



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

*Επισκληρίδιος ηλεκτρική διέγερση του Νωτιαίου Μυελού για την
βελτίωση του πόνου και των αποτελεσμάτων της αποκατάστασης σε
ασθενείς με Κάκωση Νωτιαίου Μυελού*

Πλιάτσικα Χριστίνα
Εργοθεραπεύτρια

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

«ΝΕΥΡΟΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ»
ΛΑΡΙΣΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2023

«Βεβαιώνω ότι η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα δικής μου δουλειάς και δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής. Στις δημοσιευμένες και μη δημοσιευμένες πηγές έχω χρησιμοποιήσει εισαγωγικά και όπου απαιτείται έχω παραθέσει τις πηγές τους στο τμήμα της βιβλιογραφίας:

Υπογραφή:

Πλιάτσικα Χριστίνα

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Ιατρικής, 2023

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΑ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Επιβλέπων:

ΕΥΘΥΜΙΟΣ Γ. ΔΑΡΔΙΩΤΗΣ

ΝΕΥΡΟΛΟΓΟΣ, ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΥΓΕΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Δαρδιώτης Ευθύμιος, Αναπλ. Καθηγητής Νευρολογίας ΠΘ

2. Σγάντζος Μάρκος, Αναπλ. Καθηγητής Ανατομίας- Ιστορίας της Ιατρικής Π.Θ

3. Πατεράκης Κωνσταντίνος, Αναπλ. Καθηγητής Νευροχειρουργικής Π.Θ.

Αναπληρωματικό μέλος:

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ:

Epidural Electrical Stimulation for Improving Pain and Rehabilitation Outcomes in Patients With Spinal Cord Injury

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω για την επίτευξη αυτής της διπλωματικής εργασίας, την οικογένεια μου και το φιλικό μου περιβάλλον, οι οποίοι είναι έμπρακτα δίπλα μου σε κάθε εγχείρημα μου, δίνοντας μου δύναμη, υπενθυμίζοντας μου τους στόχους μου και επιδεικνύοντας άπλετη κατανόηση. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή κ. Δαρδιώτη για την έμπνευση και την καθοδήγηση την οποία μου παρείχε, αλλά και όλους τους καθηγητές του μεταπτυχιακού για τις γνώσεις τις οποίες απλόχερα μοιράστηκαν μαζί μας, δίνοντας μας την ευκαιρία να εξελιχθούμε σαν επαγγελματίες υγείας και σαν άνθρωποι.

Περίληψη

Ένας μακροχρόνιος στόχος ερευνών για την κάκωση νωτιαίου μυελού (KNM), σχετίζεται με την ανάπτυξη μορφών αποκατάστασης, οι οποίες θα μπορούνε να επαναφέρουν τις χαμένες λειτουργίες των ατόμων, σε επίπεδα κοντά στο φυσιολογικά. Η πρόοδος στην κλινική αντιμετώπιση της KNM, έχει οδηγήσει σε σημαντική βελτίωση του προσδόκιμου ζωής των ασθενών και της ποιότητας ζωής τους. Επίσης, πλήθος μελετών σχετικά με τις αλλαγές τις οποίες συμβαίνουν στον νωτιαίο μυελό μετά από μια κάκωση, οδήγησαν στην ανάπτυξη φαρμακευτικών και άλλων παρεμβάσεων. Παρά τις προσπάθειες όμως, καμία δε βρέθηκε να δρα θετικά ως προς την λειτουργία των εναπομεινάντων αξόνων των νευρώνων ή/και τη δημιουργία νέων. Έτσι, το ενδιαφέρον στράφηκε σε μια άλλη θεραπευτική προσέγγιση, στην νευροτροποποίηση και συγκεκριμένα στην ηλεκτρική διέγερση νωτιαίου μυελού. Μελέτες επιβεβαιωθούν την ευεργετική δράση της παρέμβασης στην μείωση του πόνου, στην αύξηση της κινητικότητας, στη βελτίωση της λειτουργίας του εντέρου και της ουροδόχου κύστης, στη βελτίωση της σεξουαλικής λειτουργίας, στη βελτίωση της ρύθμισης της θερμοκρασίας, στη μείωση της σπαστικότητας και στη βελτίωση της καρδιαγγειακής λειτουργίας. Η πραγματοποίηση όμως περαιτέρω μελετών, μαζί με βελτιστοποίηση των παραμέτρων της παρέμβασης, είναι σημαντικά για την ακριβή αξιολόγηση των θεραπευτικών δυνατοτήτων της ηλεκτρικής διέγερσης νωτιαίου μυελού.

Εδώ, αρχικά γίνεται αναφορά στο νευρικό σύστημα, στον νωτιαίο μυελό και τις λειτουργίες του, στις κακώσεις νωτιαίου μυελού, μαζί με τον μηχανισμό των βλαβών και την ταξινόμηση τους. Έστερα, αναλύεται η παρέμβαση της ηλεκτρικής διέγερσης νωτιαίου μυελού και τα θετικά της αποτελέσματα.

Τέλος, γίνεται αναφορά στα συμπεράσματα, στους περιορισμούς της παρέμβασης καθώς και στις μελλοντικές προκλήσεις σχετικά με αυτή.

Abstract

A long-term goal of spinal cord injury (SCI) research relates to the development of forms of rehabilitation that can restore individuals' lost functions to near-normal levels. Progress in the clinical response of SCI have led to a significant improvement in patients' life expectancy and quality of life. Also, numerous studies about the changes that occur in the spinal cord after an injury have led to the development of medical and other interventions. Despite many efforts, though, none were found to have a positive effect on the regeneration or/and the restoration of axons in the injured spinal cord. Thus, the interest turned to another therapeutic approach, neuromodification and specifically epidural electrical stimulation. Studies have confirmed the beneficial effect of the intervention in reducing pain, increasing mobility, improving bowel and bladder function, improving sexual function, improving temperature regulation, reducing spasticity and improving cardiovascular operation. However, further studies, along with optimization of the intervention parameters, are important to accurately assess the therapeutic potential of epidural electrical stimulation.

Here, firstly, is mentioned the nervous system, the spinal cord and it's functions, spinal cord injuries, along with the mechanism of injuries and their classification. Then, the intervention of epidural electrical stimulation and it's positive effects are analyzed.

Finally, reference is made to the conclusions, the limitations of the intervention as well as the future challenges related to it.

Key words : spinal cord injury, epidural electrical stimulation

Πίνακας Περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Νευρικό σύστημα	9
1.1.1 Εισαγωγή	9
1.1.2 Οργάνωση και ανάπτυξη	9
1.1.3 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα	10
1.1.4 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα	12
1.2 Νωτιαίος μυελός	12
1.2.1 Εισαγωγή	12
1.2.2 Τοπογραφία - Ανατομία	13
1.2.3 Εσωτερική δομή	14
1.2.4 Νωτιαία νεύρα	15
1.2.5 Αιμάτωση	16
1.2.6 Ανιούσα - κατιούσα οδός και η συμβολή τους	17
1.2.6.1 Κινητική οδός	17
1.2.6.2 Αισθητική οδός	18
1.2.6.3 Αντανακλαστικά	19
1.3 Κάκωση νωτιαίου μυελού	20
1.3.1 Ορισμός	20
1.3.2 Επιδημιολογικά στοιχεία	20
1.3.3 Μηχανισμός κάκωσης	21
1.3.4 Νευρολογική εξέταση και ταξινόμηση	22
1.3.4.1 Νευρολογική εξέταση	22
1.3.4.2 Ταξινόμηση βλάβης	23
1.3.5 Αναμενόμενη λειτουργικότητα ανάλογα με το επίπεδο της κάκωσης ή της βλάβης του νωτιαίου μυελού	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΣΚΛΗΡΙΔΙΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ	28
2.1 Εισαγωγή	28
2.2 Μέθοδοι τοποθέτησης των ηλεκτροδίων	29

2.3 Μηχανισμός δράσης της παρέμβασης	30
2.3.1 Γενικά στοιχεία	30
2.3.2 CPGs pattern	31
2.3.3 Θεωρία της πύλης του πόνου	33
2.4 Αποτελεσματικότητα της παρέμβασης σε άτομα με KNM	34
2.4.1 Αποτελεσματικότητα στη μείωση του πόνου	34
2.4.2 Αποτελεσματικότητα αναφορικά με την κινητικότητα	36
2.4.3 Αποτελεσματικότητα στη λειτουργία του εντέρου	38
2.4.4 Αποτελεσματικότητα στη λειτουργία της ουροδόχου κύστης	40
2.4.5 Αποτελεσματικότητα στην σεξουαλική λειτουργία	41
2.4.6 Αποτελεσματικότητα στην ρύθμιση της θερμοκρασίας	42
2.4.7 Αποτελεσματικότητα στη μείωση της σπαστικότητας	42
2.4.8 Αποτελεσματικότητα στην καρδιαγγειακή λειτουργία	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΝΟΨΗ	46
3.1 Συμπεράσματα	46
3.2 Περιορισμοί παρέμβασης	48
3.3 Μελλοντικές προκλήσεις	49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Νευρικό σύστημα

1.1.1 Εισαγωγή

Ο ανθρώπινος οργανισμός αποτελείται από επιμέρους συστήματα, προκειμένου να φέρει εις πέρας ποικίλες λειτουργίες για τη διατήρηση της ομοιόστασης και την επιβίωσή του στις διάφορες μεταβαλλόμενες εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες. Τα αναπνευστικό, πεπτικό, καρδιαγγειακό, μυοσκελετικό, ουροποιητικό, ενδοκρινικό, διάφορα υγρά μαζί με τα κυτταρικά τους στοιχεία, μυελός των οστών, αναπαραγωγικό, δέρμα και τέλος νευρικό σύστημα, αποτελούν τα λειτουργικά οργανικά συστήματα, με εντοχιστή το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (Kaplan, 2022).

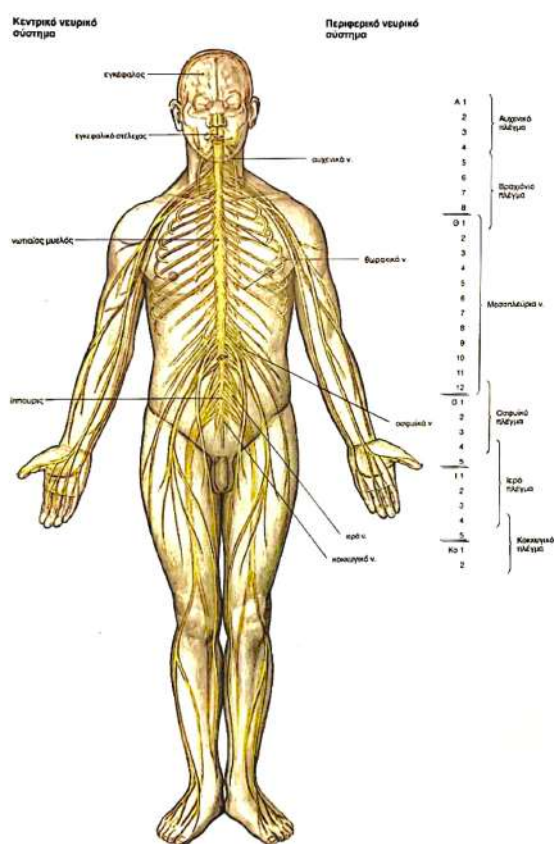
1.1.2 Οργάνωση και ανάπτυξη

Μία από τις λειτουργίες του νευρικού συστήματος (ΝΣ), στο οποίο θα γίνει αναφορά στο παρόν κεφάλαιο, είναι να υποδέχεται αισθητικά ερεθίσματα και να τα μεταφέρει στα εκτελεστικά όργανα, στους μυς και στους αδένες, μέσω εξειδικευμένων κυττάρων, των νευρικών κυττάρων. Αυτό, μαζί με το σύστημα των ενδοκρινών αδένων, ελέγχουν τις λειτουργίες του ανθρώπινου

σώματος. Η ανάπτυξη του, ξεκινά την τρίτη εβδομάδα της εμβρυϊκής ζωής.

Το ΝΣ λοιπόν, υποδιαιρείται σε δύο κύρια μέρη, το Κεντρικό Νευρικό Σύστημα (ΚΝΣ) και το Περιφερικό Νευρικό Σύστημα (ΠΝΣ). Το ΚΝΣ περιλαμβάνει τον εγκέφαλο και τον Νωτιαίο Μυελό (ΝΜ), τα οποία εξορμόνται από τον νευρικό σωλήνα, ενώ το ΠΝΣ περιλαμβάνει τα εγκεφαλικά νεύρα και τα νευρικά γάγγλια τους και τα σπονδυλικά (νωτιαία νεύρα) και τα αντίστοιχα γάγγλιά τους.

Το κεντρικό και περιφερικό νευρικό σύστημα είναι απαραίτητα για την λειτουργία των υπόλοιπων οργάνων του ανθρώπινου σώματος σε ασυνείδητο επίπεδο, όπως τα διάφορα αντανακλαστικά, η συνεχής λειτουργία της καρδιάς, η κίνηση των οφθαλμών, οι κινήσεις



Εικόνα 1. Γενική όψη του κεντρικού και του περιφερικού νευρικού συστήματος (Sobotta, 2010).

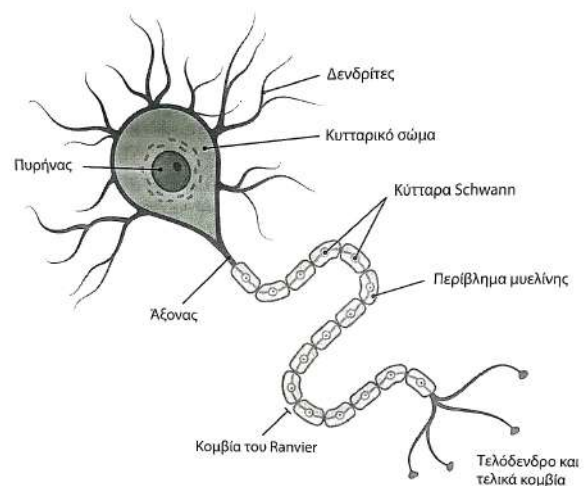
του εντερικού σωλήνα και πολλά άλλα. Το προαναφερθέν γίνεται μέσω της ύπαρξης του αυτόνομου νευρικού συστήματος, το οποίο είναι λειτουργικό μέρος του ΝΣ, και με την σειρά του χωρίζεται σε συμπαθητικό και παρασυμπαθητικό αυτόνομο νευρικό σύστημα. Και τα δυο συστήματα έχουν νευρώνες προγαγγλιακούς (δηλαδή πριν το γάγγλιο) που εδράζουν στο ΚΝΣ και μεταγαγγλιακούς που εδράζουν εντός του γαγγλίου.

Το Παρασυμπαθητικό σύστημα έχει μακριές προγαγγλιονικές ίνες και κοντές μεταγαγγλιονικές σε αντίθεση με το Συμπαθητικό σύστημα που έχει κοντές προγαγγλιονικές και μακριές μεταγαγγλιονικές ίνες. Τα κυτταρικά σώματα των μεταγαγγλιακών αυτόνομων νευρών προκύπτουν από την νευρική ακρολοφία, σε αντίθεση με τα προγαγγλιονικά αυτόνομα νεύρα που προέρχονται από τον νευρικό σωλήνα. Οι λειτουργίες του αυτόνομου συστήματος θα μπορούσαν να περιγραφούν με τους όρους της φυσιολογίας ως “ανάπαυση” για το παρασυμπαθητικό και “μάχη ή φυγή” για το συμπαθητικό.

Απαραίτητη κρίνεται και η αναφορά στην συσχέτιση μεταξύ ΝΣ και επινεφριδίων, καθώς εκτεταμένες μελέτες της εμβρυολογίας έχουν επιδείξει ότι τα χρωματόφιλα κύτταρα των προαναφερθέντων μεταναστεύουν από την νευρική ακρολοφία για τον σχηματισμό του μεταγαγγλιονικού συμπαθητικού συστήματος (Kaplan, 2022; Snell, 2010).

1.1.3 Κεντρικό Νευρικό Σύστημα

Στο ΚΝΣ πραγματοποιείται η διαπλοκή, η συσχέτιση και η ολοκλήρωση των νευρικών πληροφοριών. Αυτό, αποτελείται από πολύ μεγάλο αριθμό διεγερμένων νευρικών κυττάρων, τους νευρώνες. Οι νευρώνες, κύτταρα εξειδικευμένα να δέχονται, να συστηματοποιούν και να μεταδίδουν μία πληροφορία, αποτελούνται από ένα σώμα και από τις αποφυάδες. Οι μακρές αποφυάδες των νευρώνων ονομάζονται άξονες ή νευρικές ίνες και κάθε σώμα έχει μόνο έναν από αυτούς. Οι νευρώνες, περιβάλλονται και στηρίζονται με νευρογλοία, η οποία αποτελείται από μη διεγέρσιμα κύτταρα, τα οποία αποτελούν το 1/2 του ΚΝΣ (Snell, 2010; Βενετίκου, 2016).



Εικόνα 2. Στοιχεία ενός τυπικού νευρώνα (Snell, 2010).

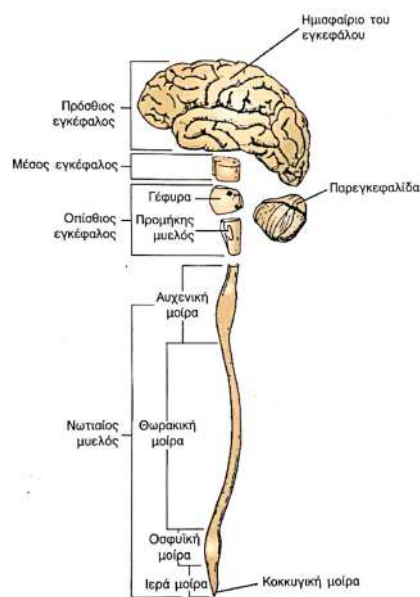
Τα κυρία κέντρα του ΚΝΣ είναι ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός. Το ΚΝΣ εσωτερικά είναι οργανωμένο σε φαιά και λευκή ουσία. Ο εγκέφαλος και ο νωτιαίος μυελός, όντας στοιχεία του

ΚΝΣ, διαθέτουν φαιά και λευκή ουσία μόνο που στον νωτιαίο μυελό η λευκή ουσία βρίσκεται εξωτερικά της φαιάς, ενώ στον εγκέφαλο συμβαίνει το αντίθετο. Μία άλλη ανατομική ομοιότητα μεταξύ των δύο δομών είναι η ύπαρξη 3 μηνιγγών γύρω τους, της σκληράς, της αραχνοειδούς και της χοριοειδούς οι οποίες μαζί με το εγκεφαλονωτιαίο υγρό προσφέρουν προστασία σε αυτές τις δομές (Snell, 2010; Βενετίκου, 2016).

Ο ΝΜ προστατεύεται από σπονδύλους, συνδέσμους, μυς, μήνιγγες και εγκεφαλονωτιαίο υγρό. Οι μήνιγγες του είναι 3 : η σκληρά, η οποία αποτελείται μόνο από μηνιγγικές στοιβάδες, η αραχνοειδής, η οποία καλύπτει χαλαρά το νωτιαίο μυελό και συνδέεται με τη σκληρά μήνιγγα με δοκίδες συνδετικού ιστού και η χοριοειδής, η οποία προβάλλει στην κοιλιακή σχισμή του νωτιαίου μυελού. Το εγκεφαλονωτιαίο υγρό βρίσκεται στον υπαραχνοειδή χώρο και περιβάλλει το νωτιαίο μυελό (Moore et al., 2016; Snell, 2010; Μπάκας, 2016).

Ο εγκέφαλος βρίσκεται μέσα στο κύτος του κρανίου και συνεχίζεται στο νωτιαίο μυελό μέσω του ινιακού τρήματος. Περιβάλλεται, όπως έχει ήδη αναφερθεί από 3 μήνιγγες (σκληρά, αραχνοειδής και χοριοειδής), οι οποίες μέσω του ινιακού τρήματος συνεχίζονται στις αντίστοιχες μήνιγγες του ΝΜ (Snell, 2010).

Η πιο αντιπροσωπευτική διαίρεση του εγκεφάλου είναι η εμβρυολογική. Σύμφωνα με αυτή, ο εγκέφαλος διαιρείται σε 5 μοίρες : τον τελικό, το διάμεσο, το μέσο, τον οπίσθιο και τον έσχατο εγκέφαλο. Ο τελικός εγκέφαλος αποτελείται από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, τους πυρήνες και τις πλάγιες κοιλίες. Τα εγκεφαλικά ημισφαίρια διαιρούνται στο νεοχιτώνιο (μετωπιαίος λοβός, βρεγματικός, κροταφικό, ινιακός και νήσος του Reil) και τον ρινικό εγκέφαλο. Ο διάμεσος εγκέφαλος αποτελείται από τον υποθάλαμο, τους 2 θαλάμους, τον μεταθάλαμο, τον επιθάλαμο και την τρίτη κοιλία. Ο μέσος εγκέφαλος αποτελείται από το τετράδυμο πέταλο, τα εγκεφαλικά σκέλη και τον υδραγωγό του εγκεφάλου. Ο οπίσθιος εγκέφαλος αποτελείται από τη γέφυρα, την παρεγκεφαλίδα και το τμήμα της τέταρτης κοιλίας. Τέλος, ο έσχατος εγκέφαλος αποτελείται από τον προμήκη μυελό και το υπόλοιπο τμήμα της τέταρτης κοιλίας (Moore et al., 2016).

