

# Ο ρόλος της λειτουργικής νευροπροσθετικής στη θεραπεία χρόνιων νευρολογικών παθήσεων

**Δαμιανός Σακκάς**

*Καθηγητής Νευροχειρουργικής,  
Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών*

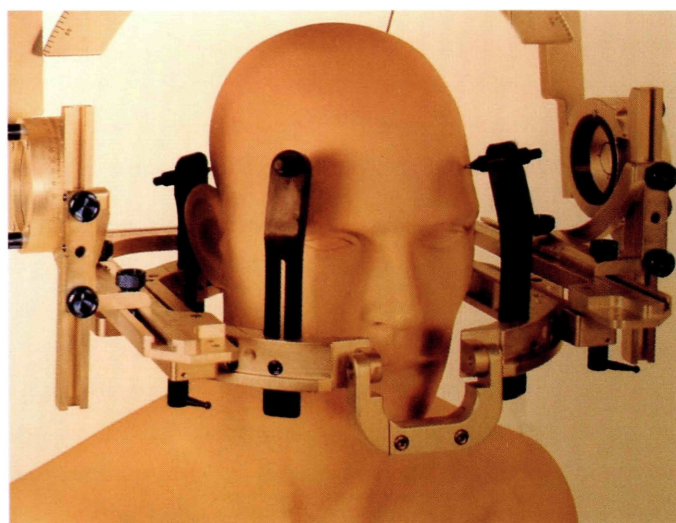
**Σ**το παρόν κείμενο θα παρουσιάσω τις σύγχρονες εξελίξεις στη νευροχειρουργική. Εδώ και 10 χρόνια περίπου, το θέμα της λειτουργικής νευροπροσθετικής έχει αποκτήσει σταδιακά ιδιαίτερη σημασία. Σήμερα μπορούν να χειρουργούνται όχι μόνο δομές και μάζες, όπως είναι τα αιματώματα, οι όγκοι ή τα ανευρύσματα, αλλά και ολόκληρα δίκτυα του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος διαθέτει τρισεκατομμύρια δίκτυα εκ των οποίων έχουμε κατανοήσει τη λειτουργία πολύ λίγων. Προφανώς, σε αυτές τις περιπτώσεις τα θεραπευτικά αποτελέσματα μπορεί να είναι πολύ θεαματικά.

Πολλές χρόνιες νευρολογικές παθήσεις οφείλονται σε διαταραχές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στο νευρικό σύστημα. Οι μεγάλες ομάδες αυτών των παθήσεων είναι οι διαταραχές της κίνησης, οι επιληψίες, τα σύνδρομα χρόνιου αφόρητου πόνου, οι νευρογενείς διαταραχές των σπλάχνων και οι ψυχικές παθήσεις. Θα αναφερθώ αρχικά στις διαταραχές της κίνησης. Οι πιο γνωστές από αυτές, οι οποίες μπορούν να αντιμετωπιστούν με τις μεθόδους της λειτουργικής προσθετικής νευροχειρουργικής, είναι η νόσος του Πάρκινσον, οι δυστονίες και η σπαστικότητα.

Στον ελληνικό ιατρικό κόσμο δεν είναι γνωστό το μέγεθος του προβλήματος, δηλαδή ο ακριβής αριθμός των πασχόντων από τις παραπάνω παθήσεις οι οποίοι μπορούν να ωφεληθούν με τις μεθόδους της λειτουργικής νευροπροσθετικής. Όταν οι συνεργάτες μου κι εγώ χειρουργήσαμε το πρώτο περιστατικό δυστονίας στην Ελλάδα, δόθηκε αρκετή δημοσιότητα, και από τα μέσα ενημέρωσης, αλλά και στον ιατρικό χώρο. Πολλοί δεν ήξεραν μέχρι τότε πόσο μεγάλο είναι το πρόβλημα της δυστονίας και πόσοι τέτοιοι πάσχοντες υπάρχουν στη χώρα. Σήμερα, 30 άτομα κάτω των 35 ετών είναι σε αναμονή για να χειρουργηθούν με την ίδια μέθοδο. Προφανώς υπάρχουν ακόμη πολύ περισσότεροι. Ο συνολικός αριθμός των πασχόντων σε αναμονή στην κλινική μας, για να εκτιμηθεί η καταλληλότητά τους για χειρουργική θεραπεία, ξεπερνάει σήμερα τις 2.000.

