

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΥΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΝΟΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ  
ΤΟΥ ΘΩΡΑΚΙΚΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

**ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΑΧΠΑΤΣΙΔΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΣΑΒΒΑΣ ΜΑΥΡΟΜΟΥΣΤΑΚΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2018**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΩΡΑΚΙΚΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

**ΕΥΓΕΝΙΑ ΣΑΧΠΑΤΣΙΔΟΥ**

**Α.Μ.: 4385/14**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΣΑΒΒΑΣ ΜΑΥΡΟΜΟΥΣΤΑΚΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

1. ....
2. ....
3. ....

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ... / ... / 2018**

*Στην Αλεξία*



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον Θεό για όλα όσα μου χάρισε, για την περάτωση αυτού του δρόμου. Ωστόσο, «κανένας δεν υπάρχει μόνος χωρίς τη βοήθεια του άλλου» ( Γ. Ρίτσος), επομένως, δέκτες των ευχαριστιών μου είναι και όλοι εκείνοι, που στάθηκαν δίπλα μου.

Ξεκινώ με τον εισηγητή και δάσκαλό μου κ. Σάββα Μαυρομούστακο. Δεν θα μπορούσα να φανταστώ καλύτερο μέντορα για την πτυχιακή μου. Η πόρτα του γραφείου ήταν πάντα ανοιχτή, κάθε φορά που αντιμετώπιζα ένα πρόβλημα ή με απασχολούσε κάποιο ερώτημα σχετικά με το θέμα. Μου παρείχε κίνητρα, μου πρόσφερε τις τεράστιες γνώσεις και την εμπειρία του, με οδηγούσε προς την σωστή κατεύθυνση κάθε φορά που έκρινε ότι την χρειαζόμουν. Χωρίς την συνδρομή του, την υπομονή και κατανόησή του, την πολύτιμη καθοδήγηση και ενθάρρυνσή του, η ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήταν ανέφικτη.

Καταθέτω γραπτώς ειλικρινές ευχαριστίες στους αγαπητούς και σεβαστούς Καθηγητές του Τμήματος Φυσικοθεραπείας. Το ύφος της διδασκαλίας, ο ενθουσιασμός τους, το πάθος και η αγάπη τους για την επιστήμη και τον άνθρωπο μου έκαναν ισχυρή εντύπωση από την πρώτη στιγμή, κρατούσαν αμείωτο το ενδιαφέρον μου σε κάθε μάθημα, μου χάρισαν θετικές και όμορφες αναμνήσεις, μα, προπαντός, μετέτρεψαν τις σπουδές μου σε ένα υπέροχο ταξίδι εξερεύνησης και αποκάλυψης στον κόσμο μιας επιστήμης, που μπορεί να προσφέρει πολλά στον άνθρωπο.

Είμαι εξαιρετικά ευγνώμων στην Έφη Μπουτμπάρα, γιατρό και φίλη. Συζητήσαμε το θέμα, έθιξε σημαντικά σημεία στην συζήτησή μας, μου πρόσφερε την βοήθειά της και τις γνώσεις της μαζί με την ενθάρρυνσή της.

Οφείλω πολλά στον καλό μου φίλο και γιατρό Χρήστο Κοτανίδη. Ατέλειωτες ώρες συζητούσαμε μαζί ανταλλάσσοντας σκέψεις, διορθώνοντας τα λάθη ή συμπληρώνοντας τα κενά στις σκέψεις μου. Η βοήθεια του ήταν πολύτιμη· η πίστη και η προσοχή του ανεκτίμητες.

Χρησιμοποιώ αυτή την ευκαιρία για να εκφράσω και γραπτά τις ευχαριστίες μου στη καλή μου φίλη Αγγελική Περδικάρη, για την ακλόνητη φιλία της. Στήριζε με τα λόγια της, συνέδραμε με τις γνώσεις της και έβρισκε πάντα χρόνο για μένα.

Ωστόσο, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στην μεγάλη μου οικογένεια, στους κόλπους της οποίας έμαθα την μετάφραση της λέξης «αγάπη»: στον πνευματικό μου πατέρα και οδηγό μακαριστό π. Θεόφιλο Ζησόπουλο, το μεγαλειώδες όραμα του οποίου με ενέπνευσε και με οδήγησε στην σπουδή της εκπληκτικής αυτής επιστήμης - έκφρασης αγάπης και προσφοράς προς τον πάσχοντα συνάνθρωπο...