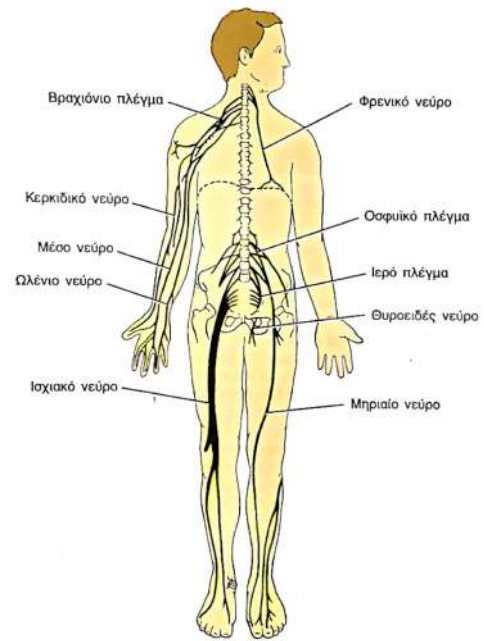


Εικόνα 3. Τα κύρια μέρη του κεντρικού νευρικού συστήματος (Snell, 2010).

1.1.4 Περιφερικό Νευρικό Σύστημα

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το ΠΝΣ περιλαμβάνει τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία νεύρα και τα αντίστοιχα νευρικά τους γάγγλια.

Όσον αφορά τα εγκεφαλικά και τα νωτιαία νεύρα, αυτά προέρχονται από νευρώνες που δημιουργούν νευράξονες, που με τη σειρά τους προκύπτουν από το νευρικό σωλήνα ή τη νευρική ακρολοφία, αποτελούνται από δέσμες νευρικών ινών ή αξόνων και άγουν τις πληροφορίες από και προς το ΚΝΣ (Kaplan, 2022; Snell, 2010). Υπάρχουν 12 ζεύγη ή συζυγίες εγκεφαλικών νεύρων, οι οποίες εκπορεύονται και αναδύονται από τον εγκέφαλο και εξέρχονται από τα τρήματα του κρανίου, και 31 ζεύγη νωτιαίων νεύρων, τα οποία εκπορεύονται και αναδύονται από το ΝΜ και εξέρχονται από τα μεσοσπονδύλια τρήματα της σπονδυλικής στήλης (ΣΣ) (Snell, 2016).



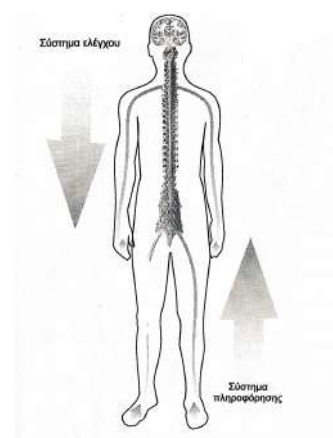
Εικόνα 4. Τα μέρη του περιφερικού νευρικού συστήματος (έχουν παραλειφθεί τα εγκεφαλικά νεύρα) (Snell, 2016).

Αναφορικά με τα γάγγλια, αυτά αποτελούν ογκόμορφες δομές του περιφερικού νευρικού συστήματος που περιέχουν κυτταρικά σώματα (νευρώνες). Τα γάγγλια διακρίνονται σε αισθητικά γάγγλια των νωτιαίων και των εγκεφαλικών νεύρων και σε γάγγλια του αυτόνομου συστήματος. Τα αισθητικά γάγγλια είναι ατρακτοειδής παχύνσεις της οπίσθιας ρίζας κάθε νωτιαίου νεύρου και ονομάζονται και γάγγλια της οπίσθιας ρίζας, ενώ τα γάγγλια του αυτόνομου συστήματος, έχοντας ανώμαλο σχήμα, βρίσκονται κατά την πορεία των απαγωγών νευρικών ινών του αυτόνομου νευρικού συστήματος (Kaplan, 2022; Snell, 2010).

1.2 Νωτιαίος μυελός

1.2.1 Εισαγωγή

Ο νωτιαίος μυελός, όπως προαναφέρθηκε αποτελεί τμήμα του κεντρικού νευρικού συστήματος (Sheerin, 2004). Είναι ένας ζωτικής σημασίας σύνδεσμος μεταξύ του εγκεφάλου και του σώματος και χρησιμεύει ως αγωγός για πληροφορίες οι οποίες ταξιδεύουν μεταξύ του εγκεφάλου και της περιφέρειας (Cho,

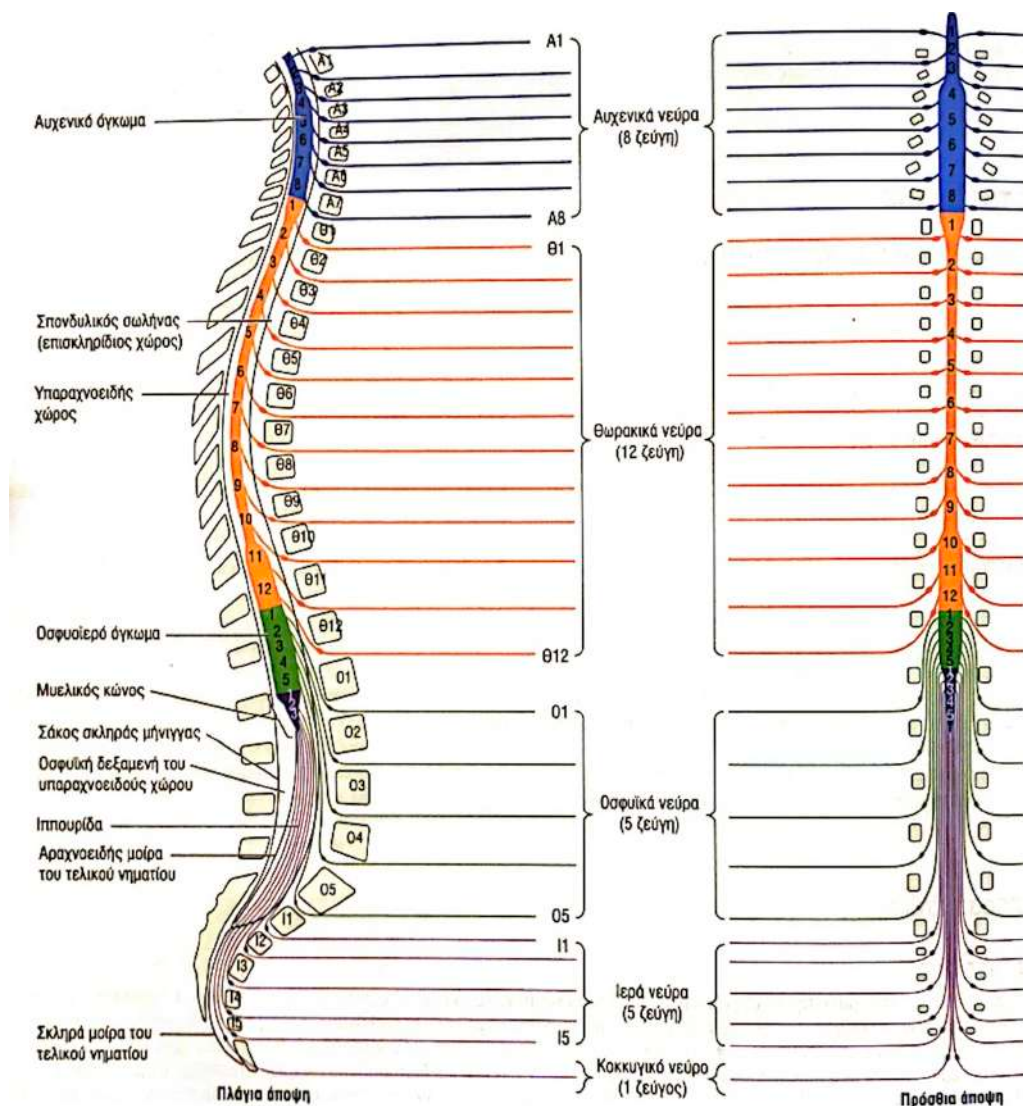


Εικόνα 5. Ο νωτιαίος μυελός στο ανθρώπινο σώμα (Μπάκας, 2012)

2015; Nachum, 2020). Είναι μια επιμήκης κυλινδρική δομή, η οποία προστατεύεται από την σπονδυλική στήλη, αποτελώντας το σημαντικότερο όργανο για τη διατήρηση της κινητικής και αισθητικής λειτουργίας του σώματος. Έχει δύο βασικές λειτουργίες : μεταφέρει ολοκληρωμένες και καλά συντονισμένες κινητικές και τονικές πληροφορίες και δέχεται αισθητικές πληροφορίες από σωματικούς και σπλαχνικούς υποδοχείς. Θεωρείται ένα όργανο που επιτελεί έναν καθαρά συντονιστικό αλλά και ταυτόχρονα εκτελεστικό ρόλο (Sheerin, 2004; Μπάκας, 2012).

1.2.2 Τοπογραφία - Ανατομία

Ο ΝΜ, μία κυλινδρική δομή ελαφρώς επιπεδομένη μπροστά και πίσω, βρίσκεται στο κέντρο του σπονδυλικού σωλήνα. Προς τα άνω αρχίζει προς το μείζον ινιακό τρήμα του κρανίου, όπου συνεχίζεται στον προμήκη μυελό του εγκεφάλου και προς τα κάτω τελειώνει στους ενήλικες στο επίπεδο του Ο1 ή Ο2 σπονδύλου. Έχει μήκος 42-45 εκατοστά και καταλαμβάνει τα ανώτερα 2/3 του σπονδυλικού σωλήνα. Ο χώρος ο οποίος εκτείνεται από το ουριαίο άκρο του νωτιαίου



Εικόνα 6. Νωτιαίος μυελός σε πλάγια και πρόσθια όψη (Μπάκας, 2012).

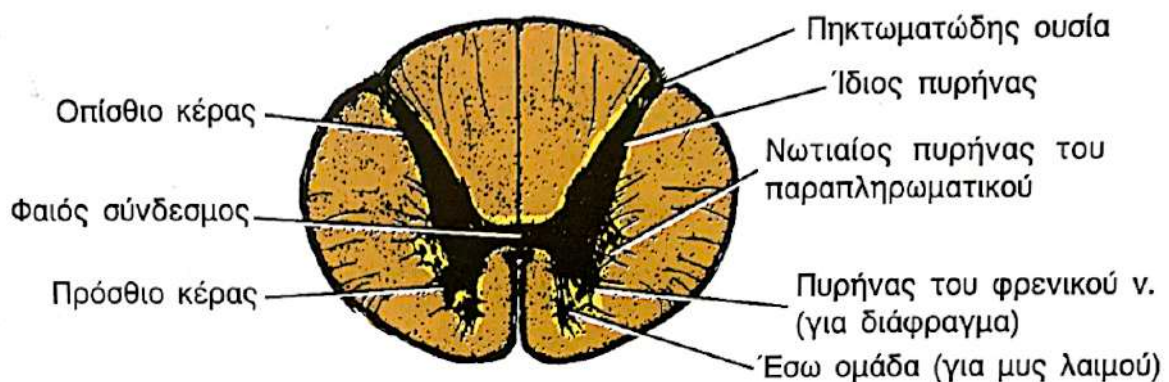
μυελού, από τον δεύτερο οσφυϊκό μέχρι τον δεύτερο ιερό σπόνδυλο χαρακτηρίζεται ως χοληφόρος δεξαμενή (lumbar cistern). Στο ουραίο άκρο του, ο ΝΜ αποκτά κωνικό σχήμα, σχηματίζοντας τον μυελικό κώνο, από το επίπεδο του οποίου εκτείνεται το τελικό νημάτιο, το οποίο εγκλωβίζεται στην αραχνοειδή μήνιγγα, περιβάλλεται εσωτερικά του ΝΜ από τον κοκκυγικό σύνδεσμο και καταφύεται στο κόκκυγα προκειμένου να καθηλώσει τον ΝΜ. Από το τελικό νημάτιο εκφύεται μία δέσμη νευρικών ριζών η οποία ονομάζεται ιππούριδα (Moore et al., 2015; Snell, 2010).

Υπάρχουν μεγεθύνσεις σε 2 περιοχές του ΝΜ, στην αυχενική και στην οσφυϊοιερά μοίρα του, σχηματίζοντας το αυχενικό και το οσφυϊκό όγκωμα αντίστοιχα. Το αυχενικό όγκωμα εκτείνεται από το Α4 μέχρι το Θ1 νευροτόμιο του ΝΜ και το οσφυϊοιερό εκτείνεται από το Θ11 έως το Ι1 νευροτόμιο του ΝΜ, κάτω από το οποίο βρίσκεται ο μυελικός κώνος (Snell, 2010; Βενετίκου, 2016; Μπάκας, 2012).

Τέλος, ο ΝΜ έχει 31 «τμήματα», ονομαζόμενα μυελοτόμια (Snell, 2010).

1.2.3 Εσωτερική δομή

Σε μία εγκάρσια διατομή του νωτιαίου μυελού βλέπουμε λευκή ουσία στην περιφέρεια, φαιά ουσία σε σχήμα “Η” ή “πεταλούδας” και ένα μικροσκοπικό κεντρικό κανάλι στο κέντρο του, τον κεντρικό νευρικό σωλήνα, ο οποίος περιβάλλεται από νευρογλοιακά κύτταρα και είναι γεμάτος



Εικόνα 7. Εγκάρσια διατομή του νωτιαίου μυελού στο τρίτο αυχενικό μυελοτόμιο (Snell, 2010).

με εγκεφαλονωτιαίο υγρό (Cho, 2015; Sheerin, 2004). Η φαιά ουσία, αποτελείται από δυο πλάγιες μάζες οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με τον φαιό σύνδεσμο. Κάθε πλάγια μάζα υποδιαιρείται σε πρόσθιο (σχετίζεται με κινητικές ίνες) και οπίσθιο κέρας (σχετίζεται με αισθητικές ίνες) (Cho, 2015; Snell, 2010).

1.2.4 Νωτιαία νεύρα

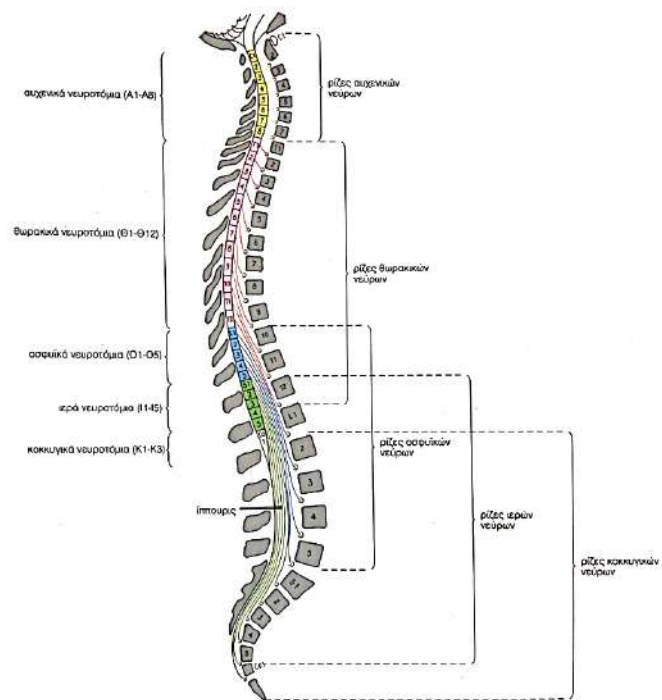
Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, τα νωτιαία νεύρα είναι μέρος του ΠΝΣ, αποτελούνται από δέσμες νευρικών ινών ή αξόνων και άγουν τις πληροφορίες από και προς το ΚΝΣ.

Καθένα από τα νωτιαία νεύρα, σχηματίζεται από την ένωση των οπισθίων και πρόσθιων κινητικών νευρικών ριζών, οι οποίες χορηγούνται από το αντίστοιχο νευροτόμιο, έχοντας πολύ μικρό μήκος τελικά, περίπου 1 εκατοστό (Μπάκας, 2012). Οι πρόσθιες ρίζες, οι οποίες αποτελούνται από δεσμίδες νευρικών ινών οι οποίες απάγουν νευρικές ώσεις από το ΚΝΣ, ονομάζονται απαγωγοί ή

φυγόκεντρες ίνες. Οι απαγωγοί ίνες οι οποίες διανέμονται στους σκελετικούς μυς και τους διεγείρουν προς συστολή, ονομάζονται κινητικές ίνες. Προέρχονται από τα νευρικά κύτταρα του πρόσθιου κέρατος της φαιάς ουσίας του ΝΜ, τα οποία αποτελούν τον εκφυτικό πυρήνα κάθε νωτιαίου νεύρου. Η οπίσθια ρίζα αποτελείται από δεσμίδες νευρικών ινών οι οποίες άγουν πληροφορίες προς το ΚΝΣ

σχετικές με την αφή, πίεση,

άλγος, θερμοκρασία, και παλλαισθησία. Τα κυτταρικά σώματα από τα οποία προέρχονται, βρίσκονται σε μία πάχυνση της οπίσθιας ρίζας, η οποία καλείται νωτιαίο γάγγλιο ή γάγγλιο της οπίσθιας ρίζας και αποτελεί τον εκφυτικό αισθητικό πυρήνα κάθε νωτιαίου νεύρου. Η πρόσθια και η οπίσθια ρίζα συγκλίνουν στη σκληρά μήνιγγα του ΝΜ και στη συνέχεια εισέρχονται στο μεσοσπονδύλιο τμήμα, σχηματίζοντας το νωτιαίο νεύρο το οποίο είναι μικτό. Στη συνέχεια χωρίζονται και πάλι σε δύο κλάδους, τον πρόσθιο, ο οποίος οδεύει προς τα εμπρός και διανέμεται στο δέρμα και τους μυς των άνω και κάτω άκρων, και τον οπίσθιο κλάδο, ο οποίος οδεύει προς τα πίσω, γύρω από τη σπονδυλική στήλη και διανέμεται στους μυς και το δέρμα της ραχιαίας επιφάνειας του κορμού (Moore et al., 2016; Snell, 2010).



Εικόνα 8. Νευροτόμια (μυελοτομία) του νωτιαίου μυελού (Sobotta, 2010).

Τα νωτιαία νεύρα, ονομάζονται σύμφωνα με τις μοίρες της σπονδυλικής στήλης, στο ύψος των οποίων είχαν αντιστοιχία κατά την εμβρυϊκή ζωή. Έτσι, έχουμε 8 ζεύγη αυχενικών (Α1 – Α8), 12 θωρακικών (Θ1 – Θ12), 5 οσφυϊκών (Ο1 – Ο5), 5 ιερών (Ι1 -Ι5) και 1 κοκκυγικών νεύρων. Στην αυχενική περιοχή του ΝΜ, τα νεύρα εξέρχονται ακριβώς κεφαλικά από τον αντίστοιχο σπόνδυλο, ενώ στη θωρακική, οσφυϊκή και ιερά περιοχή του νωτιαίου μυελού εξέρχονται ακριβώς ουραία του σπονδύλου με το ίδιο όνομα. Αυτό συμβαίνει επειδή, οι αυχενικές ρίζες είναι 8, ενώ οι αυχενικοί σπόνδυλοι είναι 7 (Moore et al., 2016; Μπάκας, 2012).

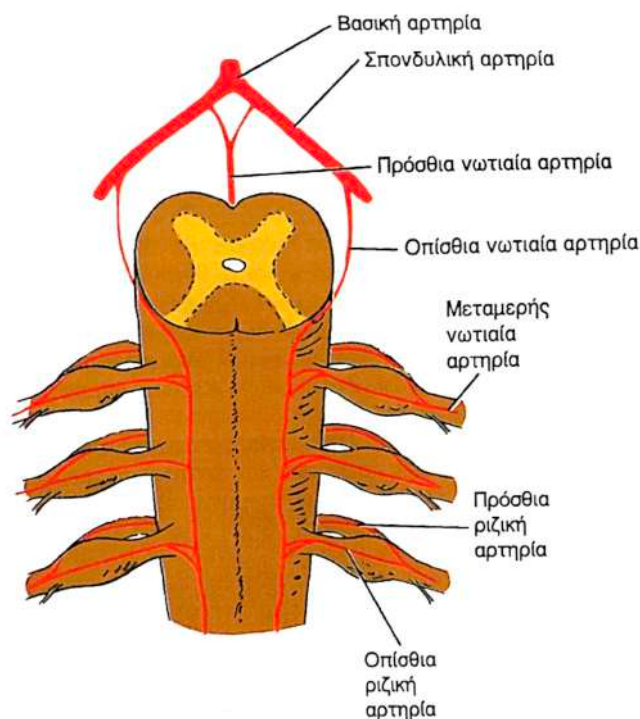
1.2.5 Αιμάτωση

Τα συστήματα παροχής και παροχέτευσης του αίματος είναι περίπλοκα, τόσο αρχιτεκτονικά όσο και λειτουργικά, με ιδιαίτερη κλινική σημασία. Η αιμάτωση του νωτιαίου μυελού γίνεται μέσω αρτηριών και φλεβών (Bosmia, 2013).

Η αρτηριακή αιμάτωση του ΝΜ πραγματοποιείται από 3 λεπτές αρτηρίες : την πρόσθια νωτιαία και τις δύο οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες, οι οποίες πορεύονται από τον προμήκη μέχρι τον μυελικό κώνο. Οι πρόσθιες νωτιαίες

αρτηρίες, σχηματίζονται με τη συνένωση δυο αρτηριών, οι οποίες εκφύονται από την σπονδυλική αρτηρία, πορεύονται προς τα κάτω μέσα στην πρόσθια μέση σχισμή και κλάδοι της εισέρχονται και διανέμονται στα δύο πρόσθια τριτημόρια του ΝΜ. Οι οπίσθιες νωτιαίες αρτηρίες εκφύονται είτε από τη σπονδυλική είτε από την παρεγκεφαλιδική αρτηρία, διανέμονται στο οπίσθιο τριτημόριο του ΝΜ και κατέρχονται από την οπίσθια επιφάνεια του ΝΜ, χορηγώντας κλάδους οι οποίοι εισέρχονται σε αυτόν. Οι πρόσθιες και οι οπίσθιες αρτηρίες

ενισχύονται από τις μεταμερείς αρτηρίες (κλάδοι αρτηριών εκτός σπονδυλικού σωλήνα), οι οποίες εισερχόμενες στο σπονδυλικό σωλήνα μέσω των μεσοσπονδύλιων τρημάτων, αποσχίζονται σε πρόσθια και οπίσθια ριζική (ή τμηματική) αρτηρία, ακολουθώντας την αντίστοιχη ρίζα του ΝΜ μέχρι τον μυελικό κλώνο. Η μεγαλύτερη και πιο σημαντική ριζική



Εικόνα 9. Αρτηριακή αιμάτωση νωτιαίου μυελού (Snell, 2010).

