andrews της Σκωτίας και του Vilayanous S. Ramachandran και της Lindsay M. Oberman[59] στο Πανεπιστημίου του Σαν Ντιέγκο στην Καλιφόρνια, επιβεβαίωσαν τη δυνατότητα, που παρέχει η ύπαρξη των κατοπτρικών νευρώνων, να βλέπουμε τον εαυτό μας σαν εξωτερικοί παρατηρητές. Έτσι, ο παρατηρητής γίνεται ταυτόχρονα το παρατηρούμενο. Χάρη σ' αυτή την δυνατότητα μπορούμε όχι μόνο να έχουμε επίγνωση του εαυτού μας, αλλά και της βαθύτερης υπαρξιακής μας κατάστασης και στη συνέχεια να την προβάλλουμε στην εξωτερική, αντικειμενική πραγματικότητα και να επικοινωνούμε με τον υπόλοιπο κόσμο. Συνεπώς ο κατοπτρικός μηχανισμός, μας προσφέρει μια γέφυρα για επικοινωνία και σύνδεση σε πολλαπλά επίπεδα με το περιβάλλον γενικότερα και με τα άλλα πλάσματα ειδικότερα.

Το σύστημα των νευρωνικών κατόπτρων αποτελεί διασυνδεδετικό στοιχείο που επιτρέπει τις αναθεωρήσεις σε ζητήματα όπως η συνείδηση, η απεικόνιση του εαυτού, η ανάδειξη της κουλτούρας και του πολιτισμού.

## 6. Κινητική αποκατάσταση και κατοπτρικοί νευρώνες

Το κατοπτρικό σύστημα μοιράζεται κάποια ανατομικά δίκτυα με το κινητικό σύστημα και μέρη του κινητικού συστήματος συμμετέχουν στις διαδικασίες ενός εκτεταμένου κατοπτρικού συστήματος χωρίς απαραίτητα να περιέχουν κατοπτρικούς νευρώνες. Νευρώνες του πρωτογενούς κινητικού και του προκινητικού φλοιού ενεργοποιούνται σε εκτέλεση μιας κίνησης αλλά και στην παρατήρησή της και νευρώνες του σωματοαισθητικού φλοιού συμμετέχουν σε διαδικασίες προσομοίωσης συναισθημάτων και συναισθηματικών εκφράσεων μέσω της παρατήρησης.

Έχει αποδειχθεί ότι ο πρωτογενής κιναισθητικός φλοιός ενεργοποιείται με παρόμοιο τρόπο στη φανταστική (νοερή) κίνηση όπως και στην πραγματική κίνηση. Ο όρος «φανταστική κίνηση» περιγράφει την έννοια της εξάσκησης μιας κίνησης νοητικά, χωρίς αυτή να παράγει πραγματικό κινητικό έργο. Εφαρμόζεται στην εκμάθηση κινητικών δεξιοτήτων σε ένα ευρύ φάσμα τομέων, όπως στον επαγγελματικό αθλητισμό και στην νευρολογική αποκατάσταση. Ιδιαίτερα σε παραπληγικούς ασθενείς εμφανίζεται ως μια πολλά υποσχόμενη λύση στην κατεύθυνση της αποκατάστασης της κίνησης ή στον έλεγχο προσθετικών άκρων.

Οι Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή (ΔΕΥ) είναι συστήματα που εκμεταλλεύονται την εγκεφαλική δραστηριότητα για τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών. Συνδέουν την δραστηριότητα του εγκεφάλου (ή του κεντρικού νευρικού συστήματος) με ένα σύστημα υπολογιστή. “Μια ΔΕΥ αλλάζει τα ηλεκτροφυσιολογικά σήματα από απλές προβολές της δραστηριότητας του κεντρικού νευρικού συστήματος (ΚΝΣ) στην επιδιωκόμενη δραστηριότητα: μηνύματα και εντολές που δρουν στον έξω κόσμο” (Wolpaw, 2002) [60]. Αν και η πρώτη ΔΕΥ περιγράφηκε από τον Dr. Grey Walter το 1964[61], τα συστήματα αυτά άρχισαν να αναπτύσσονται απ’ τη δεκαετία του ’70 και γνώρισαν ραγδαία πρόοδο από τα μέσα της δεκαετίας του 1990. Η τεχνολογία των ΔΕΥ έχει σκοπό να χρησιμοποιηθεί ως κλινικό εργαλείο αποκατάστασης ή ακόμη και στην καθημερινότητα ασθενών με παθήσεις με στόχο την πλήρη και πραγματική αποκατάσταση της κίνησης και της επικοινωνίας τέτοιων ασθενών.