...Και στην μικρή μου οικογένεια, στους καλούς μου γονείς και αδέρφια. Ονομαστικά θα αναφέρω την Μαρία και τον Χάρη, που δούλεψαν με μεράκι και μου χάρισαν τις υπέροχες φωτογραφίες του 6<sup>ου</sup> κεφαλαίου και τον Στράτο που παρείχε τον τεχνικό εξοπλισμό.

Το τελευταίο ευχαριστώ το κράτησα για έναν ξεχωριστό άνθρωπο, την Αλεξία, που νιώθει και ακούει όσα λέω κι εκείνα που δεν λέω, που με ωθεί σ' αυτό το «κάτι παραπάνω», που όλοι θέλουμε μα λίγοι τολμούμε, στην οποία και αφιερώνω αυτήν την εργασία.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	11
ABSTRACT.....	12
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ .....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ .....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....	23
3.1. Εμβρυϊκό διάφραγμα .....	23
3.2. Βρεφικό διάφραγμα .....	25
3.2.1. Ιδιαιτερότητες της αναπνοής και του διαφράγματος των βρεφών .....	25
3.2.2. Μηχανική.....	26
3.2.3. Παραγωγή πίεσης.....	27
3.2.4. Τύποι μυϊκών ινών .....	28
3.2.5. Η επίδραση της θέση του σώματος στην διαφραγματική λειτουργία.....	28
3.3. Ανατομία του διαφράγματος .....	29
3.3.1 Σύνδεση του διαφράγματος με τα όργανα της κοιλιακής και της θωρακικής κοιλότητας .....	32
3.3.2 Νευρολογικές συνδέσεις.....	33
3.4. Τύποι μυϊκών ινών και Ιδιοδεκτικοί υποδοχείς .....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ .....	37
4.1. Το διάφραγμα ως αναπνευστικός μυς.....	37
4.1.1. Η αναπνοή.....	37
4.1.1.1. Τί είναι η αναπνοή .....	37
4.1.1.2. Λειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος.....	38
4.1.1.3. Ο έλεγχος της αναπνοής .....	38
4.1.1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον αερισμό .....	40

4.1.1.5. Πιέσεις.....	40
4.1.1.7. Συνοπτική ανατομία του αναπνευστικού συστήματος.....	41
4.1.2. Το θωρακικό τοίχωμα.....	42
4.1.2.1. Τα οστά του θωρακικού τοιχώματος.....	42
4.1.2.2. Αρθρώσεις του θωρακικού τοιχώματος .....	45
4.1.3. Αναπνευστικοί μύες - Φυσιολογία .....	46
4.1.4. Μυϊκή ισχύς αναπνευστικών μυών .....	47
4.1.5. Μηχανική της αναπνοής.....	48
4.1.5.1. Οι κινήσεις του θωρακικού τοιχώματος κατά την αναπνοή.....	49
4.1.5.3. Εισπνευστική δράση του διαφράγματος .....	52
4.1.6. Επικουρικοί αναπνευστικοί μύες.....	56
4.1.6.1. Μεσοπλεύριοι μύες.....	56
4.1.6.2. Εγκάρσιος πλευρικός μυς.....	57
4.1.6.3. Ανεκλήρες των πλευρών.....	58
4.1.6.4. Στερνοκλειδομαστοειδής μυς .....	58
4.1.6.5. Πρόσθιος οδοντωτός μυς.....	58
4.1.6.6. Οπίσθιος οδοντωτός μυς.....	59
4.1.6.8. Μείζων και ελάσσων θωρακικός μυς.....	59
4.1.6.9. Τετράγωνος οσφυϊκός μυς.....	60
4.1.6.10. Σκαληνοί μύες .....	61
4.1.6.11. Κοιλιακοί μύες .....	62
4.1.6.12. Ορθωτήρας του κορμού.....	63
4.1.6.13. Υποπλεύριοι μύες.....	64
4.1.6.14. Εγκάρσιος θωρακικός μυς.....	64
4.1.7. Εκπνοή.....	65
4.1.8. Φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναπνοή .....	66
4.1.8.1. Στάση του σώματος .....	66
4.1.8.2. Φύλο και Ηλικία .....	67
4.2. Άλλες λειτουργίες του διαφράγματος .....	67
4.2.1. Σπλαχνική οργάνωση και λειτουργία.....	68
4.2.2. Η σύνδεση του διαφράγματος με την οσφυοπυελική περιοχή .....	70
4.2.2.1. Core stability .....	70
4.2.2.2. Το διάφραγμα και η λειτουργία των οργάνων της πύελου.....	75
4.2.2.3. Διάφραγμα, πυελικό άλγος, ακράτεια .....	77