αρτηρία είναι η μείζων πρόσθια ριζική αρτηρία του ΝΜ ή αρτηρία του Adamkiewicz, η οποία ενισχύει την κυκλοφορία των 2/3 του ΝΜ (Bosmia, 2013; Moore et al., 2016; Snell, 2010).

Οι φλέβες του νωτιαίου μυελού, όντας 6 ελικοειδώς πορευόμενες, έχουν κατανομή παρόμοια με των αρτηριών και διακρίνονται σε 3 πρόσθιες και 3 οπίσθιες νωτιαίες φλέβες. Εκβάλλουν συνήθως στο σπονδυλικό φλεβώδες πλέγμα και βοηθούν κυρίως στην απαγωγή του αίματος από τον νωτιαίο μυελό (Moore et al., 2016; Snell, 2010).

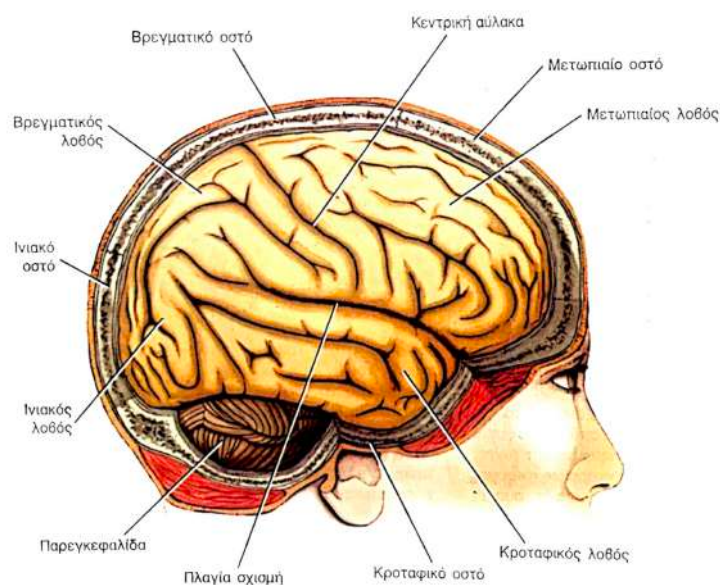
1.2.6 Ανιούσα - κατιούσα οδός και η συμβολή τους

1.2.6.1 Κινητική οδός

Δύο είναι ο κινητικοί νευρώνες οι οποίοι συνεργάζονται σε ένα κλειστό κύκλωμα για την εκτέλεση της εκούσιας συστολής ενός μυός ή μίας ομάδας μυών, δημιουργώντας την κινητική οδό ή αλλιώς την κατιούσα οδό. Αυτοί είναι ο κατώτερος κινητικός νευρώνας και ο ανώτερος κινητικός νευρώνας.

Ας ξεκινήσουμε από την πιο εύκολα προσδιοριζόμενη ανατομική δομή, τον κατώτερο κινητικό νευρώνα, ο οποίος βρίσκεται στα πρόσθια κέρατα του ΝΜ. Οι άξονες αυτών των νευρώνων εξέρχονται από τις σπονδυλικές ρίζες και στη συνέχεια κατευθύνονται προς τον μυ, κομβικό σημείο με τον οποίο είναι η τελική νευρομυϊκή πλάκα. Ο ανώτερος κινητικός νευρώνας, έχει το κινητικό του σώμα στον φλοιό του εγκεφάλου.

Πρώτου προχωρήσουμε παρακάτω ας κάνουμε μία αδρή αναφορά στους λοβούς του εγκεφάλου.



Εικόνα 10. Πλάγια όψη εγκεφάλου στο κρανίο (Snell, 2010).

Ο κύριος κινητικός

φλοιός ο οποίος

βρίσκεται στην προκινητική αύλακα του μετωπιαίου λοβού, σε συνεργασία με την προκινητική περιοχή δίνουν γένεση στο 60% των ινών που θα σχηματίσουν την κατιούσα κινητική οδό της κίνησης (αρχικώς φλοιονωτιαία και στη συνέχεια πλάγια φλοιονωτιαία οδός). Το ερώτημα που εύλογα γεννάται είναι “τι συμβαίνει” με το υπόλοιπο 40% των ινών ;

Απάντηση στο προαναφερθέν ερώτημα δίνει η πρωτεύουσα και η δευτερεύουσα σωματοαισθητική φλοιϊκή περιοχή ,οι οποίες εντοπίζονται στον βρεγματικό λοβό και αποτελούν το εναρκτήριο σημείο του υπόλοιπου ποσοστού (40%).

Αφού λοιπόν ξεκινήσουν από τον φλοιό αυτές οι ίνες θα χρησιμοποιήσουν σαν έξοδο την έσω κάψα και στη συνέχεια θα αρχίσουν να κατέρχονται προς το ύψος του εγκεφαλικού στελέχους, όπου θα χιαστούν, με τις αντίστοιχες φλοιονωτιαίες οι οποίες κατέρχονται από το αντίθετο ημισφαίριο.

Το εγκεφαλικό στέλεχος, αποτελείται από τον μεσεγκέφαλο , τη γέφυρα και τον προμήκη. Απ’ότι φαίνεται σε διάφορες ανατομικές δομές το 80%-90% των φλοιονωτιαίων ινών διασταυρώνονται στην περιοχή χιασμού των πυραμίδων και συνεχίζουν κατερχόμενες ως πλάγια φλοιονωτιαία οδός. Καθώς η προαναφερθείσα οδός κατέρχεται, άξονες αφήνουν την οδό και εισχωρούν στην φαιά ουσία του ΝΜ, όπου και θα δημιουργήσουν συνάψεις με τον κατώτερο κινητικό νευρώνα (Kaplan, 2022).

1.2.6.2 Αισθητική οδός

Η αισθητική οδός, ή αλλιώς ανιούσα οδός, έχει ως λειτουργία τη μεταφορά πληροφοριών από την περιφέρεια στο ΚΝΣ και πιο συγκεκριμένα στον φλοιό για την κατανόηση του περιβάλλοντος και την αντίληψη κάποιων αισθήσεων.

Το προαναφερθέν σύστημα αποτελείται από δύο μονοπάτια, αυτό της ραχιαίας στήλης (το σύστημα του έσω λημνίσκου) και αυτό της προσθιοπλάγιας (ή αλλιώς σπονδυλοθαλαμιαίας). Το πρώτο μονοπάτι έχει ως βασικές διεκπεραιωτικές λειτουργίες την αίσθηση της διακριτικής αφής, την αντίληψη των άκρων στο χώρο, των δονήσεων και της πίεσης, ενώ το δεύτερο εστιάζεται στην αίσθηση του πόνου και της θερμοκρασίας (θερμό-ψυχρό).

Τρεις είναι οι νευρώνες που αναλαμβάνουν να φέρουν εις πέρας τα μονοπάτια αυτά, με τον πρώτο να βρίσκεται στα γάγγλια των οπίσθιων ριζών, τον δεύτερο να είναι αυτός που διασχίζει προς το αντίθετο άκρο του ΝΜ ή του εγκεφαλικού στελέχους και τον τρίτο να βρίσκεται στον πλάγιο ή κοιλιακό οπισθοπλάγιο πυρήνα που επεκτείνει τις ίνες του προς τον κύριο σωματοαισθητικό φλοιό (Kaplan, 2022).

1.2.6.3 Αντανακλαστικά

Η αναφορά και η κατανόηση της λειτουργίας των αντανακλαστικών στο ανθρώπινο σώμα, αποτελεί θεμελιώδους σημασίας για την κατανόηση της κλινικής σημειολογίας των βλαβών της ΣΣ και του ΝΜ.

Ένα αντανακλαστικό αρχίζει μετά από την πυροδότηση ενός αισθητικού νευρώνα, ο οποίος με την σειρά του προκαλεί μια κινητική ανταπόκριση. Όσον αφορά τα αντανακλαστικά των σκελετικών μυών, η αισθητική πυροδότηση ξεκινά από τους αισθητικούς υποδοχείς μέσα στους μύες, με αποτέλεσμα την κινητική ανταπόκριση, που μπορεί να είναι η σύσπαση ή η χαλάρωση ενός ή περισσότερων μυών.

Στην διεκπεραίωση ενός αντανακλαστικού, λαμβάνουν χώρα γεγονότα τα οποία εμπλέκουν και τον ανώτερο και τον κατώτερο κινητικό νευρώνα. Οι δύο κατώτεροι κινητικοί νευρώνες που μεσολαβούν σε ένα αντανακλαστικό είναι ο α και ο γ κινητικός νευρώνας. Ένας α κινητικός νευρώνας εδράζει στα πρόσθια κέρατα του ΝΜ (αρχή του περιφερικού συστήματος). Από τα πρόσθια κέρατα του ΝΜ επεκτείνει άξονες οι οποίοι δημιουργούν την βασική κινητική μονάδα μαζί με τον μυ και την τελική πλάκα.

Οι γ κινητικοί νευρώνες δημιουργούν νευρικές ίνες με απώτερο σκοπό την σύνθεση των μυϊκών ατράκτων. Οι μυϊκές άτρακτοι αποτελούν ένα σύστημα ενδοκαπικών ινών που στέλνει πληροφορίες μέσω των Ια ινών στον εγκέφαλο και τον α κινητικό νευρώνα σχετικά με το μήκος ενός μυ. Θα μπορούσαμε επομένως να θεωρήσουμε απόλυτα λογικό η μεγάλη αύξηση ενός μυός να στέλνει ώσεις διαμέσου των Ια στους α κινητικούς νευρώνες για να αναγκάσουν τον μυ να συσπαστεί, ώστε να μην συνεχίσει να στρεσάρεται και κοπεί.

Πέραν όμως των μυϊκών ατράκτων, υπάρχουν και τα τενόντια όργανα Golgi, τα οποία έχουν ως κύρια λειτουργία την αποστολή πληροφοριών προς τον εγκέφαλο και τους α κινητικούς νευρώνες σχετικά με τη δύναμη και την τάση σε έναν μυ. Σε αυτή την περίπτωση, τα GTOs (τενόντια όργανα) στέλνουν ανασταλτικά σήματα στους αγωνιστές μυς για να σταματήσουν τη σύσπαση καθώς ο μυς κινδυνεύει να τραυματιστεί.

Ο ανώτερος κινητικός νευρώνας είναι υπεύθυνος για την λειτουργία τόσο του γ κινητικού νευρώνα όσο και για την τροποποίηση της ευαισθησίας στις μεταβολές της τάσης επί του μυός (Kaplan, 2022).

1.3 Κάκωση νωτιαίου μυελού

1.3.1 Ορισμός

Η Κάκωση Νωτιαίου Μυελού (KNM) είναι μια πολύπλοκη κατάσταση, που διαταράσσει την ζωή του ατόμου. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο οργανισμό υγείας (ΠΟΥ), ως Κάκωση του Νωτιαίου Μυελού ορίζεται η βλάβη στον νωτιαίο μυελό (συμπεριλαμβανομένου του μυελικού κώνου και της ιππουρίδας), η οποία προκαλεί προσωρινές ή μόνιμες αλλαγές στην λειτουργία του (Bickenbach, 2013).

Οι βλάβες του νωτιαίου μυελού διακρίνονται σε τραυματικές και μη τραυματικές. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται σύμφωνα με το εκλυτικό αίτιο. Στην περίπτωση των τραυματικών βλαβών, αυτό είναι οποιαδήποτε βλάβη προκύψει από σοβαρό τραυματικό αίτιο, όπως τροχαίο, βία, ενώ στην περίπτωση των μη τραυματικών βλαβών, το εκλυτικό αίτιο είναι συνήθως κάποια υποκείμενη παθολογία, όπως λοιμώδη νοσήματα, όγκοι και μυοσκελετικές παθήσεις (Bickenbach, 2013).

1.3.2 Επιδημιολογικά στοιχεία

Μόλις από τις αρχές του 1980, έχει αρχίσει η καταγραφή των νέων KNM σε πληθυσμιακή βάση, οδηγώντας σε σωστή αξιολόγηση των στοιχείων, για ακριβή αξιολόγηση της πραγματικότητας και σκιαγράφησης του επιδημιολογικού προφίλ του προβλήματος της KNM (Μπάκας, 2012).

Ξεκινώντας από την επίπτωση ή τη συχνότητα εμφάνισης νέων περιστατικών την νόσου, στις ΗΠΑ, ο συντελεστής επίπτωσης της KNM είναι 40 νέες περιπτώσεις ανά 1.000.000 πληθυσμού ή 10.000 νέες περιπτώσεις ετησίως, με τη συνολική επίπτωση της νόσου να παραμένει σταθερή από το 1980 και μετά. Σε χώρες όπως το Ταϊβάν, η Δανία, η Ισπανία, η Τουρκία, οι Κάτω χώρες, η Ιορδανία και η Πορτογαλία, τα περιστατικά δε ξεπερνούν τα 20 ανά 1.000.000 πληθυσμού. Στην Ελλάδα, εφόσον δεν υπάρχει κανένα σταθερό σύστημα καταγραφής, υπολογίζεται άτυπα ότι η επίπτωση της KNM είναι 18 με 22 νέα περιστατικά ανά 1.000.000 πληθυσμού, δηλαδή 200 με 240 περίπου νέα περιστατικά ετησίως (Μπάκας, 2012).

Συνεχίζοντας με τον επιπολασμό, τον συνολικό αριθμό των ατόμων που παρουσιάζουν μια καθορισμένη χρονική στιγμή ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό, στις ΗΠΑ έρευνες που πραγματοποιήθηκαν το 1988 εκτιμήθηκε ότι υπήρχαν 721 περιστατικά ανά 1.000.000 πληθυσμό και συνολικά 176.965 άτομα και σήμερα εκτιμάται ότι είναι μεταξύ 249.000 και 363.000 ατόμων, ενώ στον Καναδά βρέθηκαν 2.525 περιστατικά ανά 1.000.0000 πληθυσμού, ή 85.000 άτομα. Στην Ελλάδα, σε μία έρευνα του ΚΑΤ και σε συνεργασία με τον Πανελλήνιο Σύλλογο Παραπληγικών (ΠΑΣΠΑ) και τον Πανελλήνιο Σύλλογο Παραπληγικών και Κινητικά Αναπήρων

(ΠΑΣΥΠΚΑ), εκτιμάται ότι ο συνολικός αριθμός των ατόμων με KNM ή συναφή αναπηρία είναι περίπου 6.000 (Chen, 2013; Μπάκας, 2012).

Η πλειοψηφία των ατόμων με KNM, σύμφωνα με τα επιδημιολογικά στοιχεία της κλινικής Φυσικής Ιατρικής και Αποκατάστασης (Φ.Ι.Απ.) του νοσοκομείου ΚΑΤ, είναι ηλικίας 33.22_+9,24 έτη, με τα περισσότερα άτομα να βρίσκονται στη δεκαετία των 20 με 30 σε ποσοστό 31% και αναφορικά με το φύλο, υπάρχει επικράτηση των ανδρών με μία σχέση ανδρών/γυναικών 3,71:1, με τη σχέση αυτή να παραμένει σταθερή χωρίς κάποια σαφή αιτιολόγηση της υπερίσχυσης των ανδρών. Όσον αφορά την εθνικότητα, στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια υπάρχει επικράτηση στην KNM των οικονομικών μεταναστών, χωρίς να μπορεί να δοθεί μία ερμηνεία σε αυτό (Μπάκας, 2012).

Τέλος, θα μιλήσουμε για την αιτιολογία της κάκωσης. Με βάση τα δεδομένα των ΗΠΑ, το πιο σημαντικό αίτιο είναι τα τροχαία ατυχήματα, ακολουθούν οι πτώσεις από ύψος, ο τραυματισμός από πυροβόλο όπλο, οι καταδύσεις, τα ατυχήματα από μοτοποδήλατο, η πτώση βαρέως αντικειμένου, η KNM ως αποτέλεσμα ιατρικής ή χειρουργικής επιπλοκής. Σημαντική θέση στην αιτιολογία της KNM έχουν και οι διάφορες ψυχαγωγικές και αθλητικές δραστηριότητες, με τις καταδύσεις να αποτελούν το 57,1% όλων αυτών. Στην Ελλάδα, η συχνότερη αιτία KNM είναι τα τροχαία ατυχήματα σε ποσοστό 55,2 %, τα ατυχήματα όπως πτώση από ύψος είναι υπεύθυνα σε ποσοστό 19,6% για τις παραπληγίες και 43,7 στις τετραπληγίες, οι κακώσεις βίας, όπως από πυροβόλο όπλο ή μαχαίρι προκαλούν παραπληγία σε ποσοστό 75%. Τα τροχαία είναι η κύρια αιτία κάκωσης σε υλικές κάτω των 45 ετών, ενώ οι πτώσεις είναι η κύρια αιτία σε ηλικίες 46-60 ετών (Chen, 2013; Μπάκας, 2012).

1.3.3 Μηχανισμός κάκωσης

Στην κάκωση νωτιαίου μυελού λαμβάνουν μέρος δύο παθολογικοί μηχανισμοί, οι οποίοι προδικάζουν το τελικό αποτέλεσμα συμπεριλαμβανομένου της κυτταρικής καταστροφής και της κλινικής εικόνας. Αυτοί είναι ο μηχανισμός της πρωτογενούς κάκωσης, ο οποίος είναι μία παθητική διαδικασία μηχανικής αιτιολογίας με ρήξη των νευραξόνων και αφορά τη στιγμή του αρχικού τραυματισμού και ο μηχανισμός της δευτερογενούς κάκωσης, ο οποίος είναι ένας ενεργητικός αυτοκαταστροφικός μηχανισμός και εξελίσσεται στο χρόνο.

Η πρωτογενής κάκωση είναι το αίτιο για τη δημιουργία μορφολογικών μεταβολών του ΝΜ, βιομηχανικών διαταραχών στο μικροπεριβάλλον του ΝΜ και επιπτώσεων όλων αυτών στον κυτταρικό μεταβολισμό. Τα πρώτα αποτελέσματα φαίνονται εντός 15 λεπτών μετά την κάκωση και είναι η θλάση της φαιάς ουσίας και το οίδημα της λευκής ουσίας στο επίπεδο της βλάβης, ενώ μετά τις 4 ώρες είναι ορατή η ρήξη του μυελικού ελύτρου, η εκφύλιση του νευράξονος και

η παρουσία ισχαιμικών ενδοθηλιακών βλαβών. Η εξέλιξη όλων αυτών οδηγεί εντός 24ώρου στην εμφάνιση θρόμβωσης των μικροαιμορραγιών με δημιουργία επιμήκους νεκρωτικής ζώνης, αγγειογενούς οιδήματος, αξονότμησης και απομυελίνωσης στην περιοχή της βλάβης. Επίσης συμβαίνει μία σειρά από βιοχημικές διαταραχές, κυρίως ηλεκτρολυτών και ενζύμων.

Επακόλουθο της πρωτογενούς κάκωσης είναι η δευτερογενής. Υπάρχουν πολυάριθμοι μηχανισμοί οι οποίοι εμπλέκονται στη δευτερογενή φάση και αυτοί είναι : η ισχαιμία, η διαρροή ιόντων ασβεστίου, το οίδημα, η φλεγμονώδης αντίδραση, ο σχηματισμός ελεύθερων ριζών, και η απελευθέρωση αγγειοκινητικών ή νευροτοξικών ουσιών. Σε αυτή τη φάση, 1-4 εβδομάδες μετά την κάκωση δημιουργείται στο σημείο της βλάβης μία γλοιώδης ουλή, η οποία εμποδίζει την ανάπτυξη νευραξόνων και προάγει τον σχηματισμό μικρών κύστεων οι οποίες συνενώνονται δημιουργώντας ένα συρίγγιο, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τη νευρική λειτουργία. Ο δευτερογενής μηχανισμός μπορεί να χωριστεί σε οξεία, υποξεία και χρόνια φάση (Σάπκας, 2010).

1.3.4 Νευρολογική εξέταση και ταξινόμηση

1.3.4.1 Νευρολογική εξέταση

Η νευρολογική εξέταση ενός ασθενούς με KNM, έχει δυο βασικούς άξονες, την εκτίμηση της κινητικότητας και την εκτίμηση της αισθητικότητας. Αυτοί, μας δίνουν τη δυνατότητα καθορισμού του κινητικού και αισθητικού νευρολογικού επιπέδου, τη δημιουργία κινητικού και αισθητικού αριθμητικού δείκτη, τον καθορισμό βαρύτητας της βλάβης και την ταξινόμηση της βλάβης.

Επίπεδο	Μυϊκή ομάδα
A5	Καμπτήρες του αγκώνα
A6	Εκτείνοντας του καρπού
A7	Εκτείνοντας του αγκώνα
A8	Καμπτήρες των δακτύλων
Θ1	Απαγωγός του μικρού δακτύλου
O2	Καμπτήρες του ισχίου
O3	Εκτείνοντες του γόνατος
O4	Ραχιαίοι καμπτήρες της ποδοκνημικής
O5	Εκτείνοντες τους δάκτυλους
I1	Πελματιαίοι καμπτήρες της ποδοκνημικής

Πίνακας 1. Μύες κλειδιά ανά επίπεδο (Μπάκας, 2012).

Η εκτίμηση της αισθητικότητας γίνεται μέσω 28 δερμοτομιών-κλειδιών, τα οποία ελέγχονται για νυγμώδη και αδρή αίσθηση και στις δυο πλευρές του σώματος. Και για τον νυγμό αλλά και για την ελαφρά αίσθηση χρησιμοποιείται μία κλίμακα τριών βαθμών, από 0 μέχρι 2 (με δύο βαθμολογείται η φυσιολογική αίσθηση). Για τον νυγμό χρησιμοποιείται βελόνα, ενώ για την ελαφρά αίσθηση βαμβάκι. Εξαιρετικά σημαντικός είναι και ο έλεγχος του I4-I5 δερμοτομίου, αφού αντιπροσωπεύει το ουραίο τμήμα του ιερού ΝΜ. Γι' αυτό, ελέγχεται η βαθύτερη πρωκτική αισθητικότητα με δακτυλική εξέταση, δίνοντας μας πληροφορίες για τα επίπεδα αισθητικότητας του ορθού και του δακτυλίου.