## 7. Συμπεράσματα

Από την ανακάλυψή τους στον κοιλιακό προκινητικό φλοιό των πιθήκων Μακάκα και μετά, οι κατοπτρικοί νευρώνες βρίσκονται στο επίκεντρο της γνωστικής

νευροεπιστήμης [62]. Η ανακάλυψη του συγκεκριμένου εξαιρετικά περίπλοκου δικτύου νευρώνων άνοιξε το δρόμο για πολλές μελέτες. Στόχος των ειδικών είναι να διερευνήσουν τη λειτουργία του και την επίδρασή του στην ανθρώπινη συμπεριφορά.

Έως σήμερα υπάρχουν ενδείξεις ότι οι νευρώνες αυτοί σχετίζονται με ικανότητες όπως: η ανάπτυξη της ενσυναίσθησης χάρη στην οποία είμαστε σε θέση να μπαίνουμε στην θέση των άλλων κατανοώντας την δική τους οπτική γωνία, η κοινωνική μάθηση μέσω της μίμησης προτύπων, η ανάπτυξη της θεωρίας του Νου, η οποία μας επιτρέπει να ξεχωρίζουμε τον εαυτό μας και τις γνώσεις μας από αυτές των άλλων γύρω μας και η ανάπτυξη της γλώσσας μέσω της μίμησης κινήσεων του στόματος και παραγωγής ήχων.

Φυσικά οι ενδείξεις παρότι υπάρχουν, δεν αποτελούν αποδείξεις. Αν και υπάρχουν πολλές αλληλοσυγκρουόμενες έρευνες οι οποίες φτάνουν σε εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα, ωστόσο χρησιμοποιούνται ήδη στην κινητική αποκατάσταση, στην ερμηνεία των συμπτωμάτων του αυτισμού αλλά και σε νευρολογικά σύνδρομα.

## Βιβλιογραφία

1. Καθρεπτικοί ή κατοπτρικοί νευρώνες [ΑΡΘΡΟ]  
[http://langcogdev.blogspot.com/2010/12/blog-post\\_8893.html](http://langcogdev.blogspot.com/2010/12/blog-post_8893.html)
2. R. S. Swenson, “*Review of clinical and functional neuroscience*,” Educational Review Manual in Neurology, 2006.
3. A. Athanasiou and P. D. Bamidis, “*An extended review on clinical applications of brain– computer interfaces in neurosurgery*,” Hellenic Neurosurgery, 2013
4. A. Athanasiou, M. A. Klados, A. Astaras, N. Foroglou, I. Magras, and P. D. Bamidis, “*State of the art and future prospects of nanotechnologies in the field of brain-computer interfaces*,” in XIV Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2016, pp. 456–460, Springer, 2016
5. Iacoboni M, Mazziotta JC., *Mirror neuron system: basic findings and clinical applications*. Ann Neurol 2007, 62: 213-218.
6. Oberman LM, Ramachandran VS., *The simulating social mind: the role of the mirror neuron system and simulation in social and communicative deficits of autistic spectrum disorders*. Psycho Bull, 2007, 133:310-27.
7. G. di PellegrinoL. FadigaL. FogassiV. GalleseG. Rizzolatti, *Understanding motor events: a neurophysiological study*, Experimental Brain Research, October 1992, Volume 91, Issue 1, pp 176–180
8. 9 κρίσιμα ερωτήματα για το μυαλό μας ΤΗΣ HELEN THOMSON  
<https://braining.gr/%CE%BD%CE%B5%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B5%CF%82.html?limit=10&start=20>
9. Κεφάλαιο 7 - Το κινητικό σύστημα  
[https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4835/1/ch\\_7.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/4835/1/ch_7.pdf)
10. Μετωπιαίος λοβός  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82\\_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CF%89%CF%80%CE%B9%CE%B1%CE%AF%CE%BF%CF%82_%CE%BB%CE%BF%CE%B2%CF%8C%CF%82)
11. <https://www.psych.gr/documents/psychiatry/18.3-GR-2007-225.pdf>
12. *The neurons that shaped civilization* | VS Ramachandran,  
[www.youtube.com/watch?v=NyuyjZveoYc](http://www.youtube.com/watch?v=NyuyjZveoYc)
13. 5. Παρουσιάσεις - Εργασίες <http://opencourses.uoa.gr/courses/PPP100/>