4.2.2.4. Διάφραγμα – Μείζων ψοΐτης – Τετράγωνος οσφυϊκός .....	78
4.2.3. Διάφραγμα και κίνηση .....	79
4.2.4. Η συμμετοχή του διαφράγματος στην εκλυτική λειτουργία.....	81
4.2.5. Το διάφραγμα και η καρδιακή λειτουργία.....	82
4.2.6. Διάφραγμα και λεμφική παροχέτευση.....	83
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>85</b>
5.1. Αίτια δυσλειτουργίας του διαφράγματος.....	85
5.2. Παθήσεις του διαφράγματος.....	86
5.2.1. Συγγενείς ανωμαλίες.....	86
5.2.1.1. Διαφραγματοκήλη Bochdalek (CDH) .....	86
5.2.1.2. Διαφραγματοκήλη Morgani.....	87
5.2.1.3. Ύβωση ημιδιαφράγματος .....	87
5.2.1.4. Φυσιολογικές παραλλαγές του διαφράγματος.....	88
5.2.2. Επίκτητες διαφραγματοκήλες.....	88
5.2.2.1. Κήλη του οισοφαγικού τρήματος .....	88
5.2.2.2. Τραυματική διαφραγματοκήλη.....	88
5.2.3. Παράλυση του διαφράγματος.....	89
5.2.4. Λόξιγκας .....	89
5.2.5. Κάματος του διαφράγματος.....	90
5.2.6. Σύνδεση του διαφράγματος με άλλες παθήσεις.....	93
5.2.6.1. Αναπνευστικές διαταραχές.....	93
5.2.6.2. Διάφραγμα και οσφυαλγία (low back pain – LBP) .....	94
5.2.6.3. Νευρομυϊκές διαταραχές.....	96
5.2.6.4. Ημιπληγία .....	97
5.2.6.5. Παθήσεις του νωτιαίου μυελού .....	98
5.2.6.5i. Τετραπληγία .....	98
5.2.6.5ii. Βλάβη της κατώτερης Α.Μ.Σ.Σ. ....	98
5.2.6.6. Παθήσεις εξωγενούς αιτιολογίας.....	100
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ .....</b>	<b>101</b>
6.1. Τεχνικές ψηλάφησης .....	102
6.2. Φυσικοθεραπευτική διευκόλυνσης της διαφραγματικής λειτουργίας.....	106
6.2.1. Διδασκαλία διαφραγματικής αναπνοής.....	107

6.2.2. Manual Therapy.....	110
6.2.3. Τεχνικές Ιδιοδέτριας Νευρομυϊκής Επανεκπαίδευσης-PNF .....	111
6.2.4. Οστεοπαθητική.....	115
6.2.4.1. Ομαλοποίηση των σκελών του διαφράγματος.....	115
6.2.4.2. Εξισορρόπηση των διαφραγμάτων.....	116
6.2.4.3. Τεχνική για την διαφραγματοκήλη.....	116
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	118
ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	119

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Εισαγωγή: Λαμβάνοντας υπόψιν την συλλογιστική και τα συμπεράσματα των συγχρόνων ερευνών, υποθέτουμε, ότι είναι δυνατή η ύπαρξη μιας αμφίδρομης σχέσης μεταξύ του αναπνευστικού διαφράγματος, εσωτερικών οργάνων και διαφόρων συστημάτων του οργανισμού.

Υπόβαθρο: Στόχος της εργασίας είναι, να διερευνηθεί η λειτουργικότητα του θωρακικού διαφράγματος και η σχέση του, εκτός από την αναπνοή, με ιστούς, δομές και λειτουργίες του ανθρωπίνου σώματος.

Μέθοδος: Η παρούσα μελέτη είναι μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, με αναζήτηση άρθρων των τελευταίων δεκαετιών στην ηλεκτρονική βάση δεδομένων Medline με τις λέξεις-κλειδιά: «διάφραγμα», «ανάπτυξη», «ανατομικές συνδέσεις», «λειτουργία», «δυσλειτουργία», «κεντρική σταθερότητα», «αξιολόγηση», «Manual Therapy», «PNF», «οστεοπαθητική». Επίσης αναζητήσαμε χειροκίνητα τις βιβλιογραφικές αναφορές των μελετών που συμπεριελήφθησαν από το πρώτο στάδιο. Η τελευταία αναζήτηση πραγματοποιήθηκε στις 01.10.2018.