Η εκτίμηση της κινητικότητας (και της αισθητικότητας) γίνεται μέσω της κλίμακας ASIA(θα γίνει αναφορά στο επόμενο κεφάλαιο), με τον έλεγχο 10 “μυών-κλειδιών”. Για καθένα από αυτούς τους μύες αναφέρεται μια νευρική ρίζα, από την οποία λαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της νεύρωσής του. Η εκτίμηση γίνεται αμέσως μετά τον τραυματισμό, με συχνές επαναξιολογήσεις αρχικά, οι οποίες όσο περνάνε οι μήνες ελαττώνονται. Εδώ, χρησιμοποιείται κλίμακα 6 βαθμών, από το 0 μέχρι το 5, με το 5 να σημαίνει φυσιολογική κίνηση της άρθρωσης. Εξετάζεται και πάλι η ενεργητική σύσπαση του πρωκτού, με δακτυλική εξέταση, όπου εκτιμάται η αίσθηση σύσφιξης του δακτυλίου μέσω της ενεργητικής σύσπασης του έξω σφιγκτήρα του πρωκτού (Μπάκας, 2012; Σάπκας, 2010).

1.3.4.2 Ταξινόμηση βλάβης

Οι βλάβες του ΝΜ μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το χρόνο και το μηχανισμό της βλάβης, με βάση το επίπεδο της κάκωσης και με βάση την αισθητικοκινητική λειτουργία.

Ταξινόμηση με βάση το χρόνο και το μηχανισμό της κάκωσης

Οι ΚΝΜ με βάση τον χρόνο χωρίζονται σε οξείες και χρόνιες, ενώ με βάση το μηχανισμό της βλάβης σε πρωτοπαθείς και δευτεροπαθείς. Οι δύο αυτές ταξινομήσεις αλληλοεπικαλύπτονται, καθώς η πρωτοπαθής και η δευτεροπαθής βλάβη έχουν οξεία και χρόνια φάση.

Η αρχική μεταφορά κινητικής ενέργειας στο ΝΜ, η οποία προκαλεί τη διακοπή νευραξόνων, τη ρήξη των αγγείων και τη βλάβη των νευρικών κυττάρων ονομάζεται πρωτοπαθής βλάβη. Την πρώτη ώρα μετά τη κάκωση η φαιά ουσία παρουσιάζει αιμορραγία και νέκρωση, ενώ τις επόμενες 7 ώρες υπάρχει οίδημα και αιμορραγία της λευκής ουσίας. Το σύνολο αυτό των 8 ωρών αποτελεί την οξεία φάση.

Λόγω της αιμορραγίας, του οιδήματος και της μειωμένης αρτηριακής πίεσης, υπάρχει μειωμένη αιματική ροή στην περιοχή της βλάβης, η οποία οδηγεί σε ισχαιμία. Αυτή είναι η δευτεροπαθής βλάβη. Η ισχαιμία που δημιουργείται στην οξεία φάση πυροδοτεί μια αλυσίδα βιοχημικών αντιδράσεων με τελικό αποτέλεσμα τη ρήξη της κυτταρικής μεμβράνης και το θάνατο φυσιολογικών νευρικών κυττάρων.

Σειρά έχει η χρόνια φάση, κατά τη οποία τα φλεγμονώδη κύτταρα μεταναστεύουν στην περιοχή της βλάβης όπου παράγουν νευρογλοία (Σάπκας, 2010).

Ταξινόμηση με βάση το επίπεδο της κάκωσης

Η ταξινόμηση αυτή φαίνεται να είναι η πιο απλή και γίνεται σύμφωνα με την ακτινολογική εξέταση. Το επίπεδο της βλάβης καθορίζεται σύμφωνα με τον σπόνδυλο ή τους παρακείμενους σπονδύλους με την μεγαλύτερη καταστροφή (Τσαγκουριάς).

Ταξινόμηση με βάση την αισθητικοκινητική λειτουργία

Ως νευρολογικό επίπεδο της κάκωσης χαρακτηρίζεται το πλέον ουραίο επίπεδο στο οποίο παραμένουν άθικτες τόσο η αισθητικότητα όσο και η κινητικότητα στις δυο πλευρές του σώματος. Το κινητικό επίπεδο της βλάβης ορίζεται ως η χαμηλότερη μυϊκή ομάδα που αξιολογείται τουλάχιστον με 3 στα 5 (στην εξαβάθμια κλίμακα που αναφέραμε προηγουμένως), με την προϋπόθεση ότι οι μύες οι οποίοι νευρώνονται από το αμέσως επόμενο νευροτόμιο αξιολογούνται με 5/5.

ASIA A	Πλήρης: Δεν διατηρείται καμία κινητική ή αισθητηριακή λειτουργία στον σπονδύλους της ιερής μοίρας
ASIA B	Ατελής: Διατηρείται μόνο η αισθητηριακή λειτουργία κάτω από το νευρολογικό επίπεδο της βλάβης συμπεριλαμβανομένης της ιερής μοίρας
ASIA C	Ατελής: Η κινητική λειτουργία διατηρείται κάτω από το επίπεδο της βλάβης, περισσότεροι από τους μισούς βασικούς μύες κάτω από το νευρολογικό επίπεδο βαθμολογούνται κάτω του 3
ASIA D	Ατελής: Η κινητική λειτουργία διατηρείται κάτω από το επίπεδο της βλάβης, τουλάχιστον οι μισοί από τους βασικούς μύες βαθμολογούνται με 3 περισσότερο
ASIA E	Κανονική: Ανεπηρέαστη κινητική και αισθητηριακή λειτουργία

Πίνακας 2. Κλίμακα προσδιορισμού της βλάβης σύμφωνα με την ASIA (Μπάκας, 2012).

Η Αμερικάνικη Ένωση Σπονδυλικών Κακώσεων (American Spinal Injury Association – ASIA) ανέπτυξε την εξέταση The International Standards for Neurological Classification of

Ας μιλήσουμε και για άλλους δυο μεγάλης κλινικής σημασίας όρους, την παραπληγία και την τετραπληγία. Ως τετραπληγία καθορίστηκε ο περιορισμός ή απώλεια της κινητικής ή/και αισθητικής λειτουργίας στα αυχενικά μυελοτόμια του νωτιαίου μυελού λόγω βλάβης των νευρικών του δομών μέσα στο σπονδυλικό σωλήνα, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της λειτουργίας των χεριών, του κορμού, των ποδιών και των πυελικών οργάνων. Η παραπληγία

Εικόνα 11. Φύλλο καταγραφής νευρολογικής εικόνας ασθενούς με ΚΝΜ, σύμφωνα με την ASIA (American spinal injury association).

25

θωρακικά, οσφυϊκά και ιερά μυελοτόμια του ΝΜ, ως αποτέλεσμα βλάβης ή κάκωσης των νευρικών στοιχείων μέσα στον σπονδυλικό σωλήνα, με αποτέλεσμα τη διαφύλαξη της λειτουργικότητας των άνω άκρων, αλλά ανάλογα με το επίπεδο της βλάβης μπορεί να επηρεαστεί η λειτουργία του κορμού, των κάτω άκρων και των οργάνων της πυέλου (Μπάκας, 2012; Τσαγκουριάς).

1.3.5 Αναμενόμενη λειτουργικότητα ανάλογα με το επίπεδο της κάκωσης ή της βλάβης του νωτιαίου μυελού

Σε μία ΚΝΜ, όσο χαμηλότερα στον ΝΜ είναι η βλάβη, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κινητικός δείκτης, το λειτουργικό απόθεμα και η πιθανότητα αυτοεξυπηρέτησης και ανεξαρτησίας. Ανάλογα με το επίπεδο της βλάβης οπότε αναμένεται και η απόδοση συγκεκριμένων μυϊκών ομάδων. Κάθε νευρολογικό επίπεδο βλάβης προσδιορίζει και ένα βασικό επίπεδο λειτουργικότητας. Αυτό φαίνεται πιο καθαρά στα άνω άκρα, όπου οι διαφορές στα αυχενικά μυελοτόμια είναι ιδιαίτερα σημαντικές. Σημαντικό ρόλο στην έκβαση κάθε ασθενούς με ΚΝΜ, παίζει η καθυστέρηση έναρξης του θεραπευτικού προγράμματος, καθώς αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης επιπλοκών. Ας δούμε όμως τι συμβαίνει σε κάθε περίπτωση βλάβης ξεχωριστά.

Ξεκινώντας με τις βλάβες των αυχενικών σπονδύλων, όταν υπάρχει βλάβη :

- Στον τέταρτο αυχενικό επίπεδο Α4, ο ασθενής δε διατηρεί κανένα ενεργητικό έλεγχο στις κινήσεις των χεριών, του κορμού και των κάτω άκρων, ενώ η διαταραχή της αισθητικότητας περιορίζεται στην ευρεία πρόσθια επιφάνεια του αυχένα
- Στον πέμπτο αυχενικό σπόνδυλο Α5, δεν υφίσταται ενεργητικός έλεγχος στους μυς των καρπών και των δακτύλων με την αισθητικότητα να διαφυλάσσεται σε μία ζώνη στην πρόσθια και έξω επιφάνεια του ώμου.
- Στον έκτο αυχενικό σπόνδυλο Α6, ο ασθενής διατηρεί πλήρη ενεργητικό έλεγχο των μυών που ελέγχουν τις κινήσεις του ώμου, ενώ παράλληλα διατηρεί την κάμψη του αγκώνα και την κερκιδική έκταση του καρπού. Η αισθητικότητα διατηρείται μέχρι και τον αντίχειρα, ενώ διαταράσσεται σοβαρά στα υπόλοιπα δάκτυλα.
- Στον έβδομο αυχενικό σπόνδυλο Α7, ο ασθενής έχει ένα τεράστιο λειτουργικό πλεονέκτημα της έκτασης του αγκώνα και της κάμψης-έκτασης των δακτύλων, ενώ η διαφύλαξη της αισθητικότητας του άνω άκρου είναι σημαντική καθώς παραμένει μια νησίδα διαταραχής στην έξω επιφάνεια του καρπού και της παλάμης.
- Στον όγδοο αυχενικό σπόνδυλο Α8, υπάρχει λειτουργία του χεριού, με διαφύλαξη των καμπτήρων των δακτύλων και ιδίως την περιφερικής φάλαγγας του μέσου δακτύλου,

δίνοντας τη δυνατότητα στον ασθενή για πραγματοποίηση λεπτών κινήσεων. Η αισθητικότητα του άκρου θεωρείται αkéραια.

Συνεχίζουμε με τις βλάβες των θωρακικών σπονδύλων, όταν υπάρχει βλάβη :

- Στον πρώτο θωρακικό σπόνδυλο Θ1, ο ασθενής διατηρεί τη φυσιολογική λειτουργικότητα των άνω άκρων, με πολύ καλή σταθεροποίηση του άκρου στο θώρακα, διαφυλάσσοντας πλήρως την αισθητικότητα των χεριών, ενώ στο σώμα καταγράφεται περίπου στη μασχαλιαία γραμμή.
- Στον έκτο θωρακικό σπόνδυλο Θ6, διατηρείται η λειτουργία των άνω μεσοπλευρίων μυών και των μυών που ελέγχουν τις κινήσεις της ανώτερης περιοχής της ράχης, ενώ η αισθητικότητα διαταράσσεται στο επίπεδο της ξιφοειδούς απόφυσης.
- Στον δωδέκατο θωρακικό Θ12, διατηρείται πλήρης έλεγχος των κοιλιακών μυών και των μυών της ράχης, με την αισθητικότητα να διατηρείται σε όλο τον κορμό μέχρι τη βουβωνική γραμμή.

Προχωράμε με τις βλάβες των οσφυϊκών σπονδύλων, όταν υπάρχει βλάβη :

- Στον δεύτερο οσφυϊκό σπόνδυλο Ο2, διατηρείται πλήρως ο έλεγχος των καμπτήρων μυών του ισχίου, με την αισθητικότητα να διατηρείται άθικτη μέχρι την πρόσθια και έξω μέση επιφάνεια του μηρού.
- Στον τρίτο οσφυϊκό σπόνδυλο Ο3, διατηρείται η έκταση του γόνατος και η αισθητικότητα μέχρι την πρόσθια επιφάνεια των γονάτων.
- Στον τέταρτο οσφυϊκό σπόνδυλο Ο4, διατηρείται κάμψη του ισχίου, έκταση του γόνατος, ραχιαία κάμψη της ποδοκνημικής άρθρωσης. Η διαφύλαξη της Ο4 ρίζας εξασφαλίζει την αισθητικότητα της πρόσθιας έσω επιφάνειας της κνήμης.

Τέλος, θα γίνει αναφορά στη βλάβη του πέμπτου οσφυϊκού (Ο5) με πρώτου ιερού σπονδύλου (Ι1) ή όπως αλλιώς λέγεται, ιππουριδική συνδρομή. Όταν υφίσταται η λειτουργία του Ο5 διατηρείται ακέραιος ο εκτείνοντας του μεγάλου δακτύλου, ενώ όταν υφίσταται η λειτουργία του Ι1, διατηρούνται οι πελματιαίοι καμπτήρες. Η διαφύλαξη της Ο5 ρίζας εξασφαλίζει την αισθητικότητα της έξω επιφάνειας της κνήμης μέχρι το μεγάλο δάχτυλο, ενώ αυτή της Ι1 ρίζας, της οπίσθιας επιφάνειας του έξω χείλους μέχρι τους δάκτυλους (Μπάκας, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΕΠΙΣΚΛΗΡΙΔΙΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΝΩΤΙΑΙΟΥ ΜΥΕΛΟΥ

2.1 Εισαγωγή

Η επισκληρίδιος ηλεκτρική διέγερση του ΝΜ, “Epidural Electrical Stimulation” η αγγλική ορολογία (EES) ή “Spinal Cord Stimulation” (SCS), είναι μία μορφή λειτουργικής ηλεκτρικής διέγερσης (FES) (αν και το FES χρησιμοποιεί ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του δέρματος) και θεωρείται επεμβατική μορφή αποκατάστασης. Στη συγκεκριμένη παρέμβαση εμφυτεύονται διαδερμικά ηλεκτρόδια, στη σκληρά μήνιγγα του ΝΜ στην ραχιαία επιφάνεια του, δηλαδή στο χώρο ανάμεσα στην σπονδυλική στήλη και στον ΝΜ, συνήθως στο επίπεδο των οσφυϊκών-ιερών σπονδύλων, μαζί με μια γεννήτρια παλμών. Τα ηλεκτρόδια αυτά στέλνουν ηλεκτρικά σήματα στον ΝΜ και τα χαρακτηριστικά του ρεύματος που χρησιμοποιείται, ένταση, συχνότητα και καθώς και η επιθυμία αποστολής ηλεκτρικού ερεθίσματος ρυθμίζονται μέσω ενός χειριστηρίου ανάλογα με τον σκοπό τον οποίο έχει η παρέμβαση.

Τα θετικά στοιχεία σχετικά με την παρέμβαση, ξεκίνησαν με την θεωρία της πύλης του πόνου των Melzack και Wall το 1965. Έπειτα, το 1967, ο Norman Shealy και ο Thomas Mortimer εισήγαγαν την πρώτη συσκευή ηλεκτρικής διέγερσης ΝΜ σε έναν άνθρωπο ο οποίος έπασχε από μεταστατικό καρκίνο σε τελικό στάδιο.

Οι πιο κοινές ενδείξεις, για τη συγκεκριμένη παρέμβαση, περιλαμβάνουν το σύνδρομο μεταλαμινεκτομής, το σύνδρομο σύνθετου περιφερειακού πόνου, τον ισχαιμικό πόνο στα άκρα και τη στηθάγχη. Άλλες αναφορές έχουν επίσης γίνει σχετικά με τη θεραπεία του δυσεπίλυτου πόνου ο οποίος οφείλεται σε άλλα αίτια, όπως σπλαχνικό και κοιλιακό άλγος, πόνο αυχενικής νευρίτιδας, πόνο τραυματισμού του νωτιαίου μυελού, μεθερπητική νευραλγία και σύνδρομο νευρογενούς θωρακικής εξόδου (Calvert et al., 2019; Falowski et al., 2008; Laskin et al., 2022).

Τα κλινικά αποτελέσματα ωστόσο, δε περιορίζονται μόνο στον πόνο. Υπάρχουν πολλά στοιχεία τα οποία επιβεβαιώνουν την βελτίωση της γενικότερης εικόνας ασθενών με ΚΝΜ, με Πάρκινσον, με Σκλήρυνση κατά πλάκας και άλλες νευρολογικές διαταραχές οι οποίες επιδρούν αρνητικά στα συστήματα ελέγχου.

Μελέτες εδώ και πάνω από 10 χρόνια, αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στην κινητικότητα των άκρων. Με την εφαρμογή της ηλεκτρικής διέγερσης στον ΝΜ, διευκολύνεται ο συντονισμός κινητικών κέντρων επιτυγχάνοντας ένα ευρύ φάσμα κινητικών συμπεριφορών συμπεριλαμβανομένου της βάδισης, της ορθοστάτησης και ακόμα και του τρεξίματος. Ειδικότερα, όταν συνδυάζεται και με άλλες μορφές αποκατάστασης, η

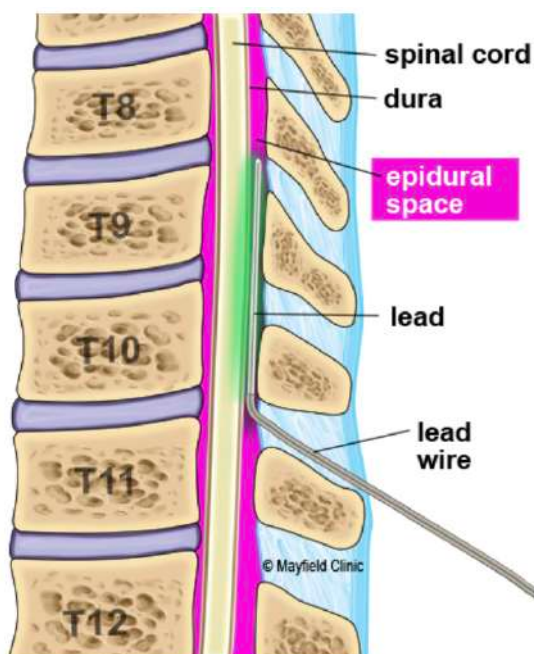
ηλεκτρική διέγερση NM παρέχει μια εκτενή αναδιοργάνωση των εναπομείναντων νευρολογικών μονοπατιών ώστε να επιτευχθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Βελτίωση, έστω και λιγότερη, παρατηρείται ακόμη και σε άκρα με ανεπανόρθωτα χαμένη κινητικότητα λόγω χρόνιας KNM. Σε άτομα με πλήρη KNM, βοηθά στην ρυθμική κινητικότητα των κάτω άκρων αλλά και στην εκούσια κίνηση μυών, ώστε να επιτυγχάνουν μεμονωμένες κινήσεις στα κάτω άκρα (Capogrosso et al, 2013; Formento et al 2018; Hofstoetter et al, 2021).

Άλλες έρευνες έχουν δείξει ότι η παρέμβαση χρησιμοποιείται για την σταθεροποίηση την αρτηριακής πίεσης, την βελτίωση της καρδιαγγειακής λειτουργίας, της λειτουργικότητας της ουροδόχου κύστης, του εντέρου αλλά και της σεξουαλικής λειτουργίας, τη μείωση της σπαστικότητας και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος (Pettigrew, 2017).

Ωστόσο, εκτός από τα θετικά αποτελέσματα, υπήρξαν και αρνητικές συνέπειες αναφορικά με την παρέμβαση, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω (Taccola, 2020).

2.2 Μέθοδοι τοποθέτησης των ηλεκτροδίων

Ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιείται για την επισκληρίδιο ηλεκτρική διέγερση είναι ο εξής : ηλεκτρόδια, γεννήτρια παλμών και ένα καλώδιο το οποίο συνδέει τη γεννήτρια παλμών με τα ηλεκτρόδια. Κάθε γεννήτρια διαθέτει ένα χειριστήριο, το οποίο μας επιτρέπει την αποστολή ηλεκτρικών ερεθισμάτων με τα κατάλληλα ανάλογα με τον σκοπό της παρέμβασης



Εικόνα 13. Ηλεκτρόδια τοποθετημένα μεταξύ ΝΜ και ΣΣ. Στην εικόνα βλέπουμε τον ΝΜ, την σκληρά μήνιγγα του ΝΜ, τον χώρο στον οποίο είναι τοποθετημένα τα ηλεκτρόδια (με μωβ χρώμα), τη σειρά ηλεκτροδίων (με πράσινο χρώμα) και το καλώδιο το οποίο συνδέει τα ηλεκτρόδια με την γεννήτρια (Mayfield Brain & Spine, 2021).



Εικόνα 14. Αξονική τομογραφία σε μόνιμη τοποθέτηση ηλεκτροδίων. Με το μαύρο βελάκι βλέπουμε τα ηλεκτρόδια (16), με τα 3 μαύρα βέλη την γεννήτρια και με το λευκό το καλώδιο σύνδεσης ηλεκτροδίων και γεννήτριας (Zan, 2011).

χαρακτηριστικά. Τα ηλεκτρόδια λοιπόν είναι τοποθετημένα στον χώρο ανάμεσα στην ΣΣ και τον ΝΜ, η γεννήτρια παλμών κάτω από το δέρμα και το χειριστήριο έξω από το σώμα. Σύμφωνα με τους Zan et al., η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων κυμαίνεται μεταξύ των Α3 και Ι2 σπονδύλων, με την πιο κοινή τοποθέτηση να είναι μεταξύ του Θ8 και του Θ11 (Zan, 2011).