14. Catmur C, Walsh V, Heyes C, et al.. *Sensorimotor learning configures the human mirror system*. Curr Biol 2007, 17:1527-31
15. Παπαδόπουλος Χ. Γ., *Ελεύθερη βούληση: από την οντολογία του ανύπαρκτου και την οντογονία του περιττού στην κοινωνιολογία του απαραίτητου*, Ομιλία που δόθηκε τον Μάιο του 2006 σε εκδήλωση της Δελφικής Εταιρείας και δημοσιεύεται στο περιοδικό σύνταξις  
users.auth.gr/gpadop/free\_will\_text\_synapsis.pdf
16. *Ποιος είναι ο ρόλος των κατοπτρικών νευρώνων;*  
[https://floroieikastikoi.blogspot.com/2016/01/blog-post\\_19.html](https://floroieikastikoi.blogspot.com/2016/01/blog-post_19.html)
17. Hickok G (2009). "Eight problems for the mirror neuron theory of action understanding in monkeys and humans". *J Cogn Neurosci*. **21** (7): 1229–1243.
18. Baron - Cohen ,s., Tager-Flusberg, H.,& Cohen, D.(2000, Eds),*Understanding Other Minds: Perspectives from Autism*, Oxford: Oxford University Press
19. Stephanie Preston & Frans de Waal, "Empathy: Its Ultimate and Proximate Bases", *Behavioral and Brain Sciences* 25 (2002), pp. 1-72
20. Γεώργιου Μπαμπινιώτη, «Συμπάθεια», στο: Λεξικό της Νέας Ελληνικής Γλώσσας. Με σχόλια για τη σωστή χρήση των λέξεων, Κέντρο Λεξικολογίας Ε.Π.Ε., Αθήνα 20022, σελ. 1687
21. Αναστάσιου Σταλικά – Μάρθας Χαμοδράκα, *Θεμελιώδη θέματα ψυχοθεραπείας. Η ενσυναίσθηση, ό.π.*
22. T.H. Pear, «Εμπάθεια», στο: Λεξικό Κοινωνικών Επιστημών UNESCO, τ. 1ος, Ελληνική Παιδεία Α.Ε., Αθήναι 1972, σελ. 228-229
23. Daniel Goleman, *Κοινωνική νοημοσύνη, ό.π.*, σελ. 84-85
24. *Ενσυναίσθηση: Η άγνωστη δύναμη της επικοινωνίας*», στο: Science Illustrated 63 (Δεκέμβριος 2010), δημοσιευμένο στο:  
<http://www.scienceillustrated.gr/site/empathy> 25/12/2010
25. *The neuroevolution of empathy* ,Article, Review in Annals of the New York Academy of Sciences 1231(1):35-45 · June 2011
26. Blair J.,. *Consciousness and Cognition*,Volume 14, Issue 4, December 2005
27. <https://docplayer.gr/46370390-Kathreptikoi-katoptrikoi-neyrone-mirror-neurone-ensynaisthisi.html>
28. Rizzolatti, G. et al. (1996) *Premotor cortex and the recognition of motor actions Cognit. Brain Res.* 3, 131–141
29. [www.psych.gr/documents/psychiatry/18.3-GR-2007-225.pdf](http://www.psych.gr/documents/psychiatry/18.3-GR-2007-225.pdf)

30. <ftp://ftp.soc.uoc.gr/Psycho/Kastellakis/Physiological%20Psychology%20II/Sarosi.pdf>
31. Meltzoff, A.N (2002).Element of a developmental theory of imitation. In A.N. Meltzoff & W.Prinz (Ed), *The imitative mind: Development, evolution and brain bases* (pp. 19-41), Cambridge, UK: Cambridge University Press
32. Meltzoff, A. N. & Moore, M.K 1983b).*Newborn infants imitate adults facial gestures, Child Development, 54, 702-709*
33. Meltzoff, A., & Gopnik, A. *The role of imitation in understanding persons and developing a theory of mind.* (1993).
34. Nadel, J. (2002). Imitation and imitation recognition: Functional use in preverbal infants and nonverbal children with autism. In A.N. Meltzoff & W. Prinz(EDs), *The imitative mind: Development, evolution and brain bases*(pp. 42-62), Cambridge, UK: Cambridge University Press
35. <https://www.psychologynow.gr/arthra-psyxikis-yegeias/egkefalos/nevropsyxologia/4861-i-leitourgia-ton-katoptrikon-nevronon.html>.
36. Thelen & Smith, 1994, *A Dynamic Systems Approach to the Development of Cognition and Action*, Open Journal of Philosophy, Vol.3 No.4, October 9, 2013
37. Μαρτιδάκη- Κασσωτάκη, Αικ., & Μαλακιώση- Λοϊζου, Μ.,(2004). *Η ανάπτυξη της ικανότητας κατανόησης συναισθημάτων και ο ρόλος της στη θεωρία του νου*, Επιστήμες Αγωγής, 2, 20-29
38. Bradmetz , J., & Schneider, R. (1999). Is Little Red Riding Hood afraid of her grandmother? Cognitive vs emotional response to false belief, *British Journal of Developmental Psychology, 17, 501-514*
39. Wellman , H. M., & Banerjee, M. (1991).Mind and emotions. Children' s understanding of the emotional consequences of beliefs and desires, *British Journal of Denelopment Psychology, 9, 191-214*
40. Hynes, Catherine A.; Baird, Abigail A.; Grafton, Scott T. (2006). "Differential role of the orbital frontal lobe in emotional versus cognitive perspective-taking". *Neuropsychologia. 44 (3): 374–383*
41. Wellman, H.M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysisof theory of mind development the truth about false beliefs, *Child development, 72, 655-684*
42. Μισαηλίδη, Π. , *Η θεωρία των παιδιών για το νου*, εκδ «Τυπωθήτω», 2003