Για να γίνουν καλύτερα κατανοητές αυτές οι νέες θεραπευτικές δυνατότητες θα αναφερθώ συνοπτικά σε ορισμένες σχετικές έννοιες:

Χειρουργική Νευρωνικών Δικτύων: Σήμερα προχωρούμε σταδιακά στην κατανόηση της λειτουργίας των νευρωνικών συστημάτων του εγκεφάλου, παρομοιάζοντάς τα με τα δίκτυα που βλέπουμε σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές ή στα σχέδια διάταξης ηλεκτρικών συσκευών.



**Εικόνα 1.**  
Στερεοτακτικό πλαίσιο  
για επεμβάσεις  
Λειτουργικής  
Νευροχειρουργικής

Ψηφιακή Στερεοτακτική Χειρουργική: Ίσως αναρωτηθεί κανείς πώς είναι δυνατόν να στοχεύσουμε ένα δίκτυο ή έναν κόμβο ενός δικτύου μέσα στον εγκέφαλο. Αυτό γίνεται χάρη στην επονομαζόμενη «στερεοτακτική» ή «στερεομετρική» μέθοδο, η οποία συνίσταται στο εξής: Πάνω στο κρανίο μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα μεταλλικό πλαίσιο (εικόνα 1). Αυτό διαμορφώνει γύρω από το κρανίο και τον εγκέφαλο ένα στερεομετρικό καρτεσιανό περιβάλλον, στο οποίο κάθε σημείο του εγκεφάλου μπορεί να έχει μαθηματικές συντεταγμένες σε άξονες  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Όταν μπορείς να μετατρέψεις κάτι σε αριθμούς, μπορείς να το χειριστείς με τον υπολογιστή. Έχοντας ψηφιοποιήσει αυτό τον εγκεφαλικό χώρο και έχοντας δώσει μαθηματικές συντεταγμένες σε κάθε σημείο του εγκεφάλου, μπορούμε στη συνέχεια, με τη βοήθεια του υπολογιστή, να κατευθύνουμε, με ακρίβεια της τάξεως του 1 χιλιοστού ή και λιγότερο, ένα ηλεκτρόδιο στον στόχο. Για υψηλή ακρίβεια διατίθενται πολλαπλά συστήματα ελέγχου, τα οποία επιτρέπουν την πραγματοποίηση τέτοιων χειρισμών με μεγάλη ασφάλεια.

Λειτουργική Νευροχειρουργική: Ο όρος «λειτουργική νευροχειρουργική» σημαίνει τη χειρουργική με σκοπό τη διόρθωση διαταραγμένων λειτουργιών (δυσλειτουργιών) και όχι την αφαίρεση μαζών ή αιματωμάτων. Το θεωρητικό υπόβαθρο βασίζεται στη γνώση ότι κάθε σύστημα στο σώμα και στον εγκέφαλο έχει μηχανισμούς αυτορρύθμισης. Όταν η αυτορρύθμιση χαθεί για κάποιον λόγο, τότε έχουμε υπερλειτουργία ή υπολειτουργία μερικών δικτύων ή συστημάτων. Αυτό προκαλεί την πάθηση κι ο γιατρός επεμβαίνει για να επαναφέρει την απολεσθείσα φυσιολογική αυτορρύθμιση.

Λειτουργική Νευροτροποποίηση: Ο όρος «νευροτροποποίηση» ή «neuro-modulation» υπάρχει ήδη στη φύση, στη νευροφυσιολογία, αλλά εδώ πρόκειται για την επεμβατική ή χειρουργική νευροτροποποίηση, δηλαδή για την επέμβαση στο νευρικό σύστημα με την εμφύτευση συσκευών που βελτιώνουν τη νευρομεταβίβαση, για καλύτερη σωματική λειτουργία και θεραπεία.