Υπάρχουν 3 είδη συσκευών οι οποίες χρησιμοποιούνται :

1. Η συμβατική εμφυτεύσιμη γεννήτρια παλμών. Αυτή, διαθέτοντας χαμηλότερη ισχύ, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις πόνου ή/και κινητικών ελλειμμάτων τα οποία αφορούν τη μία πλευρά του σώματος. Διαθέτει μπαταρία, η αλλαγή της οποίας γίνεται χειρουργικά.
2. Η επαναφορτιζόμενη. Έχει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια συγκριτικά με τη συμβατική και η μπαταρία της μπορεί να επαναφορτιστεί χωρίς χειρουργική επέμβαση.
3. Ο διεγέρτης ραδιοσυχνοτήτων. Διαθέτει μπαταρία επαναφορτιζόμενη και τοποθετημένη έξω από το σώμα.

Ξεκινώντας τη διαδικασία της τοποθέτησης, υπάρχει μια δοκιμαστική περίοδος, η οποία διαρκεί 7-10 ημέρες. Ο χειρουργός μέσω ακτινοσκόπησης εντοπίζει που ακριβώς πρέπει να τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια και κάνοντας λαμινεκτομή στους κατώτερους σπονδύλους, τοποθετεί τα ηλεκτρόδια στο χώρο μεταξύ ΣΣ και ΝΜ. Το σημείο τοποθέτησης επηρεάζεται από το σημείο της βλάβης και του πόνου. Κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης ίσως ζητηθούν και τα σχόλια του ίδιου του ασθενούς για την εύρεση του βέλτιστου σημείου. Η γεννήτρια στη δοκιμαστική περίοδο δε τοποθετείται μόνιμα, αλλά βρίσκεται έξω από το σώμα και συγκρατείται με μια ζώνη.



Εικόνα 15. Η δοκιμαστική περίοδος τοποθέτησης των ηλεκτροδίων. Τα βρίσκονται στον επισκληρίδιο χώρο και η γεννήτρια έξω από το σώμα συγκρατείται με μια ζώνη (Mayfield Brain & Spine, 2021).

Εάν η δοκιμαστική περίοδος είναι επιτυχής, δηλαδή εντοπίζεται μείωση τουλάχιστον 50 % του πόνου, γίνεται η τοποθέτηση της μόνιμης συσκευής. Χορηγείται τοπική αναισθησία, και πραγματοποιούνται δύο τομές, μία για την τοποθέτηση της γεννήτριας και μία για την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων. Η γεννήτρια τοποθετείται κάτω από το δέρμα και τα ηλεκτρόδια αντικαθίστανται. Η όλη διαδικασία διαρκεί 1-2 ώρες (Burke et al., 2021; Falowski et al., 2018; Zan et al., 2011).

2.3 Μηχανισμός δράσης της παρέμβασης

2.3.1 Γενικά στοιχεία

Οι μηχανισμοί στους οποίους βασίζεται η ενίσχυση των κυκλωμάτων της ΣΣ με την ηλεκτρική διέγερση δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Ωστόσο, η ηλεκτρική στρατολόγηση των

νευρώνων, είναι μια συνάρτηση της ανατομικής θέσης, του σχήματος και των ιδιοτήτων των ηλεκτροδίων και των ιδιοτήτων του ιστού ο οποίος δέχεται το ερέθισμα, πχ αγωγιμότητα, όσον αφορά την εξάπλωση και την αποπόλωση του ρεύματος. Εκτός από το εγκεφαλονωτιαίο υγρό το οποίο είναι πολύ αγωγίμο μέσο, υψηλή αγωγιμότητα διαθέτουν και οι πρόσθιες ρίζες των αισθητικών νευρώνων, ιδιαίτερα εκείνων οι οποίοι βρίσκονται στο επίπεδο των οσφυϊκών-ιερών σπονδύλων και ξεπροβάλλουν κάθετα από τον NM. Επίσης, γνωρίζουμε πως οι μεγάλοι σε διάμετρο άξονες, είναι πιο εύκολα διεγερσιμοι με το ηλεκτρικό ρεύμα. Όμως το μέγεθος του άξονα των νευρώνων, δε θα πρέπει να είναι ο μοναδικός παράγοντας για την εξήγηση των αλλαγών των οποίων επιτυγχάνονται μέσω ηλεκτρικής διέγερσης.

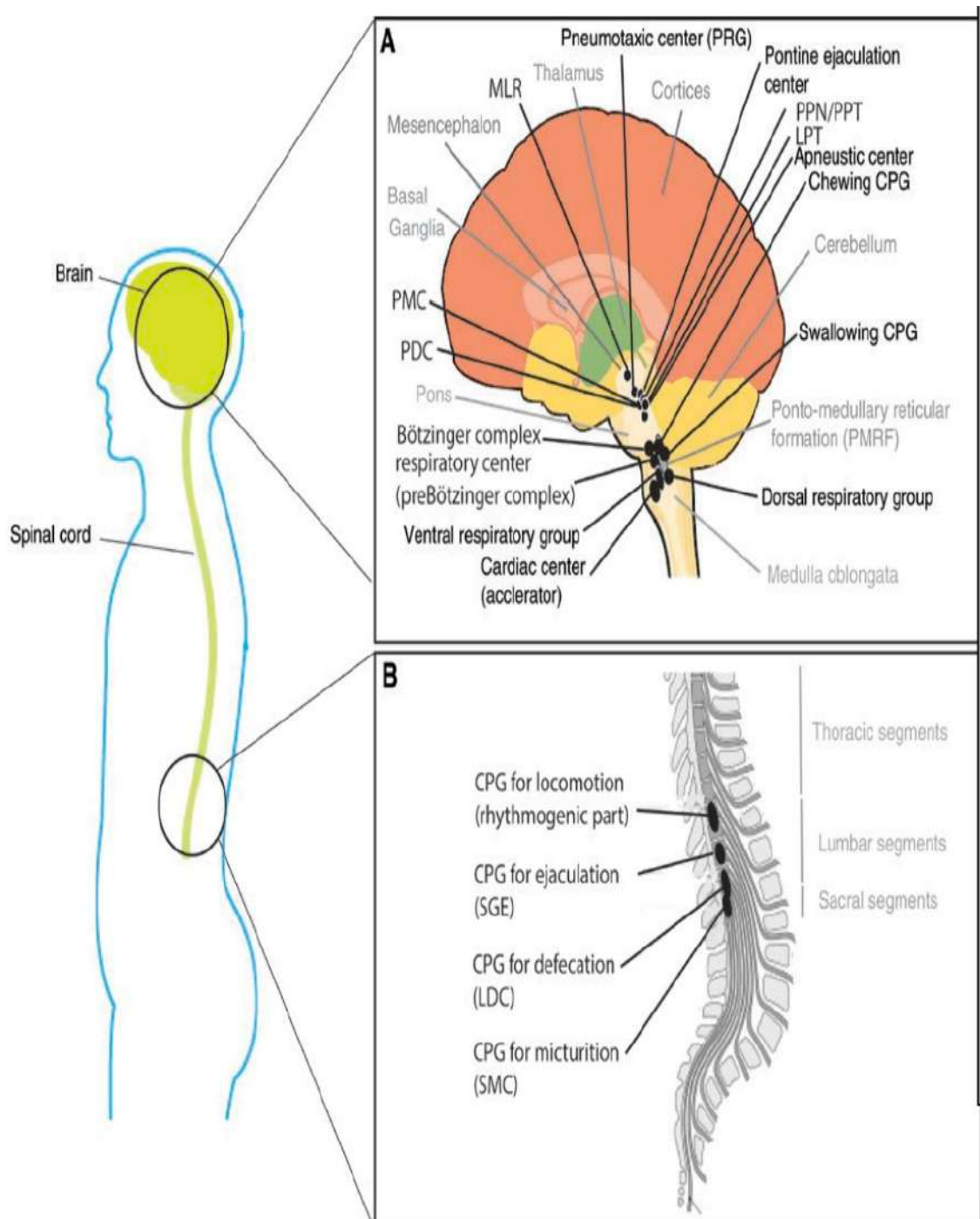
Υπάρχουν πολλές παράμετροι οι οποίες ερευνώνται σχετικά με την ηλεκτρική διέγερση για τη μεγιστοποίηση των αποτελεσμάτων, όπως το σημείο τοποθέτησης των ηλεκτροδίων, οι λεπτομέρειες σχεδιασμού τους, η χρονική διάρκεια κα. Οι παράμετροι αυτοί αλληλοεξαρτώνται, ωστόσο οι μηχανισμοί οι οποίοι επηρεάζονται με καθεμία από αυτές τις μεταβλητές, παραμένουν ανεπαρκώς καθορισμένοι (Hachmann et al., 2021).

Υπάρχει πλήθος μηχανισμών οι οποίοι μελετώνται και υποθέτουμε ότι είναι υπεύθυνοι για τα αποτελέσματα της ηλεκτρικής διέγερσης NM. Ο κυριότερος σήμερα μηχανισμός, ο οποίος πιστεύεται ότι είναι υπεύθυνος για την κινητική ανάκαμψη ατόμων με KNM μέσω ηλεκτρικής διέγερσης είναι η διέγερση των Ia νευρικών ινών. Θεωρείται λοιπόν, ότι η ηλεκτρική διέγερση ενισχύει τη μυϊκή στρατολόγηση μέσω της ενεργοποίησης των Ia νευρικών ινών. Οι Ia κεντρομόλες νευρικές ίνες έχουν μονοσυναπτικές συνδέσεις με τους α κινητικούς νευρώνες και μας δίνουν πληροφορίες σχετικά με το μήκος του μυός ή/και την δύναμη την οποία του ασκείται. Επίσης, συγκριτικά με τις άλλες κεντρομόλες νευρικές ίνες, έχουν τη μεγαλύτερη διάμετρο. Αυτό οδηγεί σε επιλεκτική διέγερση των Ia ινών με ηλεκτρική διέγερση. Αφού διεγερθούν οι Ia ίνες, μέσω της φυγόκεντρου οδού το ερέθισμα μεταδίδεται από αυτές στους α κινητικούς νευρώνες, έπειτα στην κινητική πλάκα και τέλος στις μυϊκές ίνες ο οποίες συσπώνται, με αποτέλεσμα την κίνηση του μυός (Eisdorfer et al., 2020).

Σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τον μηχανισμό με τον οποίο λειτουργεί η ηλεκτρική διέγερση NM σε άτομα με KNM, ως προς τα ωφέλη της σε άλλες παραμέτρους εκτός της κίνησης μας δίνουν η λειτουργία των CPGs pattern αλλά και η θεωρία της πύλης του πόνου.

2.3.2 CPGs pattern

Μέχρι σχετικά πρόσφατα, υπήρχε η πεποίθηση πως ο NM λειτουργούσε μόνο σαν μεταφορέας πληροφοριών μεταξύ εγκεφάλου, οργάνων, δέρματος, σκελετικών μυών. Κι ενώ πράγματι η λευκή ουσία του NM συμβάλλει στη μεταφορά πληροφοριών, η φαιά ουσία του NM, έχει



Εικόνα 14. Πλάγια όψη των δομών του εγκεφαλικού στελέχους και του νωτιαίου μυελού με τις κύριες γεννήτριες κεντρικών προτύπων τους CPG. (A) Το εγκεφαλικό στέλεχος αποτελείται από τρεις περιοχές: τον προμήκη μυελό, τη γέφυρα και τη μεσεγκεφαλική περιοχή. Εγκεφαλικά κέντρα που εμπλέκονται στη διαμόρφωση (έναρξη, τερματισμός, διευκόλυνση ή αναστολή) μεσολαβούμενων από τη σπονδυλική στήλη στερεότυπων συμπεριφορών περιλαμβάνουν τη μεσεγκεφαλική κινητική περιοχή (MLR) για την κίνηση, το κέντρο ούρησης (PMC) για την ούρηση, το κέντρο αφόδευσης (PDC) για την αφόδευση και το κέντρο εκσπερμάτισης για εκσπερμάτιση. (B) Στον νωτιαίο μυελό, υπάρχουν βασικά ρυθμογενεί στοιχεία του CPG για κίνηση στους Θ1-Θ2 σπονδύλους, η γεννήτρια σπονδυλικής στήλης για την εκσπερμάτιση (SGE) στους Θ3-Θ4, η LDC στους Θ6-Θ1 και το ιερό κέντρο ούρησης (SMC) στους Ι1-Ι4 (Steuer & Guertin, 2019).

καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο στερεότυπων κινητικών συμπεριφορών. Έτσι, παρά το μικρότερο μέγεθος και βάρος του NM συγκριτικά με τον εγκέφαλο, φαίνεται ότι ο NM αποτελεί κέντρο

ελέγχου δικτύων τα οποία εμπλέκονται στην έκφραση ρυθμικών κινήσεων. Αυτές είναι το περπάτημα, το κολύμπι, η αναπνοή, το μάσημα, η εκσπερμάτωση, η αφόδευση, η ούρηση (Steuer & Guertin, 2019).

Τα νευρωνικά δίκτυα στο νωτιαίο μυελό, κυκλώματα σε αυτόνομα ολοκληρωμένα νευρικά συστήματα, αναφέρονται ως «κεντρικές γεννήτριες προτύπων» (CPGs), βρίσκονται στους πρώτους οσφυϊκούς σπονδύλους του ΝΜ, ελέγχουν την κίνηση των μυών του ισχίου, του γόνατος και της ποδοκνημικής, και είναι ικανά να παράγουν τις ρυθμικές κινήσεις οι οποίες προαναφέρθηκαν, ακόμη και όταν είναι απομονωμένα από τον εγκέφαλο και τις αισθητηριακές εισροές.

Το CPG παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάκτηση κινητικών λειτουργιών στον άνθρωπο. Τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να ενεργοποιηθούν με ηλεκτρική διέγερση, με ηλεκτρόδια επί της σκληράς μήνιγγας. Η ενεργοποίηση των νευρωνικών δικτύων μπορεί να προκαλέσει κινητική αντίδραση ακόμη και σε άτομα τα οποία δε μπορούν να ενεργοποιήσουν μεμονωμένους μύες ή να βοηθήσει σε κινήσεις βαδίσματος και στα δύο πόδια σε περίπτωση ημιπληγίας. Υπάρχουν ενδείξεις κινητικών αποτελεσμάτων ακόμη και σε άτομα με πλήρη κάκωση, ακόμη και εάν ένας μικρός αριθμός αξόνων φτάνει στα νευρωνικά δίκτυα, και είναι ικανός να απελευθερώσει νευροδιαβιβαστές, ώστε τα ενεργοποιήσει τα CPGs.

Κατά τη διάρκεια της βάδισης, τα CPGs ενεργοποιούν τη διαδικασία προκαλώντας στη αρχή έκταση του ισχίου, έκταση του γόνατος και έκταση της ποδοκνημικής κι έπειτα κάμψη του ισχίου, κάμψη του γόνατος και κάμψη της ποδοκνημικής. Αυτή η διαδικασία, μπορεί να ξεκινήσει με την ενεργοποίηση του CPG και ύστερα η κίνηση συνεχίζεται χάρη στα αντανακλαστικά και τα αισθητηριακά ερεθίσματα τα οποία προκύπτουν. Το ίδιο συμβαίνει και με το τρέξιμο, το χοροπήδημα, τον χορό. Μπορούν να ξεκινήσουν, να διατηρηθούν και να ρυθμιστούν από τον εγκέφαλο χωρίς άμεση ενεργοποίηση κινητικών νευρώνων.

Το 1998, οι Herman et al. χρησιμοποίησαν ηλεκτρόδια επί της σκληράς μήνιγγας στο επίπεδο των οσφυϊκών σπονδύλων, για να ενεργοποιήσουν το CPG, σε ασθενή με σοβαρή ατελή ΚΝΜ. Μετά από μήνες ηλεκτρικής διέγερσης σε συνδυασμό με εκπαίδευση, το άτομο ήταν σε θέση να διανύσει αποστάσεις 50 έως και 250 μέτρων, αλλά και να εκτελέσει αποτελεσματικότερα δραστηριότητες καθημερινής ζωής στα πλαίσια του σπιτιού ή/και της κοινότητας (Young, 2015).

2.3.3 Θεωρία της πύλης του πόνου

Μετά από έναν τραυματισμό, τα σήματα του πόνου μεταδίδονται στον εγκέφαλο και τον νωτιαίο μυελό. Οι Meltzack και Wall το 1965 πρότειναν ότι στην πορεία, τα μηνύματα του πόνου συναντούν πύλες οι οποίες ελέγχουν εάν επιτρέπουν να περάσουν τα σήματα αυτά του πόνου

ώστε να αισθανθούμε τον πόνο ή όχι. Όταν τα σήματα περνούν εύκολα αυτές τις πύλες, ο πόνος βιώνεται πιο έντονα, ενώ σε πολλές άλλες περιπτώσεις τα μηνύματα πόνου ελαχιστοποιούνται ή ακόμη και εμποδίζονται να φτάσουν στο εγκέφαλο. Αυτός λοιπόν ο μηχανισμός, πραγματοποιείται στα οπίσθια κέρατα του ΝΜ, σε περιοχές της φαιάς ουσίας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι Meltzack και Wall κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα :

1. Στα οπίσθια κέρατα του νωτιαίου μυελού υπάρχουν οι διαβιβαστικοί νευρώνες ή κύτταρα Τ και οι ανασταλτικοί νευρώνες ή κύτταρα Ι (κύτταρα της πηκτωματώδους ουσίας).
2. Αύξηση της δραστηριότητας των «Τ» κυττάρων μεταβιβάζει τον πόνο σε ανώτερα επίπεδα του ΚΝΣ.
3. Οι Αβ ίνες διεγείρουν τα κύτταρα Ι, ενώ οι Αδ και C ίνες τα αναστέλλουν.
4. Τα κύτταρα Ι διεγείρουμενα αναστέλλουν τα κύτταρα Τ.

Συνεπώς, οι Αβ ίνες αναστέλλουν τα κύτταρα Τ διεγείροντας τα κύτταρα Ι, ενώ οι Αδ και C ίνες διεγείρουν τα κύτταρα Τ αναστέλλοντας την ανασταλτική δράση των κυττάρων Ι.

Στόχος είναι λοιπόν, η διέγερση των Αβ ινών, οι οποίες να σημειωθεί ότι είναι μεγαλύτερες σε διάμετρο συγκριτικά με τις ίνες Αδ και C, ώστε να κλείσει η πύλη εισόδου του πόνου, κάτι το οποίο μπορεί να επιτευχθεί με χαμηλής έντασης ερέθισμα στις ίνες αυτές. Έτσι εξηγείται λοιπόν, και η αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης, του βελονισμού και άλλων μεθόδων για την ανακούφιση από τον πόνο (Melzack & Wall, 1996; Rainville, 2002).

2.4 Αποτελεσματικότητα της παρέμβασης σε άτομα με ΚΝΜ

2.4.1 Αποτελεσματικότητα στη μείωση του πόνου

Υπάρχουν 3 τύποι ηλεκτρικής διέγερσης οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μείωση του πόνου μετά από ΚΝΜ, στα αποτελέσματα των οποίων θα αναφερθούμε παρακάτω. Η συμβατική ηλεκτρική διέγερση, η Burst (εκρηκτική) ηλεκτρική διέγερση ΝΜ και η υψηλής συχνότητας διέγερση ΝΜ.

Η συμβατική ηλεκτρική διέγερση ΝΜ ήταν το πρώτο παράδειγμα το οποίο εφαρμόστηκε για τον έλεγχο του πόνου σε ασθενείς με ΚΝΜ. Στην πρώτη μελέτη το 1972, συμμετείχαν 7 συνολικά ασθενείς με ΚΝΜ στο επίπεδο των θωρακικών σπονδύλων. Η βλάβη προκλήθηκε στους 5 συμμετέχοντες από κάταγμα της σπονδυλικής στήλης, σε 1 από πυροβολισμό και σε 1 από αιμάτωμα του νωτιαίου μυελού. Μετά την παρέμβαση, το 26,7% των συμμετεχόντων, ανέφερε εξαιρετική ανακούφιση από τον πόνο, το 13,3% ανέφερε καλή ανακούφιση από τον πόνο και το 16,7% ανέφερε επαρκή ανακούφιση.

Σε μια μεταγενέστερη μελέτη το 1989 των Bachhaaus et al., συμμετείχαν 7 συνολικά ασθενείς, οι οποίοι αντιμετώπιζαν άλγος στα κάτω άκρα. Οι 2 από αυτούς, είχαν πλήρη KNM και οι 5 ατελή. Μετά την παρέμβαση, οι 6 από τους 7 ασθενείς ανέφεραν εξαιρετική αναστολή του πόνου, ενώ τα αποτελέσματα της παρέμβασης διατηρήθηκαν για τουλάχιστον 6 χρόνια. Το ίδιο έτος, οι Meglio et al. συμπεριέλαβαν στο πείραμά τους 15 ασθενείς με πλήρη KNM. Στη μελέτη υπήρχαν ασθενείς με βλάβη στο επίπεδο των Α6-Θ1 σπονδύλων, οι οποίοι αντιμετώπιζαν πόνο στα άνω άκρα και ασθενείς με βλάβη στο επίπεδο των Θ9-Θ11 σπονδύλων, στους οποίους το αίσθημα του πόνου αφορούσε τα κάτω άκρα. Οι 6 από τους 15 συμμετέχοντες, ανέφεραν καλή ανακούφιση από τον πόνο με μέση αναλγησία 68,2% στην δοκιμαστική περίοδο της παρέμβασης. Σε επαναξιολόγηση 3 μήνες μετά την έναρξη της παρέμβασης, τα αποτελέσματα είχαν διατηρηθεί σε 4 από τους 7 ασθενείς. Έξι μήνες μετά την αρχική τοποθέτηση, 4 μόνο ασθενείς συνέχιζαν την παρέμβαση, 3 εκ των οποίων ανέφεραν διατήρηση της ανακούφισης από τον πόνο.