43. Empathic Brain: Chapter 5: Language by Christian Keysers  
<https://www.youtube.com/watch?v=qX4I101PCt0>
44. [http://www.scholarpedia.org/article/Mirror\\_neurons](http://www.scholarpedia.org/article/Mirror_neurons)
45. Rizzolatti G, Arbib MA (1998) *Language within our grasp*. Trends Neurosci 21:188–194.
46. *The Mirror System, Imitation, and the Evolution of Language* DRAFT: December 10, 1999. <http://www-inst.cs.berkeley.edu/~cs182/sp08/readings/arbib.pdf>
47. [openeclass.panteion.gr/modules/document/file.php/TMD207/4gennhshglwssas.pdf](http://openeclass.panteion.gr/modules/document/file.php/TMD207/4gennhshglwssas.pdf)
48. Iacoboni, M., Dapretto, M. (2006). *The Mirror Neuron System and the Consequences of its dysfunction*. Nature Reviews Neuroscience (December 2006), 7: 942-951
49. Review Article, *The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction*, Marco Iacoboni & Mirella Dapretto  
<https://www.nature.com/articles/nrn2024>, Published: 08 November 2006
50. Charman, T., & Stone, W. (2006) , *Social and Communication Development in Autism Spectrum Disorders: Early Identification, Diagnosis and Intervention*, New York: The Guilford Press
51. Genna, A. Krantz, P. J., McClannahan, L.E., & Poulson, C.L, (1996), Training and generalization of affective behavior displayed by youth with autism, *Journal of Applied Behavior Analysis*, 29, 291- 304
52. Τσιρεμπόλου, Εριφύλλη, 2012, *Ανάπτυξη δεξιοτήτων της θεωρίας του νου και συναισθηματικής έκφρασης παιδιών με αυτισμό: μελέτη παρέμβασης*  
<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/29233>
53. <https://www.scientificamerican.com/article/broken-mirrors-a-theory-of-autism-2007-06/>
54. [https://en.wikipedia.org/wiki/V.\\_S.\\_Ramachandran](https://en.wikipedia.org/wiki/V._S._Ramachandran)
55. Vilayanous S. Ramachandran και Lindsay M. Oberman, *Broken Mirrors: A Theory of Autism*, Scientific American November 2006
56. Νευρώνες Κάτοπτρα, [http://thesecretrealthtruth.blogspot.com/2012/02/blog-post\\_8616.html](http://thesecretrealthtruth.blogspot.com/2012/02/blog-post_8616.html), Τετάρτη, 29 Φεβρουαρίου 2012
57. Από τη συλλογή "Επιστημονικά Άρθρα" της BrainFitness Net - [www.brainfitness.gr](http://www.brainfitness.gr), (Αναθεώρηση 15/01/2011), Σωτήρης Κωτσόπουλος

58. Ramachandran VS, Oberman LM. *Broken mirrors: A theory of autism*. Scientific American Reports: Special Edition on Child Development. June 2007
59. [http://thesecretrealtruth.blogspot.com/2012/02/blog-post\\_8616.html](http://thesecretrealtruth.blogspot.com/2012/02/blog-post_8616.html)
60. Wolpaw, J.R.: *Brain-computer interfaces for communication and control*, Clinical Neurophysiology 113(6):767-91 • July 2002
61. University of Cyprus Biomedical Imaging and Applied Optics. HMY 370  
Εισαγωγή στη Βιοϊατρική Μηχανική. Διεπαφές Εγκεφάλου-Υπολογιστή,
62. <https://elocus.lib.uoc.gr/dlib/a/e/1/metadata-dlib-1362389257-896638-3496.tkl>