Στη συνέχεια, θα αναφερθώ στις κύριες κατηγορίες παθήσεων που μπορεί να αντιμετωπιστούν με τις μεθόδους της λειτουργικής νευροπροσθετικής:

**Σπαστικότητα:** Η σπαστικότητα είναι μια επιπλοκή πολλών παθήσεων, όπως τα τραύματα του νωτιαίου μυελού, η εγκεφαλική παράλυση ή η σκλήρυνση κατά πλάκα. Το πρόβλημα δεν είναι ιδιαίτερα γνωστό στη χώρα μας και πολλοί γιατροί δεν γνωρίζουν ότι υπάρχει χειρουργική θεραπεία για τη σπαστικότητα με τοποθέτηση αντλίας μπακλοφένης (εικόνες 2-3). Με τον όρο θεραπεία εννοείται η μεγάλη βελτίωση, διότι συχνά δεν μπορεί να αρθεί η βασική αιτία του προβλήματος. Αλλά γι' αυτά τα άτομα με χρόνια αναπηρία, οποιαδήποτε βελτίωση φαίνεται σε μας μικρή μπορεί γι' αυτούς να είναι πολύ σημαντική. Το να μπορούν να σηκωθούν από το κρεβάτι και να καθίσουν σε μια καρέκλα ή σε ένα αναπηρικό αμαξάκι είναι ιδιαίτερα σημαντικό. Ενδεικτικά αναφέρω ότι αυτή τη στιγμή βρίσκονται σε αναμονή 60 πάσχοντες για χειρουργική επέμβαση σπαστικότητας.

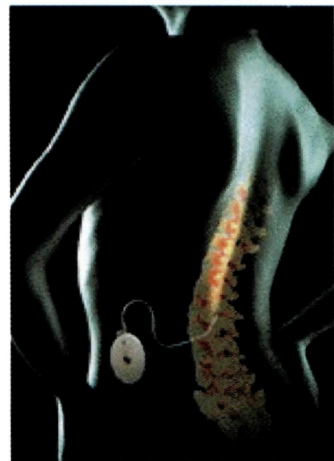
**Εικόνα 2.**

Αντλίες ενδοσκληρίδιας έγχυσης φαρμάκων για την αντιμετώπιση της σπαστικότητας και του χρόνιου πόνου.



**Εικόνα 3.**

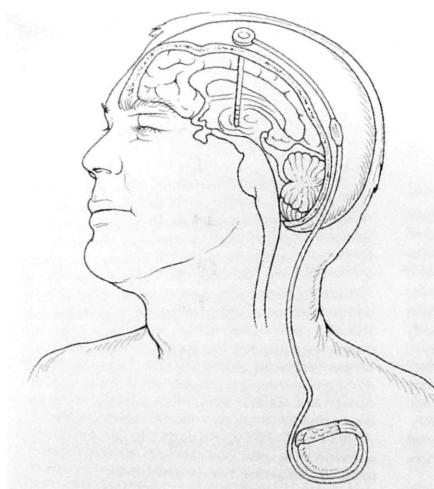
Εμφυτευμένη αντλία ενδοσκληρίδιας έγχυσης φαρμάκων για την αντιμετώπιση της σπαστικότητας και του χρόνιου πόνου.