Το 1992, 33 ασθενείς έλαβαν μέρος στην μελέτη των Tasker et al., 11 με πλήρη και 22 με ατελή KNM. Όσον αφορά τους ασθενείς με ατελή KNM, οι 6 από τους 22 ανέφεραν καλή ανακούφιση από τον πόνο και 6 επαρκή ανακούφιση από τον πόνο. Επίσης, 2 από τους 11 ασθενείς με πλήρη KNM, ανέφεραν επαρκή ανακούφιση από τον πόνο. Οι συγγραφείς αυτής της έρευνας σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία προέκυψαν κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα : οι πιο ευνοημένοι ήταν εκείνοι με ατελή KNM και συγκεκριμένα στο επίπεδο μεταξύ Θ10-Ο2 σπονδύλων, ενώ εκείνοι με πλήρη KNM ανταποκρίθηκαν ελάχιστα στην παρέμβαση.

Σε μια άλλη μελέτη της κλινικής αποτελεσματικότητας της ηλεκτρικής διέγερσης των North et al. το 1993, 9 από τους συνολικά 11 ασθενείς με KNM, οι οποίοι αντιμετώπιζαν έντονα συμπτώματα άλγους, ωφελήθηκαν από την αρχική δοκιμαστική θεραπεία και προχώρησαν σε μόνιμα εμφυτεύματα ηλεκτροδίων.

Το 1995 οι Cioni et al., πραγματοποίησαν μια μελέτη με 25 ασθενείς. Στους 17 από εκείνους, τα εμφυτεύματα τοποθετήθηκαν πάνω από το σημείο της βλάβης και στους 8 κάτω από το σημείο της βλάβης. Από το σύνολο των συμμετεχόντων, 9 ανταποκρίθηκαν στην αρχή δοκιμαστική περίοδο. Και οι 9 αντιμετώπιζαν ατελή KNM. Από αυτούς τα θετικά ποσοστά ανταπόκρισης σχετικά με την παρέμβαση ήταν τα εξής : 28,6% ανταπόκριση στον έντονο πόνο, 75% ανταπόκριση στον πόνο ο οποίος προκαλείται από την σπαστικότητα, 28,5 % ανταπόκριση στη αλλοδυνία. Ωστόσο, η συνολική αποτελεσματικότητα της παρέμβασης αναφορικά με τον πόνο έφτασε στο 18%, σύμφωνα με την επαναξιολόγηση, η οποία πραγματοποιήθηκε 3 χρόνια μετά την έναρξη της παρέμβασης.

Σε μια άλλη έρευνα των Kumar et al. το 1998, μόνο 4 από τους 10 ασθενείς με KNM επιπέδου A5-Θ1 και πόνο στα άνω άκρα, ανταποκρίθηκαν στη αρχική δοκιμαστική περίοδο. Από εκείνους, οι 2 δήλωσαν ότι τα αποτελέσματα της παρέμβασης αναφορικά με τον πόνο, διατηρήθηκαν καιρό μετά από την έναρξη της παρέμβασης, σύμφωνα με την επαναξιολόγηση η οποία πραγματοποιήθηκε σε χρόνο ο οποίος δε διευκρινίζεται.

Σε μια πρόσφατη μελέτη των Levine et al. το 2017, 6 από τους 9 ασθενείς οι οποίοι συμμετείχαν στην μελέτη, μείωσαν το σκορ του πόνου τους από 7,8 ($\pm 1,2$) σε 2,7 ($\pm 0,6$). Η αποτελεσματικότητα της παρέμβασης ήταν μακροπρόθεσμη με τα αποτελέσματα της επαναξιολόγησης 12 μήνες μετά να το επιβεβαιώνουν. Επίσης, οι συγγραφείς ανέφεραν, ότι οι συμμετέχοντες μείωσαν την λήψη οπιοειδών.

Όλες αυτές οι έρευνες πραγματοποιήθηκαν με τη συμβατική ηλεκτρική διέγερση.

Το 2017, σε μια μελέτη σε μια 53χρονη γυναίκα με παραπληγία επιπέδου Θ5 και σοβαρό πόνο στα κάτω άκρα, επιτεύχθηκε μείωση του πόνου με τα αποτελέσματα να διαρκούν τουλάχιστον 3 μήνες, με εφαρμογή του Burst παραδείγματος ηλεκτρικής διέγερσης (Huang et al., 2018).

2.4.2 Αποτελεσματικότητα αναφορικά με την κινητικότητα

Πλήθος ερευνών έχουν πραγματοποιηθεί σχετικά με τη βελτίωση της κινητικότητας μετά από επισκληρίδιο ηλεκτρική διέγερση NM. Μια μετά ανάλυση ερευνήσε την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης σε 24 συμμετέχοντες, 18 συνολικά ερευνών. Στις 13 έρευνες συμμετείχαν άτομα με πλήρη KNM και στις υπόλοιπες 5 άτομα με ατελή KNM.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα, σε όλες τις μελέτες υπήρχε βελτίωση της λειτουργικότητας, όπως επίσης και θετικές αλλαγές στο ηλεκτρομυογράφημα υπήρχαν σε όλες τις μελέτες εκτός από εκείνη των Herman et al.

Σε 11 έρευνες διαπιστώθηκε βελτίωση στην κινητική λειτουργικότητα των κάτω άκρων των συμμετεχόντων, σε 8 στην ικανότητα ορθοστάτισης και σε μια στην κινητικότητα των άνω άκρων.

Επίσης, ενώ σε 5 μόνο έρευνες, αναφέρεται η ταξινόμηση των ασθενών με βάση την ASIA, πριν και μετά την παρέμβαση, σε 3 από αυτές παρατηρείται αλλαγή στην ταξινόμηση, σε 4 συμμετέχοντες. Στην μελέτη των Angeli et al., ένας συμμετέχοντας είχε αλλαγή στο σκορ του από ASIA B σε ASIA C, και όσον αφορά το σκορ της κινητικότητας βελτιώθηκε από 23 σε 24/25. Στην μελέτη των Lu et al., δυο συμμετέχοντες είχαν αλλαγή στο σκορ τους από ASIA B σε ASIA C, και όσον αφορά το σκορ της κινητικότητας ο ένας είχε αύξηση κατά 30 πόντους

(από 9 σε 39) και ο άλλος κατά 20 πόντους (από 17 σε 37). Στην έρευνα των Wagner et al., ένας συμμετέχοντας είχε αύξηση του σκορ κινητικότητας από 60 σε 77 και αλλαγή της ASIA από C σε D.

Σχετικά με την κινητικότητα, ο κοινός στην πλειοψηφία στόχος ήταν η ανάπτυξη εκούσιας κινητικότητας, η οποία θα ακολουθούταν από βελτίωση της ανεξάρτητης κίνησης και ορθοστάτισης υποβοηθούμενα και θα κατέληγε με εκπαίδευση και συνέχεια της ηλεκτρικής διέγερσης, σε βελτίωση της κίνησης και της ορθοστάτισης ανεξάρτητα. Σε 4 λοιπόν από τις 18 έρευνες, οι συμμετέχοντες κατάφεραν να βαδίσουν και να ορθοστατίσουν ανεξάρτητα με χρήση βοηθήματος, πραγματοποιώντας δραστηριότητες καθημερινής ζωής στο σπίτι και σε ευρύτερα κοινωνικά πλαίσια. Ας δούμε όμως, κάποιες από τις μελέτες πιο αναλυτικά.

Το 2002 στην μελέτη των Herman et al., συμμετείχε ένας ασθενής με KNM επιπέδου A5-A6 και ASIA C. Μετά από 12 εβδομάδες αποκατάστασης και παρακολούθησης, ο ασθενής παρουσίασε βελτίωση στην απόσταση την οποία μπορούσε να διανύσει βαδίζοντας ανεξάρτητα στο έδαφος και διπλασίασε την ταχύτητα με την οποία πραγματοποιούσε τον βηματισμό.

Στην μελέτη των Harkema et al. το 2011 συμμετείχε ένας ασθενής με βλάβη επιπέδου A7 και ASIA B. Μετά από 80 συνεδρίες και 7 μήνες παρακολούθησης, ο ασθενής παρουσίασε βελτίωση στο εύρος κίνησης των αρθρώσεών του, στην ικανότητα ορθοστάτισης και βάδισης υποβοηθούμενα, στον εκούσιο έλεγχο των κινητικών δραστηριοτήτων με τις αλλαγές να αποδεικνύονται και μέσω του ηλεκτρομυογραφήματος.

Σε μια άλλη μελέτη των Lu et al. το 2016, έλαβαν μέρος 2 ασθενείς με KNM επιπέδου A5 ο ένας και A6 ο άλλος. Και οι δύο κατατάσσονταν σύμφωνα με την κλίμακα ASIA σε ASIA B. Οι συμμετέχοντες λοιπόν υποβλήθηκαν σε χειρουργική τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο επίπεδο A4-Θ1 σπονδύλων. Μετά από 20 συνεδρίες σε συνολικό διάστημα 8 εβδομάδων, οι ασθενείς παρουσίασαν αλλαγές στην κλίμακα ASIA, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αύξηση της δύναμης μυών/αρθρώσεων με περίπου τριπλάσια αύξηση της δύναμης των άνω άκρων και με εκούσιο έλεγχο της λειτουργίας τους παρουσία ηλεκτρικής διέγερσης NM.

Επίσης το 2018 στην μελέτη των Wagner et al., συμμετείχαν 3 ασθενείς με KNM, δύο με ASIA C και ένας με ASIA D. Μετά από 5 μήνες συνεδριών και παρακολούθησης, οι συμμετέχοντες μπορούσαν να διανύσουν μεγαλύτερες αποστάσεις βαδίζοντας ανεξάρτητα, αυξάνοντας μαζί και την ταχύτητα βάδισης. Ακόμη, παρουσίασαν βελτίωση στην δύναμη και στο εύρος των κινήσεων των κάτω άκρων, βαδίζοντας σε έδαφος και σε διάδρομο. Θετικά αποτελέσματα υπήρξαν και ως προς την μυική μάζα, ενώ ένας από τους ασθενείς, όπως έχει ήδη αναφερθεί, σημείωσε αλλαγή στην κλίμακα ASIA.

Στη μελέτη των Angeli et al. το 2018, συμμετείχαν 4 άτομα με KNM, 2 με ASIA A και 2 με ASIA B. Κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης οι συμμετέχοντες λάμβαναν κινητική αποκατάσταση, ηλεκτρική διέγερση NM, προπόνηση για βάδιση και ορθοστάτιση, πραγματοποιώντας προγράμματα αποκατάστασης αρκετές ώρες ημερησίως. Το διάστημα παρακολούθησης των ασθενών ήταν τουλάχιστον 24 εβδομάδες και μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα οι συμμετέχοντες παρουσίασαν οι δύο με ASIA B βελτίωση στην ανεξάρτητη βάδιση και στην ορθοστάτιση με βοήθεια και οι δύο με ASIA A, βελτίωση σε υποβοηθούμενη βάδιση και ορθοστάτιση. Όλοι οι συμμετέχοντες σημείωσαν βελτίωση στις αποστάσεις τις οποίες μπορούσαν να διανύσουν βαδίζοντας με βοήθεια ή χωρίς, καθώς και στην ταχύτητα βάδισης, και αύξηση της δύναμης των μυών το οποίο διαπιστώθηκε μέσω ηλεκτρομυογραφήματος. Τέλος, ένας συμμετέχοντας είχε αλλαγή στην κατάταξη του στην κλίμακα ASIA, όπως έχει ήδη αναφερθεί (McHugh et al., 2021).

Σε μια άλλη προσπάθεια από ερευνητές της Mayo κλινικής το 2017, αναφέρθηκε πως ένα άτομο με πλήρη KNM, ήταν σε θέση να ελέγχει σκόπιμα τη μυϊκή δραστηριότητα ενώ βρίσκεται ξαπλωμένος στο πλάι, να στέκεται ανεξάρτητα χωρίς βοήθεια από τους θεραπευτές και να ελέγχει σκόπιμα τις ρυθμικές κινήσεις των ποδιών του ενώ ήταν τοποθετημένος στο πλάι και σε όρθια θέση χρησιμοποιώντας ιμάντες στήριξης. Όλα αυτά εντός των δύο πρώτων εβδομάδων της παρέμβασης με ηλεκτρική διέγερση NM.

Σε μια άλλη μελέτη το 2018, δυο άτομα μπόρεσαν να εκτελέσουν σκόπιμες, συντονισμένες κινήσεις των ποδιών ενώ ήταν τοποθετημένοι στο πλάι κατά τις πρώτες πέντε συνεδρίες δοκιμής με ηλεκτρική διέγερση NM (Calvert et al, 2019).

2.4.3 Αποτελεσματικότητα στη λειτουργία του εντέρου

Αρκετές έρευνες επιβεβαιώνουν την αποτελεσματικότητα της παρέμβασης και ως προς τη λειτουργία του εντέρου σε άτομα με KNM. Ας δούμε αναλυτικότερα κάποιες από αυτές μαζί με τα αποτελέσματά τους.

Το 2011 οι Harkema et al., πραγματοποίησαν μια έρευνα σε έναν 23χρονο άνδρα με παραπληγία λόγω υπερεξαρθρήματος επιπέδου A7-Θ1. Μετά από 170 κινητικές προπονήσεις διάρκειας άνω των 26 μηνών, υποβλήθηκε σε εμφύτευση 16 ηλεκτροδίων στο επίπεδο O1-I1 σπονδύλων. Αφού έγιναν 29 πειράματα και δοκιμές σχετικά με τις παραμέτρους της παρέμβασης, ο ασθενής μεταξύ των άλλων αποτελεσμάτων, μετά την παρέμβαση ήταν σε θέση να εκκενώσει οικειοθελώς [22, 35]. (Harkema et al., 2011; Pettigrew et al., 2017).

Αργότερα το 2014, οι Angeli et al. πραγματοποίησαν ένα πείραμα με 4 συμμετέχοντες με πλήρη KNM, 2 με ASIA A και 2 με ASIA B. Μετά από 7 μήνες παρέμβασης με ηλεκτρική διέγερση

NM μαζί με κινητική προπόνηση, και οι 4 συμμετέχοντες εμφάνισαν θετική αποτελεσματικότητα σχετικά με τη λειτουργία του εντέρου (Angeli et al., 2014; Pettigrew et al., 2017).

Επίσης, το 2018 σε μια μελέτη των Walter et al., εφαρμόστηκε ηλεκτρική διέγερση με 16 ηλεκτρόδια στο επίπεδο των Θ11-Ι1 σπονδύλων, σε έναν 32χρονο άνδρα με κάκωση επιπέδου A5 και ASIA B με δυσλειτουργία του αυτόνομου συστήματος συμπεριλαμβανομένης της αυτόνομης δυσρεφλεξίας καθώς και της νευρογενούς δυσλειτουργίας του κατώτερου ουροποιητικού συστήματος και του εντέρου. Ο ασθενής πριν την παρέμβαση βασιζόταν στη χρήση υπόθετων για την πραγματοποίηση της ρουτίνας του εντέρου. Μετά την παρέμβαση ο χρόνος για την ρουτίνα του εντέρου μειώθηκε παραπάνω από 55% (26 λεπτά ενώ πριν χρειαζόταν 58 λεπτά). Επιπλέον, η ηλεκτρική διέγερση μείωσε τη σοβαρότητα της νευρογενούς δυσλειτουργίας του εντέρου από σοβαρή σε ελάχιστη, όπως αποδεικνύεται από τη μείωση του 'The Neurogenic Bowel Dysfunction (NBD) Score' από 15 σε 8 (Walter et al., 2018).

Σε μια άλλη μελέτη το 2019 των Anthony et al., εφαρμόστηκε ηλεκτρική διέγερση NM για τη βελτίωση της λειτουργίας του εντέρου σε έναν ασθενή με τετραπληγία επιπέδου A6, με ASIA A. Τα ηλεκτρόδια τοποθετήθηκαν μεταξύ των σπονδύλων Θ9 και Θ11. Χρησιμοποιήθηκε συχνότητα 50 Hz και ένταση 30-40 V. Πριν την παρέμβαση ο ασθενής χρειαζόταν 120 λεπτά για την κένωση του εντέρου, ενώ 8 εβδομάδες μετά την παρέμβαση ο χρόνος μειώθηκε στα 45 και 30 εβδομάδες μετά την παρέμβαση μειώθηκε στα 25 λεπτά. Δεδομένου ότι η ρουτίνα του εντέρου πραγματοποιούνταν με συχνότητα 3-4 φορές/εβδομάδα, αυτό αντιπροσώπευε μια εξοικονόμηση χρόνου μεταξύ 270-380 λεπτών/εβδομάδα. Ο ασθενής ανέφερε επίσης, ότι μειώθηκαν ο αριθμός και οι δόσεις των φαρμάκων τα οποία χρειαζόταν για τη ρουτίνα τουαλέτας (Walter et al., 2018).

Σε πείραμα των Darrow et al. το 2019, συμμετείχαν δυο ασθενείς με πλήρη KNM, οι οποίες υποβλήθηκαν σε εμφύτευση ηλεκτροδίων στο επίπεδο του Θ12 σπονδύλου. Η συμμετέχουσα 2 είχε βαθμολογία Νευρογενούς Δυσλειτουργίας Εντέρου (Neurogenic Bowel Dysfunction Score- NBDS) μέτρια και η συμμετέχουσα 1 χαμηλή. Η δυσλειτουργία του εντέρου όπως μετρήθηκε με το NBDS δεν αντικατόπτριζε καμία αλλαγή στη βαθμολογία στην συμμετέχουσα 1 και παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της παρακολούθησης. Η συμμετέχουσα 2 παρουσίασε μια ελαφρά επιδείνωση της λειτουργίας του εντέρου μετά από διέγερση, όπως μετρήθηκε με μια αλλαγή στη βαθμολογία σοβαρότητας του NBDS από «Μέτρια» σε «Σοβαρή». Ωστόσο, η συμμετέχουσα 2 παρουσίασε μείωση στη ρουτίνα του εντέρου από 90 λεπτά σε λιγότερο από 30 λεπτά (Darrow et al., 2019).

Σε μία μελέτη των Anthony et al. το 2020, έλαβαν μέρος 5 συμμετέχοντες με KNM στο επίπεδο των αυχενικών σπονδύλων, με ASIA A. Σε όλους εμφυτεύτηκε συσκευή ηλεκτρικής διέγερσης NM στο επίπεδο Θ9-Θ11, μετά από 5-6 εβδομάδες αποκατάστασης. Η όλη παρέμβαση διήρκησε συνολικά 21 εβδομάδες. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της διάρκειας ρουτίνας εντέρου από 118 ± 34 λεπτά σε 18 ± 2 λεπτά, με τους 4 από τους συμμετέχοντες να μη χρησιμοποιούν καθόλου μηχανικές μεθόδους για την ρουτίνα του εντέρου μετά την παρέμβαση. Όλοι οι συμμετέχοντες ανέφεραν συνολική βελτίωση της ρουτίνας του εντέρου, ενώ κανείς δεν ανέφερε ακράτεια κοπράνων (DiMarco et al., 2019).

2.4.4 Αποτελεσματικότητα στη λειτουργία της ουροδόχου κύστης

Εδώ και χρόνια πλήθος μελετών έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης NM σχετικά και με τη λειτουργία της ουροδόχου κύστης σε άτομα με KNM. Εδώ θα παρουσιαστούν κάποιες από αυτές μαζί με τα αποτελέσματα τους στο πληθυσμό τον οποίο εφαρμόστηκαν.

Το 1972 οι Nashold et al., χρησιμοποίησαν ηλεκτρόδια στο ύψος O1-O2 σπονδύλων σε 4 άτομα με παραπληγία, με στόχο να σταματήσουν τη χρήση καθετήρων ουροδόχου κύστης. Οι όγκοι κένωσης κυμαίνονταν από 80 έως 210 ml, ενώ οι υπολειπόμενοι όγκοι κυμαίνονταν από 100 έως 280 ml.

Έπειτα, το 1980 οι Meglio et al., ανέφεραν βελτιώσεις στην χωρητικότητα της ουροδόχου κύστης, καθώς και μειωμένους υπολειπόμενους όγκους με ηλεκτρική διέγερση NM χωρίς να συνδυάζεται με κάποια άλλη μορφή αποκατάστασης, σε έξι από τους επτά συμμετέχοντες στην έρευνα τους. Η πίεση του εξωστήρα μειώθηκε από ένα μέσο όρο 17 mmHg πριν από τη διέγερση σε 8 mmHg μετά την παρέμβαση, ενώ η χωρητικότητα της κύστης αυξήθηκε από ένα μέσο όρο 145 σε 218 ml.

Χρησιμοποιώντας ηλεκτρόδια στο ύψος των σπονδύλων O1-O2, οι Carlsson και Fall το 1984 ανέφεραν αύξηση της λειτουργίας της ουροδόχου κύστης σε ένα άτομο με παραπληγία, το οποίο, μετά από 3 συνεδρίες με ηλεκτρική διέγερση, μπορούσε να αδειάσει την κύστη του με ελάχιστο υπολειπόμενο όγκο. Μετά από 7 χρόνια χρήσης της ηλεκτρικής διέγερσης, ο χρήστης ανέπτυξε πλήρως το αντανακλαστικό της ούρησης χωρίς να εξαρτάται πια από την παρέμβαση για την πραγματοποίηση της ούρησης.

Σε μία μελέτη των Harkema et al. το 2011, αναφέρθηκαν απροσδόκητα ωφέλη στη λειτουργία της ουροδόχου κύστης μετά από κινητική αποκατάσταση σε συνδυασμό με ηλεκτρική διέγερση NM, συμπεριλαμβανομένης της απόκτησης της ικανότητας εκούσιας

ούρησης με ελάχιστο υπολειπόμενο όγκο, σε έναν ασθενή με έλλειψη αισθητικότητας κάτω από τον Θ7 σπόνδυλο και αδυναμία εκούσιας σύσπασης της ουροδόχου κύστης (ASIA B). Οι ίδιοι για να εξετάσουν περισσότερο τις επιπτώσεις της παρέμβασης, ποσοτικοποίησαν τα αποτελέσματα και κατέληξαν στο ότι η κένωση της ουροδόχου κύστης μετά την παρέμβαση πραγματοποιούνταν κατά 10-70% ενώ πριν την παρέμβαση συνέβαινε κατά 0-5%.