Νόσος Πάρκινσον – Δυστονία: Προκειμένου να χειρουργηθεί ένας ασθενής με νόσο του Πάρκινσον ή δυστονία, γίνεται αξονική ή μαγνητική τομογραφία με ένα στερεοτακτικό πλαίσιο, το ποίο ανέφερα προηγουμένως, τοποθετημένο στερεά στην κεφαλή του ασθενή (εικόνα 1). Οι πλευρές του πλαισίου προσφέρουν συντεταγμένες για κάθε σημείο του εγκεφάλου και η θέση του κάθε σημείου μπορεί να προσδιοριστεί σε σχέση με τις πλευρές του πλαισίου. Στη συνέχεια, σε ισχυρούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές, γίνεται συγχώνευση αξονικής και μαγνητικής τομογραφίας, γιατί η καθεμία έχει ορισμένα διαφορετικά πλεονεκτήματα. Στη συγχωνευμένη εικόνα έχουμε τα πλεονεκτήματα και των δύο, ώστε να μπορούμε να στοχεύσουμε με ακρίβεια οποιοδήποτε σημείο μέσα στον εγκέφαλο. Στην οθόνη του υπολογιστή, μπορούμε να δούμε τις εικόνες, να επιλέξουμε τον στόχο και να αποφασίσουμε την τροχιά προς αυτόν, παρατηρώντας την ακριβή θέση του στερεοτακτικού πλαισίου γύρω από το κρανίο του ασθενή. Πριν καθοριστεί η τελική τροχιά της επέμβασης μπορούμε να επικαλεστούμε άπλαντες ανατομίες για να επαληθεύσουμε το στόχο. Αφού έχουν γίνει πολλαπλές μετρήσεις και καθοριστεί η πορεία προς το σημείο του εγκεφάλου που θέλουμε να τροποποιήσουμε, έχουμε μια πρόσθετη δυνατότητα, την «εικονική επέμβαση». Δεδομένου ότι στον υπολογιστή του συστήματός έχουν καταχωρηθεί πάρα πολλές τομές μαγνητικής τομογραφίας του εγκεφάλου σε διάφορα επίπεδα, μπορούμε να δούμε σε αλληπάλλληλες τέτοιες τομές, την πορεία που θα ακολουθήσει το ηλεκτρόδιο προς τον στόχο. Είναι σαν να υπάρχει ένας οφθαλμός στο άκρο του ηλεκτροδίου, ο οποίος επιτρέπει να βλέπουμε από πού θα περάσει, καθώς θα κατέρχεται μέσα στο παρέγχυμα του εγκεφάλου. Αν κριθεί ότι η επιλεγείσα πορεία μπορεί να είναι κοντά σε μια δομή βασικής σημασίας και να τη βλάψει, μπορούμε, χειριζόμενοι το ηλεκτρολόγιο του υπολογιστή, σε δευτερόλεπτα να τροποποιήσουμε την πορεία.

Η προώθηση ενός τέτοιου συστήματος είναι αδύνατον να γίνει από ανθρώπινο χέρι, γιατί αυτό δεν μπορεί να κατευθύνει μέσα στον εγκέφαλο ένα εργαλείο με την ακρίβεια που απαιτείται. Υπάρχει σύστημα μικροοδηγού που προωθεί το ηλεκτρόδιο με βήματα της τάξεως του 10ου του χιλιοστού, ενώ συγχρότως λαμβάνονται ηλεκτρικά δυναμικά. Αυτά συγκρίνονται με τα δυναμικά που

υπάρχουν καταχωρημένα σε καρτογραφήσεις του εγκεφάλου. Η λήψη συγκεκριμένων δυναμικών μάς επιτρέπει να αναγνωρίζουμε ότι είμαστε στη σωστή πορεία προς τον στόχο. Το σύστημα, στην τελική του μορφή, περιλαμβάνει το ηλεκτρόδιο που έχει εμφυτευτεί στον εγκέφαλο και κάτω από το δέρμα συνδέεται με μία εμφυτευμένη συσκευή που περιέχει τη γεννήτρια και το λογισμικό, δηλαδή με ένα σύστημα ανάλογο με του καρδιακού βηματοδότη (εικόνα 4). Αυτή η θεραπεία εφαρμόζεται στις διαταραχές της κίνησης, όπως τη νόσο Πάρκινσον, τις δυστονίες, κάποιες μορφές σπαστικότητας και δοκιμάζεται και σε πολλές άλλες παθήσεις σήμερα διεθνώς, όπως στις επιληψίες και σε κάποια σύνδρομα χρόνιου αφόρητου πόνου.