Επιπλέον, οι Walter et al. το 2018, ανέφεραν ρύθμιση του ουροποιητικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών στην πίεση του εξωστήρα, σε συμμετέχοντα με KNM κατά τη διέγερση με πολλαπλές διαφορετικές παραμέτρους (έντασης και συχνότητας).

Το 2019, σε μια έρευνα των Darrow et al., με δύο γυναίκες με ASIA A οι οποίες είχαν κλινικά σημαντική δυσλειτουργία ουροδόχου κύστης, μετά από παρέμβαση 5 μηνών, η πρώτη συμμετέχουσα έδειξε μικρή αποτελεσματικότητα στον τομέα της αποθήκευσης και κένωσης των ούρων, ενώ η δεύτερη είχε μεγάλη βελτίωση στην ακράτεια και την ικανότητα εκούσιας ούρησης αλλά με υπολειπόμενους όγκους. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν σύμφωνα με τη Βαθμολογία συμπτωμάτων νευρογενούς κύστης (Neurogenic Bladder Symptom Score (NBSS)). Ωστόσο η συγκεκριμένη έρευνα υπολείπεται σε ποσοτικές μετρήσεις.

Τέλος, οι Schieferdecker et al. το 2019, ανέφεραν μείωση κατά 86% στην ημερήσια ακράτεια, μείωση 49% στους υπολειπόμενους όγκους ούρων και 36% αύξηση στη βαθμολογία του αξιολογητικού εργαλείου σχετικά με την ποιότητα ζωής σε άτομα με KNM τα οποία υποβλήθηκαν σε ηλεκτρική διέγερση NM με συχνότητα 10 Hz (Steadman & Grill, 2020).

2.4.5 Αποτελεσματικότητα στην σεξουαλική λειτουργία

Παρόλο που λίγες μελέτες αναφέρονται στην αποτελεσματικότητα της παρέμβασης στην σεξουαλική λειτουργία ατόμων με KNM, υπάρχουν κάποιες οι οποίες αναφέρουν τα θετικά της αποτελέσματα. Θα παρουσιαστούν δυο, η μία εκ των οποίων αφορά έναν άνδρα και η άλλη δυο γυναίκες.

Σε μια έρευνα των Harkema et al. το 2011, τοποθετήθηκαν 16 ηλεκτρόδια στο επίπεδο των Ο1-Π1 σπονδύλων, σε έναν άνδρα με υπεξάρθημα επιπέδου Α7-Θ1, και εφαρμόστηκε συνδυασμός ηλεκτρικής διέγερσης NM με κινητική αποκατάσταση. Το άτομο μετά την παρέμβαση, είχε λειτουργικά ωφέλη στην σεξουαλική λειτουργία, με αύξηση σε σεξουαλική απόκριση και απόδοση (Harkema et al., 2011).

Επίσης, στην έρευνα των Darrow et al. το 2019, συμμετείχαν δύο γυναίκες ηλικίας 48 και 52 ετών με πλήρη κινητική και αισθητική KNM. Η πρώτη με KNM στον Θ8 σπόνδυλο και με ASIA A και η δεύτερη με KNM επιπέδου Θ4 και ASIA A. Μετά από παρέμβαση με ηλεκτρική διέγερση NM και τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο επίπεδο του Θ12 σπονδύλου, η πρώτη

συμμετέχουσα δεν ανέφερε καμία αλλαγή στην σεξουαλική λειτουργία. Η δεύτερη συμμετέχουσα, παραδόξως ενώ δεν παρατηρήθηκαν αλλαγές στην αίσθηση, ανέφερε σταθερά την επιστροφή της ικανότητας επίτευξης οργασμού, που απουσίαζε μετά τον τραυματισμό, κατά τη σεξουαλική επαφή κατά τη διάρκεια της διέγερσης ή αμέσως μετά τη διακοπή της διέγερσης (Darrow et al., 2019).

2.4.6 Αποτελεσματικότητα στην ρύθμιση της θερμοκρασίας

Όπως και για την σεξουαλική λειτουργία, έτσι και για την ρύθμιση της θερμοκρασίας, λίγες μελέτες αναλύουν την θετική επίδραση της ηλεκτρικής διέγερσης NM.

Οι Edgerton et al. το 2011, πραγματοποίησαν μια έρευνα σε έναν άνδρα 23 ετών με υπερεξάρθημα επιπέδου A7-Θ1 μετά από ατύχημα με μοτοσυκλέτα, ο οποίος εμφάνιζε απώλεια εκούσιας κινητικότητας και μερική διατήρηση της αισθητικότητας κάτω από το Θ1 σπόνδυλο. Μετά την πραγματοποίηση παρέμβασης με ηλεκτρική διέγερση NM, όπου εμφυτεύθηκαν 16 ηλεκτρόδια στο επίπεδο των O1-I1, μαζί με κινητική αποκατάσταση, και διάρκεια παρέμβασης 26 μηνών, επιτεύχθηκε σημαντική βελτίωση στον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος (Edgerton & Harkema, 2011).

Επίσης, σύμφωνα με τους Herrity et al. το 2021, σε μια μελέτη την οποία πραγματοποίησαν με 85 συμμετέχοντες, στους οποίους εμφυτεύθηκαν χειρουργικά ηλεκτρόδια στο επίπεδο των Θ11-O1 σπονδύλων, και μαζί με την παρέμβαση της ηλεκτρικής διέγερσης NM πραγματοποιήθηκε και κινητική προπόνηση, τα αποτελέσματα έδειξαν μεταξύ των άλλων και βελτίωση στη ρύθμιση της θερμοκρασίας (Herrity et al., 2021).

2.4.7 Αποτελεσματικότητα στη μείωση της σπαστικότητας

Συνεχίζοντας, ακολουθεί η θετική αποτελεσματικότητα της παρέμβασης την οποία αναλύουμε αναφορικά με την μείωση της σπαστικότητας.

Το 1979 οι Richardson et al, πέτυχαν την καταστολή της σπαστικότητας και των σπασμών σε έξι ασθενείς με χρόνια πλήρη κάκωση νωτιαίου μυελού, στους θωρακικούς σπονδύλους, εφαρμόζοντας ηλεκτρική διέγερση με συσκευή ηλεκτροδίων κάτω από το επίπεδο της βλάβης. Το 1980 οι Siegfried et al., τοποθέτησαν ηλεκτρόδια πάνω από το επίπεδο της βλάβης σε 15 ασθενείς με χρόνια KNM, χωρίς να δούνε αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά της προηγούμενης μελέτης. Επίσης το 1980 οι Dimitrijevic et al. σε πείραμα με 5 ασθενείς με KNM, και οι 5 εμφάνιζαν μέχρι και 18 μήνες μετά, μείωση της σπαστικότητας. Σε μια προσπάθεια να διευκρινιστεί η ακριβής επίδραση της θέσης διέγερσης, οι Dimitrijevic et al. το 1986, χρησιμοποίησαν ηλεκτρική διέγερση NM σε ένα δείγμα 58 ασθενών με KNM και βρήκαν ότι η

σπαστικότητα ελέγχεται πιο αποτελεσματικά όταν η συσκευή ηλεκτροδίων τοποθετείται κάτω και όχι πάνω από το επίπεδο της βλάβης. Στην ίδια έρευνα, μεταξύ των 30 ασθενών οι οποίοι προχώρησαν σε μόνιμη εμφύτευση, οι 29 δήλωσαν μέτρια ή έντονη αποτελεσματικότητα. Η διαπίστωση σχετικά με την θέση των ηλεκτροδίων, επιβεβαιώθηκε και πάλι από τους Barolat et al. το 1995, οι οποίοι, με βάση συνολικά 48 ασθενείς, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εφαρμογή της ηλεκτρικής διέγερσης κάτω από το επίπεδο της βλάβης ήταν μια αποτελεσματική και ασφαλής προσέγγιση για τον έλεγχο των σπασμών οι οποίοι σχετίζονται με την KNM.

Σύμφωνα με την μελέτη των Midha and Schmitt το 1998, εκείνοι υποστήριζαν ότι η ηλεκτρική διέγερση του νωτιαίου μυελού στερείται μακροπρόθεσμης αποτελεσματικότητας για την ανακούφιση από την σπαστικότητα και δεν ήταν οικονομικά αποδοτική. Αυτό συνέβη καθώς, σε επαναξιολόγηση η οποία πραγματοποιήθηκε 6 μήνες μετά την έναρξη της παρέμβασης μόνο 1 από τους 7 ασθενείς με KNM, δήλωσε συμπτωματική ανακούφιση. Επίσης, αν και κανένας ασθενής δεν είχε νευρολογική επιδείνωση, υπήρχαν άλλες επιπλοκές, όπως μόλυνση, μετατόπιση ηλεκτροδίων και καταστροφή του καλωδίου.

Τη δεκαετία του 1990 το ενδιαφέρον για αυτή την προσέγγιση άρχισε να μειώνεται, κυρίως λόγω τεχνικών προβλημάτων και της συνειδητοποίησης ότι η ηλεκτρική διέγερση NM ως μέθοδος ελέγχου της σπαστικότητας ήταν λιγότερο αποτελεσματική σε ασθενείς με σοβαρούς σπασμούς των κάτω άκρων.

Σε μια μελέτη των Pinter et al. όμως το 2000, συμμετείχαν 4 γυναίκες και 4 άνδρες, με KNM, σοβαρή σπαστικότητα και σκορ >2 στην κλίμακα Ashworth (5 με πλήρη KNM και 3 με ατελή). Οι βλάβες τους αφορούσαν σπονδύλους A5-A6 και Θ3-Θ6. Όλοι οι συμμετέχοντες υποβλήθηκαν με χειρουργική τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο επίπεδο των Θ11-Ι1 σπονδύλων και χρησιμοποιήθηκε συχνότητα 5 Hz και ένταση 0.5 V. Ακόμη και σε επαναξιολόγηση μετά από 1 χρόνο, υπήρχε διατήρηση των αποτελεσμάτων σε 5 από τους 8 ασθενείς και ανάγκη σε αυτούς για λιγότερη ηλεκτρική διέγερση. Η συνολική ανταπόκριση όλων των μυών ήταν στατιστικά σημαντική και στην αριστερή και στη δεξιά πλευρά των κάτω άκρων. Ακόμη και σε εξέταση των μυών μεμονωμένα, υπήρχε σημαντική μείωση της σπαστικότητας. Μόνο ο τετρακέφαλος δεν είχε σημαντικά αποτελέσματα ούτε δεξιά ούτε αριστερά. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν και από την κλίμακα Ashworth. Ακόμα και κατά τη διάρκεια αιώρησης των κάτω άκρων τα αποτελέσματα ήταν φανερά σε 6 ασθενείς. Ένας από τους ασθενείς μάλιστα εμφάνιζε εκούσια κινητικό έλεγχο, μόνο κατά τη διάρκεια της διέγερσης.

Σε μία άλλη μελέτη των Dekopovet et al. το 2015, συμμετείχαν 71 ασθενείς 13 εκ των οποίων αντιμετώπιζε σπαστικότητα λόγω KNM. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η

ηλεκτρική διέγερση NM, ήταν χρήσιμη μόνο σε ασθενείς με μέτρια παραπάρεση και όχι τετραπάρεση. Σε αυτή την μελέτη υπήρχε αύξηση της κλίμακας Ashworth περίπου 40% (Nagel et al., 2017; Pinter et al., 2000; Tator et al., 2012).

2.4.8 Αποτελεσματικότητα στην καρδιαγγειακή λειτουργία

Τέλος, θα αναφερθούμε στην αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης NM, ως προς της καρδιαγγειακή λειτουργία, η οποία επιβεβαιώνεται από πλήθος ερευνών.

Το 2018 λοιπόν, στις μελέτες των Harkema et al. και των West et al., επιλύθηκε η επίμονη υπόταση των ασθενών οι οποίοι συμμετείχαν στις μελέτες. Επίσης, το 2018 σε μελέτη των Aslan et al., σε άτομα τα οποία συμμετείχαν στη μελέτη με αρτηριακή υπόταση, μετά την παρέμβαση η πίεση του αίματός τους βρισκόταν σε διαστήματα $119/72 \pm 7/14$ mmHg, ενώ πριν την παρέμβαση ήταν $70/45 \pm 5/7$ mmH. Στο πείραμα των Phillips et al., το ίδιο έτος, τα άτομα τα οποία συμμετείχαν εμφάνιζαν σε ορθοστάτιση βελτίωση της πίεσης τους, της συσταλτικότητας και της εγκεφαλικής αιματικής ροής. Το 2019, σε μελέτη των Nightingale et al., οι συμμετέχοντες εμφάνισαν αυξημένη κατανάλωση οξυγόνου κατά τη διάρκεια γυμναστικής μετά την παρέμβαση, ενώ οι συμμετέχοντες στο πείραμα των Squair et al. το 2021, εμφάνισαν αιμοδυναμική σταθερότητα μετά την παρέμβαση.

Επίσης, βρέθηκε πως η πιο κοινή τοποθέτηση για την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης αναφορικά με την ορθοστατική υπόταση ήτανε στο επίπεδο των Θ11-Ο1 σπονδύλων, με θετικά αποτελέσματα να υπάρχουν και όταν τα ηλεκτρόδια ήταν τοποθετημένα και στους Θ7-Θ8 ή στους Ο1-Ι1 σπονδύλους (Lin et al., 2022).

Σε μια έρευνα των Sevdar et al. το 2018, συμμετείχαν 7 γυναίκες με χρόνια KNM επιπέδου Α5-Θ4. Χωρίστηκαν σε δύο ομάδες, η πρώτη παρουσίαζε μειωμένη αισθητηριακή και καθόλου κινητική λειτουργία κάτω από το επίπεδο τραυματισμού (ASIA B) με νευρολογικά επίπεδα βλάβης μεταξύ Α5 και Θ2 και η δεύτερη δεν διέθετε ούτε αισθητηριακή ούτε κινητική λειτουργία κάτω από τον Θ4 σπόνδυλο (ASIA A). Υποβλήθηκαν όλες σε χειρουργική τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο επίπεδο Θ11-Ο1 των σπονδύλων.

Αυτή η μελέτη διερεύνησε τις καρδιαγγειακές επιδράσεις της ηλεκτρικής διέγερσης, οι οποίες χρησιμοποιούνταν ειδικά για τη διευκόλυνση της κινητικής δραστηριότητας σε άτομα με KNM χωρίς εκτεταμένη κινητική εκπαίδευση.

Μετά την παρέμβαση, η ομάδα 2 εμφάνισε σε ορθοστάτιση σημαντική βελτίωση στην συστολική αρτηριακή πίεση, στην διαστολική αρτηριακή πίεση και στον καρδιακό ρυθμό. Οι συμμετέχοντες της ομάδας 2 δεν εμφάνισαν αρνητικές ενδείξεις σε ορθοστάτιση, ενώ οι

κατεχολαμίνες (σημαντική κατηγορία ορμονών και νευροδιαβιβαστών, οι οποίες συμμετέχουν στις βιοχημικές και φυσιολογικές διεργασίες των ζωικών οργανισμών), δεν αυξήθηκαν σημαντικά σε σύγκριση με τα επίπεδα τους σε ύπτια θέση. Οι συμμετέχοντες στην ομάδα 1 είχαν σημαντικά χαμηλότερες κυκλοφορούσες κατεχολαμίνες.

Επίσης, τα άτομα στην ομάδα 1 εμφάνισαν αυξήσεις στη συστολική αρτηριακή πίεση, τη διαστολική αρτηριακή πίεση και τον καρδιακό ρυθμό. Αντίθετα, τα άτομα στην ομάδα 2 δεν εμφάνισαν αύξηση της αρτηριακής πίεσης.

Κατά την ορθοστάτιση επίσης, τα άτομα της ομάδας 1 παρουσίασαν πτώσεις της αρτηριακής πίεσης. Αυτοί οι συμμετέχοντες ανέφεραν ότι αισθάνονταν ζάλη ή κόπωση και δεν μπορούσαν να συνεχίσουν να στέκονται. Όταν ο διεγέρτης ήταν ενεργοποιημένος, η αρτηριακή πίεση αυξήθηκε και τα αρνητικά συμπτώματα δεν ήταν τόσο έντονα. Οι συμμετέχοντες στην ομάδα 2 δεν παρουσίασαν πτώση της αρτηριακής πίεσης όταν στέκονταν όρθιοι και η εφαρμογή της ηλεκτρικής διέγερσης δεν αύξησε περαιτέρω την αρτηριακή τους πίεση (Aslan et al., 2018).

Σε μία άλλη μελέτη των Darrow et al. το 2019, συμμετείχαν δύο γυναίκες με KNM στο επίπεδο των θωρακικών σπονδύλων και ASIA A. Κατά τη διάρκεια της προεγχειρητικής εξέτασης, κατά την οποία τοποθετήθηκαν σε κρεβάτι με κλίση 70 μοιρών, η συμμετέχουσα 1 εμφάνισε ελάχιστη δυσавтоνομία ενώ η συμμετέχουσα 2 έδειξε σημαντική καρδιαγγειακή δυσλειτουργία. Κατά τη διάρκεια της εξέτασης της αρτηριακής πίεσης σε εικοσιτετράωρο επίπεδο, η συμμετέχουσα 1 έδειξε ένα φυσιολογικό νυχτερινό μοτίβο μειωμένης αρτηριακής πίεσης και καρδιακού ρυθμού ενώ η αιμοδυναμική της συμμετέχουσας 2 δεν διέφερε μεταξύ ημερήσιας και νυχτερινής περιόδου, κάτι το οποίο υποδεικνύει κακό αυτόνομο έλεγχο.

Μετά την παρέμβαση, κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης σε κρεβάτι με ανάκλιση, η συμμετέχουσα 1 διαπιστώθηκε ότι δεν είχε σημαντική αλλαγή στην αρτηριακή πίεση. Η αρτηριακή πίεση της παρακολουθήθηκε σε όλες τις κλινικές επισκέψεις και η διέγερση δεν βρέθηκε να την επηρεάζει. Η συμμετέχουσα 2 μετά την παρέμβαση, είχε αύξηση της αρτηριακής πίεσης με υποχώρηση των συμπτωμάτων της ζάλης και της ναυτίας τα οποία είχε προηγουμένως.

Η καρδιαγγειακή λειτουργία λοιπόν, αποκαταστάθηκε στη μια συμμετέχουσα με καρδιαγγειακή δυσавтоνομία χρησιμοποιώντας ηλεκτρική διέγερση NM κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης της σε κρεβάτι με κλίση, ενώ δεν επηρέασε τη λειτουργία την άλλη συμμετέχουσα η οποία εμφάνιζε ελάχιστη δυσавтоνομία (Darrow et al., 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΥΝΟΨΗ

3.1 Συμπεράσματα

Η επισκληρίδιος ηλεκτρική διέγερση NM λοιπόν, έχει θετικά αποτελέσματα αναφορικά με την μείωση του πόνου, τη βελτίωση της κινητικότητας, της λειτουργικότητας του εντέρου, της ουροδόχου κύστης, της σεξουαλικής λειτουργίας, της ρύθμισης της θερμοκρασίας και της καρδιαγγειακής λειτουργίας. Πλήθος ερευνών επιβεβαιώνουν αυτή την αποτελεσματικότητα, ωστόσο αναφορικά με την σεξουαλική λειτουργία και την ρύθμιση της θερμοκρασίας, έχουν πραγματοποιηθεί μικρός αριθμός μελετών και με μικρό αριθμό συμμετεχόντων.

Ξεκινώντας με τα αποτελέσματα αναφορικά με τον πόνο, 3 είναι οι τύποι ηλεκτρικής διέγερσης οι οποίοι χρησιμοποιούνται. Η συμβατική ηλεκτρική διέγερση είναι ο πιο παλιός τύπος με τον οποίο έχουν πραγματοποιηθεί οι περισσότερες μελέτες. Πληθώρα ασθενών οι οποίοι έλαβαν την συγκεκριμένη παρέμβαση, ανακουφίστηκαν από τον πόνο ο οποίος αφορούσε είτε άνω είτε κάτω άκρα. Επίσης, πολλοί ασθενείς μείωσαν την χρήση οπιοειδών. Οι συγγραφείς όμως κατέληξαν στο ότι πιο ευνοημένοι ήταν ασθενείς με ατελή KNM, ενώ η μακροπρόθεσμη αποτελεσματικότητα της παρέμβασης αμφισβητήθηκε. Οι λόγοι για τις διαφορές οι οποίες προκύπτουν μεταξύ των διαφορετικών μελετών της ηλεκτρικής διέγερσης στον έλεγχο του πόνου μετά από KNM είναι ασαφείς, αλλά μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αποτελεσματικότητα της συμβατικής ηλεκτρικής διέγερσης για την αναστολή του πόνου μπορεί να εξαρτάται από το σημείο της βλάβης και τον αριθμό των υπολειπόμενων ινών και άλλα νευρωνικά δίκτυα εντός του τραυματισμένου μυελού. Τις δυο τελευταίες δεκαετίες, κατά τις οποίες έχει αναπτυχθεί η Burst ηλεκτρική διέγερση, ήταν θετικά τα αποτελέσματα, χωρίς όμως να έχουν πραγματοποιηθεί αξιοσημείωτος αριθμός μελετών, ενώ από ό,τι γνωρίζουμε, καμία προκλινική ή κλινική μελέτη δεν έχει εξετάσει την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης υψηλής συχνότητας NM, για τον πόνο ο οποίος σχετίζεται με KNM. Επομένως, οι ενδείξεις χρησιμότητας και επιλογής διαφορετικών παραδειγμάτων ηλεκτρικής διέγερσης χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση σε τυχαιοποιημένες ελεγχόμενες δοκιμές με επαρκή μεγέθη δειγμάτων και μεθοδολογία (Young, 2015).