**Εικόνα 4.**

Διαγραμματική απεικόνιση ενός εμφυτευμένου πλήρους συστήματος εγκεφαλικής διέγερσης βαθέων δομών του εγκεφάλου.

Επιληψία: Ο κρόταφος, ο ιππόκαμπος και η αμυγδαλή έχουν σχέση με τη μνήμη και το συναίσθημα. Είναι περιοχές υψηλής απαρτίωσης οι οποίες βλάπτονται εύκολα. Ίσως η περιοχή του ιππόκαμπου να είναι η πιο εξελιγμένη περιοχή του εγκεφάλου. Το 80% των ασθενών που χειρουργούνται για θεραπεία της επιληψίας έχουν βλάβη σε αυτή την περιοχή. Η επιληψία είναι σύνθετο και εκτεταμένο φαινόμενο και μπορεί να συγκριθεί με δίπολα ηλεκτρικής ενέργειας στον φλοιό του εγκεφάλου. Μια πρόσφατη θεωρητική προσέγγιση προτείνει ότι επηρεάζοντας ηλεκτρικά βαθύτερες δομές μπορούμε να έχουμε

ένα είδος «ακτινοβολίας» προς τον φλοιό του εγκεφάλου ώστε να ελεγχθεί η επιληψία. Προκειμένου να τροποποιήσουμε μια επιληπτογόνο περιοχή, πρέπει να διαθέτουμε συστήματα στόχευσης, όχι για το βάθος του εγκεφάλου αλλά για φλοιώδεις και υποφλοιώδεις δομές. Σε αυτή την τεχνική, τοποθετούνται εντοπιστές πάνω στο κρανίο. Όταν ο ασθενής κάνει μαγνητική τομογραφία, κατά την οποία αναγνωρίζεται ο κάθε εντοπιστής. Κάθε σημείο εντοπιστή έχει συγκεκριμένες μαθηματικές σχέσεις με τη βλάβη, δηλαδή συντεταγμένες. Μέσα στο χειρουργείο, αυτά τα σημεία, και συνεπώς οι μαθηματικές τους αποστάσεις από τη βλάβη που πρέπει να χειρουργηθεί, μπορούν να εκτιμηθούν με τη χρήση ενός συστήματος που εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία και διακρίνει τους εντοπιστές.

Επιπλέον, με αυτό το σύστημα μπορεί να εντοπιστεί ένα εργαλείο το οποίο χειρίζεται ο χειρουργός κι έτσι να ξέρουμε την απόστασή του από το σημείο που πρέπει να χειρουργηθεί. Αυτή η τεχνολογία έχει κάποιες αναλογίες με το GPS, όπως αυτό εντοπίζει με δορυφόρους ένα όχημα πάνω στη γη. Αυτή η τεχνολογία είναι διαθέσιμη στην κλινική μας. Μπορούν να προσεγγιστούν δομές στην επιφάνεια του εγκεφάλου, να εγγραφεί η λειτουργική μαγνητική τομογραφία του ασθενή στο σύστημα και να εντοπιστεί η περιοχή επιληψίας στον φλοιό του εγκεφάλου. Εκεί, συχνά πρέπει να τοποθετηθεί ένα ηλεκτρόδιο επιφάνειας (όχι το κυλινδρικό ηλεκτρόδιο). Ένα τέτοιο σύστημα τοποθετείται στον φλοιό του εγκεφάλου για χαρτογράφηση της επιληψίας, ώστε να διαπιστωθεί πού ακριβώς στον εγκέφαλο εξελίσσεται το επιληπτικό φαινόμενο, αλλά και για να τροποποιηθεί αυτή η περιοχή και να ελεγχθεί το επιληπτικό φαινόμενο.

Χρόνιος πόνος: Για να βιώσει κάποιος πόνο, πρέπει να εξελιχθεί μια ηλεκτροφυσιολογική διαδικασία που ξεκινά, για παράδειγμα, από το χέρι (όπως μετά από μια φλεγμονή ή ένα τραύμα) και ακολουθεί την οδό μέσω του νωτιαίου μυελού για να φτάσει τελικά στον εγκέφαλο. Στα χρόνια επώδυνα σύνδρομα υπάρχουν ασθενείς στους οποίους δεν μπορούμε να βρούμε προφανή αιτία για τον πόνο τους, όπως δηλαδή μια αρθρική βλάβη στην περιφέρεια του σώματος. Είναι γνωστό ότι στη νευρική οδό, από την περιφέρεια προς τον

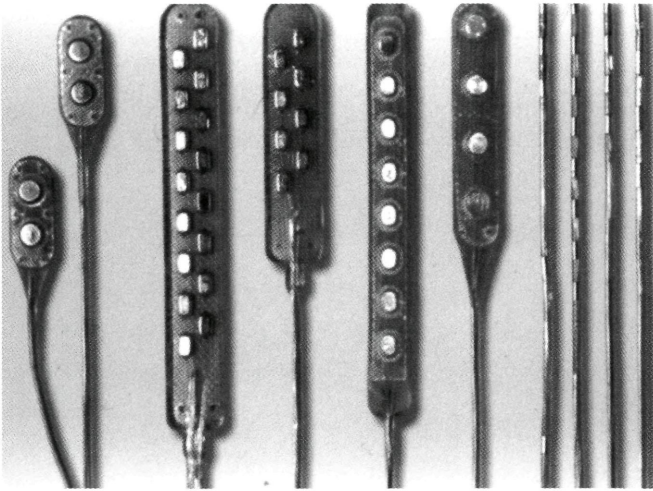
εγκέφαλο, στον νωπιαίο μυελό, υπάρχει ένα είδος «πύλης του πόνου». Εκεί εισέρχονται πολλές ίνες μεταξύ των οποίων και οι ίνες που μεταφέρουν προς τον εγκέφαλο το μήνυμα του πόνου. Με την άσκηση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στην περιοχή της «πύλης του πόνου» του νωπιαίου μυελού μπορεί να παρεμποδιστεί η ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσα στις ίνες του πόνου κι έτσι, ο ασθενής να μην βιώνει τον πόνο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με ένα σύστημα που ονομάζεται διεγέρτης του νωπιαίου μυελού. Αυτό το σύστημα συμπεριλαμβάνει την γεννήτρια ενέργειας (μπαταρία), το λογισμικό και τα ηλεκτρόδια που πρέπει να τοποθετηθούν σε συγκεκριμένα σημεία, ανάλογα με το πού εκδηλώνεται ο πόνος στο σώμα (εικόνες 5-7). Είναι μια επέμβαση που βελτιώνει τον χρόνιο πόνο σε πολλά άτομα.



**Εικόνα 5.**

Σύστημα επισκληρίδιου διεγέρτη νωπιαίου μυελού.





**Εικόνα 6.**  
Ηλεκτρόδια  
για επισκληρίδιο  
διέγερση νωτιαίου  
μυελού.



**Εικόνα 7.**  
Διεγέρτης και  
ρυθμιστής  
επισκληριδίων  
ηλεκτροδίων  
νωτιαίου μυελού.

Ο πόνος είναι μια εμπειρία που βιώνεται στον εγκέφαλο. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η τεχνική δεν επαρκεί και τότε πρέπει να επέμβουμε στον εγκέφαλο στον φλοιό ή σε βαθύτερες δομές του. Μια κατάσταση που ανταποκρίνεται πάρα πολύ καλά σε ερεθισμό του φλοιού του εγκεφάλου είναι η πολύ βαριά και ανθεκτική σε κάθε άλλη θεραπεία, νευραλγία του τριδύμου. Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτές οι μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως σε ασθενείς που πάσχουν από πολύ έντονο χρόνιο πόνο, σε βαθμό που ενίοτε έχουν αυτοκτονικές ιδέες. Υπάρχουν σημεία στον εγκέφαλο από τα οποία μπορείς με ηλεκτρόδια να ενεργοποιήσεις το σύστημα των ενδορφινών, των φυσιολογικών μορφινών, ώστε να μειωθεί σημαντικά ο πόνος σε βαθμό που να γίνει ανεκτός.