Συνεχίζοντας με την κινητική λειτουργία, τα αποτελέσματα έδειξαν ευεργετική δράση της παρέμβασης ως προς την κινητικότητα των άνω και κάτω άκρων, με την αύξηση δυνατότητας εκούσιας κινητικότητας τους, την αύξηση δύναμης μυών/αρθρώσεων, την αύξηση του εύρους κίνησης αρθρώσεων και τη δημιουργία περισσότερων και πιο γρήγορων βημάτων υποβοηθούμενα ή ανεξάρτητα, σε διάδρομο ή σε έδαφος. Επίσης, κάποιοι συμμετέχοντες είχαν

αλλαγή στην κατάταξη τους στην κλίμακα ASIA, με βελτίωση του σκορ το οποίο αφορά την κινητικότητα. Σε κάποιες από αυτές τις έρευνες τα θετικά αποτελέσματα ήταν ορατά πολύ σύντομα μετά την έναρξη της παρέμβασης, ακόμη και στην δοκιμαστική περίοδο. Συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα πως τα σπονδυλικά δίκτυα διαθέτουν μια ευέλικτη λειτουργικότητα η οποία μπορεί να διευκολυνθεί από την ηλεκτρική διέγερση του NM για να επιτρέψει την κινητική λειτουργία στα άνω άκρα σε άτομα με τετραπληγία καθώς και στα κάτω άκρα σε άτομα με παραπληγία (Huang et al., 2018).

Όσον αφορά τη λειτουργία του εντέρου, τα αποτελέσματα ήταν θετικά καθώς κάποιοι ασθενείς κατέκτησαν την εκούσια οικειοθελή κένωση του εντέρου, άλλοι μείωσαν τον χρόνο κένωσης μετά την παρέμβαση τουλάχιστον στο 1/3 του χρόνου τον οποίο χρειαζόταν πριν την παρέμβαση και άλλοι συμμετέχοντες είχαν βελτίωση στο NBS score. Παρά τα θετικά έως τώρα αποτελέσματα της παρέμβασης όσον αφορά τη λειτουργία του εντέρου, σύμφωνα με τους Walter et al., χρειάζονται παραπάνω μελέτες για να είμαστε σε θέση να κατανοήσουμε πλήρως τον μηχανισμό δράσης, κάτι το οποίο θα μας επιτρέψει να βρούμε τις βέλτιστες παραμέτρους διέγερσης και να στοχεύσουμε τις κατάλληλες δομές για να βελτιώσουμε αυτές τις πολύ σημαντικές λειτουργίες (Walter et al., 2018).

Στην λειτουργικότητα της ουροδόχου κύστης, υπήρχε μετά την παρέμβαση αύξηση των όγκων των οποίων μπορούσαν οι ασθενείς να κενώσουν και μείωση των υπολειπόμενων όγκων, αύξηση της χωρητικότητας της κύστης, εκούσια σύσπαση ουροδόχου κύστης, βελτιώνοντας έτσι την συνολική ποιότητα ζωής των ατόμων. Ένας μάλιστα συμμετέχοντας, ανέπτυξε πλήρως το αντανακλαστικό της ούρησης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχει πραγματοποιηθεί μικρός αριθμός μελετών για την επίδραση της παρέμβασης στην σεξουαλική λειτουργία και στην ρύθμιση της θερμοκρασίας. Σχετικά με την σεξουαλική λειτουργία, σε έναν άνδρα παρατηρήθηκε αύξηση της σεξουαλικής απόκρισης και απόδοσης, ενώ σε μια γυναίκα υπήρξε σταθερή επιστροφή ικανότητας επίτευξης οργασμού. Σχετικά με την θερμοκρασία, το μόνο που γνωρίζουμε είναι ότι σε κάποιους συμμετέχοντες, υπήρξε βελτίωση στον έλεγχο της θερμοκρασίας του σώματος.

Ως προς την σπαστικότητα τα αποτελέσματα με την χρήση της ηλεκτρικής διέγερσης ποικίλουν. Έρευνες αρχικά επιβεβαίωσαν την αποτελεσματικότητα της ηλεκτρικής διέγερσης NM σχετικά με τη μείωση της σπαστικότητας, όταν τα ηλεκτρόδια ήταν τοποθετημένα κάτω από το σημείο της βλάβης. Ωστόσο αμφισβητήθηκε αργότερα η μακροχρόνια αποτελεσματικότητα της, και θεωρήθηκε πως δεν ήταν οικονομική συμφέρουσα με αποτέλεσμα το ενδιαφέρον για την παρέμβαση (επιδιώκοντας αποτελέσματα σχετικά με την σπαστικότητα)

να μειωθεί το 1990. Δύο έρευνες, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν έπειτα κατέληξαν σε θετικά αποτελέσματα, με την μια να καταλήγει στο συμπέρασμα πως η παρέμβαση είναι πιο αποτελεσματική σε ασθενείς με παραπάρεση.

Τέλος, η παρέμβαση έδρασε θετικά και ως προς την καρδιαγγειακή λειτουργία, προκαλώντας βελτίωση της αρτηριακής, της συστολικής πίεσης και του καρδιακού ρυθμού, μείωση των κατεχολαμινών, μειώνοντας συμπτώματα ναυτίας ή ζάλης σε ορθοστάτιση των ασθενών ή σε τοποθέτηση τους σε κρεβάτι με κλίση.

3.2 Περιορισμοί παρέμβασης

Παρά τα θετικά αποτελέσματα της παρέμβασης, υπάρχουν και κάποιες αρνητικές συνιστώσες σε αυτή.

Ας ξεκινήσουμε από την απαραίτητη χειρουργική επέμβαση, στην οποία πραγματοποιείται πεταλεκτομή, η οποία οδηγεί σε μόνιμη αφαίρεση του ελάσματος του σπονδυλικού οστού. Αυτή η διαδικασία έχει εγγενείς κινδύνους, όπως η παραμόρφωση της ΣΣ ή η αστάθεια, καθώς η πεταλεκτομή πραγματοποιείται στο επίπεδο των Θ10-Ι1 σπονδύλων, περιοχή με σημαντικές δομές για την στήριξη του μυοσκελετικού συστήματος. Επίσης, η χειρουργική επέμβαση ενέχει κινδύνους λοίμωξης του χειρουργικού σημείου, αλλά απαιτείται και παρατεταμένος χρόνος μετεγχειρητικής αποκατάστασης.

Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις, σύμφωνα με τους Taccola et al., έχει παρατηρηθεί μόλυνση της περιοχής στην οποία τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια ή/και πόνος γύρω από την περιοχή του διεγέρτη.

Μια άλλη επιπλοκή η οποία μπορεί να προκύψει είναι η μετακίνηση των ηλεκτροδίων μετά την τοποθέτησή τους στη ΣΣ. Το μεγαλύτερο ποσοστό (13-22%), αφορά ηλεκτρόδια τα οποία είναι τοποθετημένα στους αυχενικούς σπονδύλους, καθώς ο βαθμός κίνησης αυτών των σπονδύλων είναι μεγαλύτερος.

Ακόμη, κατά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων μπορεί να προκληθεί βλάβη του ΝΜ, και σε 2% των ατόμων τα οποία αναλύθηκαν από τους Taccola et al., η βλάβη αυτή οδήγησε σε παραπληγία 30 μέρες μετά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων (Taccola et al., 2020).

Τα αποτελέσματα μέχρι στιγμής έχουν δείξει πως το επίπεδο τοποθέτησης των ηλεκτροδίων και οι παράμετροι της διέγερσης, θα πρέπει να είναι εξατομικευμένα, ανάλογα με την ανατομία του ΝΜ, τη σοβαρότητα της βλάβης και τον στόχο της παρέμβασης στον εκάστοτε ασθενή. Όμως, οι στρατηγικές οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα για τη βελτιστοποίηση της ηλεκτρικής διέγερσης ΝΜ σε κάθε ασθενή εξατομικευμένα, είναι χρονοβόρες και κοπιαστικές.

Επίσης, οι σημερινές παρεμβάσεις με ηλεκτρική διέγερση NM οι οποίες χρησιμοποιούνται σε άτομα με KNM, είναι οι ίδιες με εκείνες οι οποίες χρησιμοποιούνται σε άτομα τα οποία πάσχουν από χρόνιο πόνο ποικίλων αιτιών. Επομένως, η παρέμβαση δεν είναι βελτιστοποιημένη για τη συγκεκριμένη ομάδα ασθενών.

Σε όλες τις μελέτες οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί τα άτομα πριν την παρέμβαση με ηλεκτρική διέγερση, είχαν λάβει μήνες κινητικής αποκατάστασης και καθόλη τη διάρκεια της παρέμβασης πραγματοποιούσαν και φυσικοθεραπευτική αποκατάσταση. Η ποσότητα των φυσικοθεραπευτικών συνεδριών, η οποία λαμβάνουν αυτά τα άτομα υπερβαίνει κατά πολύ την ποσότητα την οποία συνήθως λαμβάνουν οι ασθενείς με KNM σε κλινικό περιβάλλον. Έτσι, είναι δύσκολο να καθοριστεί κατά πόσο η φυσικοθεραπευτική παρέμβαση ή/και κατά πόσο η ηλεκτρική διέγερση NM, συμβάλουν στην επίτευξη θετικών αποτελεσμάτων.

Τέλος, το κόστος της παρέμβασης είναι αρκετά μεγάλο, κάτι το οποίο δε δίνει τη δυνατότητα σε όλους τους ασθενείς να έχουν πρόσβαση σε αυτή (Calvert et al, 2019; Taccola et al., 2020).

3.3 Μελλοντικές προκλήσεις

Οι μελλοντικές προκλήσεις σχετικά με την επισκληρίδιο ηλεκτρική διέγερση NM αφορούν την δημιουργία συσκευής διέγερσης, η οποία θα είναι ευέλικτη και θα ελέγχει τις παραμέτρους οι οποίες απαιτούνται για τον συντονισμό της κινητικής απόκρισης, την ανάπτυξη αλγορίθμου ο οποίος θα αναγνωρίζει τις κατάλληλες παραμέτρους διέγερσης ανάλογα με το επίπεδο της βλάβης, ή/και το χρονικό διάστημα το οποίο έχει περάσει μετά από τον τραυματισμό ο οποίος δημιούργησε την βλάβη, την δημιουργία μιας συσκευής διασύνδεσης εγκεφάλου και NM, με την οποία το άτομο θα μπορεί να επιλέξει και να ρυθμίσει με ακρίβεια τις κινητικές του αποκρίσεις.

Θα μπορούσε επίσης, να χρησιμοποιείται ταυτόχρονα διέγερση σε πολλαπλά επίπεδα, στον NM, στις ρίζες των νεύρων και στα περιφερικά νεύρα. Ακόμη, θα μπορούσαν να αναπτυχθούν πιο περίπλοκοι και αποδοτικοί μηχανισμοί, οι οποίοι θα οδηγούν σε κατανάλωση λιγότερης ενέργειας από τον διεγέρτη έχοντας βελτιωμένη απόδοση, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη ζωή της μπαταρίας του διεγέρτη και την ανάγκη για συντήρηση της συσκευής.

Μια άλλη πρόκληση είναι η μείωση του κόστους της παρέμβασης, ώστε να είναι προσιτή σε περισσότερους ασθενείς.

Τέλος, θα μπορούσε να βελτιωθεί η τεχνολογία της παρέμβασης με τέτοιο τρόπο, ώστε αυτή να οδηγεί σε μειωμένα ποσοστά επιπλοκών και διατήρηση των αποτελεσμάτων για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα (Edgerton & Harkema, 2011; Geurts, 2017; Kunnumpurath, 2009).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

American spinal injury association. Available at : https://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2019/04/ASIA-ISCOS-IntlWorksheet_2019.pdf. [Accessed 25 November 2022]

Angeli, C.A. *et al.* (2014) “Altering spinal cord excitability enables voluntary movements after chronic complete paralysis in humans,” *Brain*, 137(5), pp. 1394–1409. Available at: <https://doi.org/10.1093/brain/awu038>.

Aslan, S.C. *et al.* (2018) “Epidural spinal cord stimulation of lumbosacral networks modulates arterial blood pressure in individuals with spinal cord injury-induced cardiovascular deficits,” *Frontiers in Physiology*, 9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00565>.

Bickenbach, J., Bodine, C., Brown, D., Burns, A., Campbell, R., and Cardenas, D., 2013. *International Perspectives on Spinal Cord Injury*. Available at https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/94190/9789241564663_eng.pdf. [Downloaded 5 October 2022]

Bosmia, A.N. *et al.* (2013) “Blood supply to the human spinal cord: Part I. anatomy and hemodynamics,” *Clinical Anatomy*, 28(1), pp. 52–64. Available at: <https://doi.org/10.1002/ca.22281>.

Burke, J.F. *et al.* (2021) “Epidural Spinal Electrogram provides direct spinal recordings in awake human participants,” *Frontiers in Human Neuroscience*, 15. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.721076>.

Calvert, J.S. *et al.* (2019) “Emergence of epidural electrical stimulation to facilitate sensorimotor network functionality after Spinal Cord Injury,” *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 22(3), pp. 244–252. Available at: <https://doi.org/10.1111/ner.12938>.

Capogrosso, M. *et al.* (2013) “A computational model for epidural electrical stimulation of spinal sensorimotor circuits,” *Journal of Neuroscience*, 33(49), pp. 19326–19340. Available at: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.1688-13.2013>.

Chen, Y. *et al.* (2013) “Causes of spinal cord injury,” *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 19(1), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.1310/sci1901-1>.

Cho, T.A. (2015) "Spinal Cord Functional Anatomy," *CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology*, 21, pp. 13–35. Available at: <https://doi.org/10.1212/01.con.0000461082.25876.4a>.

Darrow, D. *et al.* (2019) "Epidural spinal cord stimulation facilitates immediate restoration of dormant motor and autonomic supraspinal pathways after chronic neurologically complete spinal cord injury," *Journal of Neurotrauma*, 36(15), pp. 2325–2336. Available at: <https://doi.org/10.1089/neu.2018.6006>.

DiMarco, A., Geertman, R., Tabbaa, K., Nemunaitis, G. and Kowalski, K. (2019) "Case report: Effects of lower thoracic spinal cord stimulation on bowel management in a person with spinal cord injury," *Journal of Neurology and Neurobiology*, 5(1). Available at: <https://doi.org/10.16966/2379-7150.156>.

Edgerton, V.R. and Harkema, S. (2011) "Epidural stimulation of the spinal cord in spinal cord injury: Current status and future challenges," *Expert Review of Neurotherapeutics*, 11(10), pp. 1351–1353. Available at: <https://doi.org/10.1586/ern.11.129>.

Eisdorfer, J.T. *et al.* (2020) "Epidural electrical stimulation: A review of plasticity mechanisms that are hypothesized to underlie enhanced recovery from spinal cord injury with stimulation," *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 13. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnmol.2020.00163>.

Falowski, S., Celii, A. and Sharan, A. (2008) "Spinal cord stimulation: An update," *Neurotherapeutics*, 5(1), pp. 86–99. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nurt.2007.10.066>.

Formento, E. *et al.* (2018) "Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with Spinal Cord Injury," *Nature Neuroscience*, 21(12), pp. 1728–1741. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0262-6>.

Geurts, J.W., Joosten, E.A. and van Kleef, M. (2017) "Current status and future perspectives of spinal cord stimulation in treatment of chronic pain," *Pain*, 158(5), pp. 771–774. Available at: <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000847>.

Hachmann, J.T. *et al.* (2021) "Epidural spinal cord stimulation as an intervention for motor recovery after Motor Complete Spinal Cord Injury," *Journal of Neurophysiology*, 126(6), pp. 1843–1859. Available at: <https://doi.org/10.1152/jn.00020.2021>.

Harkema, S. *et al.* (2011) "Effect of epidural stimulation of the lumbosacral spinal cord on voluntary movement, standing, and assisted stepping after Motor Complete Paraplegia: A Case Study," *The Lancet*, 377(9781), pp. 1938–1947. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(11\)60547-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(11)60547-3).

Herrity, A.N. *et al.* (2021) "Improvements in bladder function following activity-based recovery training with epidural stimulation after chronic spinal cord injury," *Frontiers in Systems Neuroscience*, 14. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnsys.2020.614691>.

Hofstoetter, U.S. *et al.* (2021) "Spinal motor mapping by epidural stimulation of lumbosacral posterior roots in humans," *iScience*, 24(1), p. 101930. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101930>.

Huang, Q. *et al.* (2018) "Spinal cord stimulation for pain treatment after spinal cord injury," *Neuroscience Bulletin*, 35(3), pp. 527–539. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12264-018-0320-9>.

Kunnumpurath, S., Srinivasagopalan, R. and Vadivelu, N. (2009) "Spinal cord stimulation: Principles of past, Present and future practice: A review," *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 23(5), pp. 333–339. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10877-009-9201-0>.

Laskin, J.J. *et al.* (2022) "Spinal Cord Stimulation Research in the restoration of motor, sensory, and autonomic function for individuals living with spinal cord injuries: A scoping review," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 103(7), pp. 1387–1397. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.01.161>.

Lin, A. *et al.* (2022) "A review of functional restoration from spinal cord stimulation in patients with spinal cord injury," *Neurospine*, 19(3), pp. 703–734. Available at: <https://doi.org/10.14245/ns.2244652.326>.

Mayfield Brain & Spine, 2021. *Spinal Cord Stimulation*. Available at : <https://mayfieldclinic.com/pe-stim.htm>. [Accessed 11December 2022].

McHugh, C. *et al.* (2021) "Epidural spinal cord stimulation for motor recovery in Spinal Cord Injury: A systematic review," *NeuroRehabilitation*, 49(1), pp. 1–22. Available at: <https://doi.org/10.3233/nre-210093>.

Kaplan, M., 2022. *Usmle step 1 lecture notes 2022*. New York: Kaplan Publishing.

Melzack, R. and Wall, P.D. (1965) "Pain mechanisms: A new theory," *Science*, 150(3699), pp. 971–979. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.150.3699.971>.

Moore, K., Dalley, A. και Agur, A., 2016. *Κλινική Ανατομία*. Λευκωσία : Πασχαλίδης.

Nachum, D. 2020. Chapter 3: Anatomy of the Spinal Cord – Neuroscience, Department of Neurobiology and Anatomy. The UT Medical School at Houston. Available at : <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/m/s2/chapter03.html> [Accessed 4 October 2022]

Nagel, S.J. *et al.* (2017) "Spinal cord stimulation for spasticity: Historical approaches, current status, and Future Directions," *Neuromodulation: Technology at the Neural Interface*, 20(4), pp. 307–321. Available at: <https://doi.org/10.1111/ner.12591>.

Pettigrew, R.I. *et al.* (2017) "Epidural spinal stimulation to improve bladder, bowel, and sexual function in individuals with spinal cord injuries: A Framework for Clinical Research," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 64(2), pp. 253–262. Available at: <https://doi.org/10.1109/tbme.2016.2637301>.

Pinter, M.M., Gerstenbrand, F. and Dimitrijevic, M.R. (2000) "Epidural electrical stimulation of posterior structures of the human lumbosacral cord: 3. control of spasticity," *Spinal Cord*, 38(9), pp. 524–531. Available at: <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101040>.

Rainville, P. (2002) "Brain mechanisms of pain affect and pain modulation," *Current Opinion in Neurobiology*, 12(2), pp. 195–204. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0959-4388\(02\)00313-6](https://doi.org/10.1016/s0959-4388(02)00313-6).

Sheerin, F. (2004) "Spinal Cord Injury: Anatomy and physiology of the Spinal Cord," *Emergency Nurse*, 12(8), pp. 30–36. Available at: <https://doi.org/10.7748/en2004.12.12.8.30.c1178>.

Snell, R. 2010. *Κλινική Νευροανατομική*. Αθήνα : Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας.

Sobotta, 2010. *Άτλαντας Ανατομικής του Ανθρώπου*. Αθήνα : Παρισιάνος.

Steadman, C.J. and Grill, W.M. (2020) "Spinal cord stimulation for the restoration of bladder function after spinal cord injury," *Healthcare Technology Letters*, 7(3), pp. 87–92. Available at: <https://doi.org/10.1049/htl.2020.0026>.

Steuer, I. and Guertin, P.A. (2019) "Central pattern generators in the brainstem and spinal cord: An overview of basic principles, similarities and differences," *Reviews in the Neurosciences*, 30(2), pp. 107–164. Available at: <https://doi.org/10.1515/revneuro-2017-0102>.

Taccola, G. *et al.* (2020) "Complications of epidural spinal stimulation: Lessons from the past and alternatives for the future," *Spinal Cord*, 58(10), pp. 1049–1059. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41393-020-0505-8>.

Tator, CH., Minassian, K., and Mushahwar, VK. 2012. Spinal cord stimulation. Handbook of Clinical Neurology

Walter, M. *et al.* (2018) "Epidural spinal cord stimulation acutely modulates lower urinary tract and bowel function following spinal cord injury: A case report," *Frontiers in Physiology*, 9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01816>.

Young, W. (2015) "Electrical stimulation and motor recovery," *Cell Transplantation*, 24(3), pp. 429–446. Available at: <https://doi.org/10.3727/096368915x686904>.

Zan, E. *et al.* (2011) "Spinal cord stimulators: Typical positioning and postsurgical complications," *American Journal of Roentgenology*, 196(2), pp. 437–445. Available at: <https://doi.org/10.2214/ajr.10.4789>.

Βενετίκου, Μ. 2016. *Φυσιολογία του ανθρώπου*. Αθήνα : Ζεβελεκάκη.

Μπάκας, Ελ. 2012. *Αποκατάσταση Ασθενή με Βλάβη ή Κάκωση Νωτιαίου Μυελού*. Αθήνα : Κωνσταντάρας

Σάπκας, Γ., 2010. *Ορθοπαιδική και τραυματολογία του μυοσκελετικού συστήματος*. Αθήνα : Κωνσταντάρας.

Τσαγκουριάς, Μ., *Θέματα Αναισθησιολογίας και Εντατικής Ιατρικής*. Available at : https://anesthesia.gr/download/TOMOS_5/tefhos_11/12.pdf. [Accessed 16 October 2022]