Νευρογενείς διαταραχές σπλάχνων: Οι νευρογενείς διαταραχές σπλάχνων είναι μια ιδιαίτερη κατηγορία. Υπάρχουν καταστάσεις στις οποίες κάποιος, μετά από τραυματισμό στον νωτιαίο μυελό, έχει χάσει τον έλεγχο της ούρησης ή του εντέρου κι έχει ακράτεια ούρων ή/και κοπράνων. Για πολλά από αυτά τα άτομα, τα οποία είναι ανάπηρα, η καθήλωση στην αναπηρική καρέκλα είναι ανεκπύ, αλλά η ακράτεια ούρων ή/και κοπράνων είναι δύσκολο να αντιμετωπιστεί στην καθημερινότητά τους. Σε αρκετές περιπτώσεις, με εμφυτευόμενα συστήματα λειτουργικής νευροπροσθετικής, κάποιοι ασθενείς μπορούν να ανακτήσουν πολύ καλό έλεγχο της ούρησης και του εντέρου. Στη νευροπαθητική κύστη, η οποία οφείλεται σε βλάβες του νωτιαίου μυελού, το σύστημα εμφυτεύεται στα ιερά νεύρα και στις ιερές ρίζες. Κάτω από το δέρμα τοποθετείται μια συσκευή-δέκτης, η οποία ρυθμίζεται και ενεργοποιείται πάνω από το δέρμα. Ο ασθενής μπορεί να πιέσει ένα κουμπί και να ουρήσει κατά βούληση. Στην πολύ βαριά στηθάγχη, όπως σε κάποιες περιπτώσεις πασχόντων οι οποίοι δεν ανταποκρίνονται σε φάρμακα, μπορούν να βοηθηθούν με ένα σύστημα διέγερσης του νωτιαίου μυελού, ανάλογο με αυτό που χρησιμοποιείται για τον χρόνιο πόνο. Επίσης, μετά από βλάβη του νωτιαίου μυελού, όταν υπάρχει μεγάλη διαταραχή στην αναπνευστική λειτουργία μπορεί να τοποθετηθεί διεγέρτης στο φρενικό νεύρο, ανάλογος με αυτόν που χρησιμοποιείται για τον χρόνιο πόνο, και να επιτευχθεί καλύτερος έλεγχος της αναπνοής.

Τετραπληγία: Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για την τεχνολογία η οποία θα προορίζεται πλήρως για τετραπληγικά άτομα. Στην Αμερική, έχουν γίνει 500 περίπου επεμβάσεις σε άτομα που δεν κινούν κανένα μέλος, συνήθως μετά από βλάβη ψηλά στον αυχένα: εμφυτεύονται ηλεκτρόδια στο άνω άκρο. Στο δεξιό άνω άκρο, κάτω από το δέρμα, τοποθετείται ένα λογισμικό σύστημα ελέγχου των ηλεκτροδίων (σύστημα ελέγχου). Ο ασθενής μπορεί να κάνει μικρές κινήσεις του αριστερού ώμου, που προσλαμβάνονται από έναν εξωτερικό δέκτη και ενισχύονται σε μια συσκευή εξωτερικά και μεταβιβάζονται στο σύστημα ελέγχου του δεξιού άνω άκρου. Έτσι, το ενισχυμένο σήμα μετατρέπει μικρές κινήσεις του αριστερού ώμου σε επαρκείς κινήσεις του δεξιού χεριού για να επιτελέσει ο πάσχων αυτόνομα απλές καθημερινές λειτουργίες.

Ακουστικά εμφυτεύματα: Ένα σημαντικό πεδίο είναι τα ακουστικά εμφυτεύματα. Πρόκειται για μεγάλο επίτευγμα, αφού με αυτά στάθηκε δυνατόν να κωδικοποιηθεί ο ήχος του περιβάλλοντος με μορφή ηλεκτρικού σήματος ώστε αυτό να ενεργεί στον νευρικό ιστό και να αναπαράγει το βίωμα του ήχου του περιβάλλοντος για τον άνθρωπο.

Οπτικά εμφυτεύματα: Υπάρχει ερευνητική εργασία σε πειραματόζωα η οποία στοχεύει στο ενδεχόμενο ενεργοποίησης του οπτικού φλοιού με ενίσχυση του οπτικού σήματος που λαμβάνεται από μια μίνι κάμερα. Υπάρχει επίσης, σε εξέλιξη, ένα άλλο σύστημα με τοποθέτηση εμφυτευμάτων στον αμφιβληστροειδή.

Ψυχικές παθήσεις: Σήμερα είναι γνωστό ότι το συναίσθημα, η μνήμη και η συνείδηση έχουν βιολογικό υπόστρωμα και ότι κάθε μορφή εμπειρίας, ακόμη και οι ψυχικές διαταραχές, έχουν βιολογική βάση. Χάρη σε εργασία επιστημόνων στον Καναδά, το δίκτυο που συντηρεί το συναίσθημά μας καθώς και το πάσχον σημείο σε αυτό το δίκτυο όταν ένας ασθενής έχει βαριά κατάθλιψη έχει προσδιοριστεί, εδώ και 15 χρόνια με αρκετή ακρίβεια. Η «μετωπο-κογκική» περιοχή βρίσκεται πάνω από τους οφθαλμικούς κόγχους και δέχεται πληροφορίες από τον υπόλοιπο εγκέφαλο. Με τη μετωπιαία περιοχή υλοποιούμε τους στόχους μας, ανάλογα με τη συναισθηματική φόρτιση, που δίνει σε αυτούς το μεταίχμακό σύστημά μας. Σε πρόσφατες μελέτες, που έγιναν σε εθελοντές, έχει βρεθεί, με τομογραφία ποζιτρονίων, ότι όταν τους ανακοινώνονται θλιβερές ιστορίες ή τους προκαλείται ένα βίωμα που γεννά θλίψη, ενεργοποιούνται συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου. Στη συνέχεια, αυτή η ενεργοποίηση ακολουθεί μια τοξοειδή πορεία κι έρχεται προς τον θάλαμο και τον υποθάλαμο για να περάσει προς το σώμα και να σωματοποιηθεί η κατάθλιψη, δηλαδή να προκληθούν ανορεξία, αϋπνίες, απώλεια σεξουαλικής διάθεσης στον πάσχοντα. Συγκεκριμένα σημεία του εγκεφάλου (24 και 25) λειτουργούν ως διακόπτες οι οποίοι είτε ευοδώνουν την εκδήλωση της κατάθλιψης ή την αναστέλλουν. Όταν το σημείο 25 είναι υπερενεργό υπάρχει κατάθλιψη, ενώ όταν γίνει λιγότερο ενεργό, ενεργοποιούνται οι περιοχές των μετωπιαίων λοβών κι ο ασθενής είναι καλύτερα, ανταποκρίνεται στα φάρμακα και βγαίνει από το στάδιο της κατάθλιψης.

Ανάγνωση σκέψης από τον εγκεφαλικό φλοιό: Με ειδικά εμφυτεύματα στον κινητικό φλοιό του εγκεφάλου έχει γίνει δυνατόν να αναγνωριστεί το ηλεκτρικό σήμα που αντιστοιχεί στην πρόθεση ή την επιθυμία ενός τετραπληγικού να πράξει κάτι, για παράδειγμα να κινήσει το χέρι του. Έχει γίνει η πρώτη επέμβαση σε άνθρωπο και με εμφυτευμένο σύστημα ανάγνωσης στάθηκε δυνατόν να μεταφερθεί η επιθυμία του ασθενή σε ρομποτικό χέρι ή σε υπολογιστή και να εκτελεστεί η επιθυμητή από τον ασθενή ενέργεια. Αυτή η εργασία έχει δημοσιευτεί στο έγκυρο περιοδικό Nature.