Αποτελέσματα: Η ανασκόπηση της τρέχουσας γνώσης συγκλίνει στην άποψη, ότι το θωρακικό διάφραγμα πέρα από την κύρια, αναπνευστική λειτουργία του, έχει εξίσου σημαντικό ρόλο σε λειτουργίες και δομές που σχετίζονται με την παραγωγή υψηλής ενδοκοιλιακής πίεσης ή/και με την κίνηση του μυός. Είναι πιθανόν επίσης να συμμετέχει σε αιτίες άλγους, όπου παρατηρούνται βιομηχανικές αλλαγές στην σπονδυλική στήλη.

Συμπέρασμα: Το διάφραγμα δεν λειτουργεί απομονωμένα, αλλά είναι μέρος ενός συστήματος, με την λειτουργία του να βρίσκεται σε άμεση ή έμμεση αλληλεπίδραση με άλλες δομές, ιστούς και συστήματα, συμβάλλοντας στην γενική υγεία του οργανισμού.

Λέξεις κλειδιά: διάφραγμα, συνδέσεις, δυσλειτουργία, κεντρική σταθερότητα, αξιολόγηση, manual therapy, PNF, οστεοπαθητική.

## ABSTRACT

Introduction: Taking into consideration the reasoning and conclusions of modern scientific research, we assume that there may be a bidirectional mutual relationship between the thoracic diaphragm, internal organs and various systems of the human organism.

Objective: This study aimed to investigate the functionality of the thoracic diaphragm and its relationship, besides respiration, with other structures and functions of the human body.

Method: We searched the online database Medline, for articles published in recent years using the keywords “diaphragm”, development, anatomic connection, function, dysfunction, core stability, evaluation manual therapy, PNF, osteopathic. We also hand-searched references lists of the included studies. The last search took place on 26.08.2018.

Results: The review of current scientific knowledge converges to the point that the thoracic diaphragm, apart from its principal, respiratory function, is also important to functions and structures that are associated with the production of high intra-abdominal pressure and/or muscle movement. It is also likely that it is involved in causes of pain where biomechanical changes occur in the spine.

Conclusion: The thoracic diaphragm is not just a part of the organism, but a part of body’s system, the function of which is in direct or indirect interaction with other structures, tissues and systems in the body, contributing to the general health of the organism.

Keywords: diaphragm, connections, dysfunction, core stability, evaluation, osteopathic, manual therapy, PNF.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θωρακικό διάφραγμα είναι ο κύριος αναπνευστικός μυς. Συμμετέχει ακόμη σε λειτουργίες όπως η φώνηση, η κατάποση, ο έμετος, η ούρηση και η αφόδευση. Και όχι μόνον!...

Είναι πλέον αποδεδειγμένη η λειτουργική σύνδεση του διαφράγματος με άλλους ιστούς και η συνεργική του δράση στο μυϊκό – ερειστικό σύστημα, στο κυκλοφορικό, λεμφικό, πεπτικό, στο νευρικό και στο σύστημα των αισθητηρίων οργάνων, στο ουροποιητικό και στο αναπαραγωγικό σύστημα. Έχει στενή σχέση με την οσφυοπυελική περιοχή και ενεργή συμμετοχή στην κεντρική σταθερότητα (core stability). Η δράση του είναι ουσιαστική στον στατικό έλεγχο. Ακόμη, η λειτουργία του επηρεάζει την αντίληψη του πόνου και τη συναισθηματική κατάσταση. Αυτό είναι το αντικείμενο μελέτης της παρούσης εργασίας, η οποία συνοπτικά παρουσιάζει την εξής δομή:

Στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή για σχετικές με το διάφραγμα αρχαίες αναφορές. Ακολουθεί το 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιεχόμενο του οποίου είναι η εξελικτική προέλευση του διαφράγματος των θηλαστικών. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η ανάπτυξη και η ανατομία του διαφράγματος από την εμβρυϊκή ηλικία έως την ενηλικίωση, και οι διαφορές μεταξύ του βρεφικού και του ενήλικου διαφράγματος. Το 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιλαμβάνει τις λειτουργίες του διαφράγματος. Παρουσιάζεται ο ρόλος του μυός στην αναπνοή, στην σπλαχνική οργάνωση, η σύνδεσή του με την οσφυοπυελική περιοχή και, τέλος, η σχέση του με την εκλυτική, καρδιακή και λεμφική λειτουργία. Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται συνοπτικά η παθολογία του διαφράγματος και παθήσεις που επηρεάζουν την λειτουργία του.

Προϋπόθεση της οργάνωσης ενός εξατομικευμένου πλάνου θεραπείας αποτελεί πάντα η σωστή αξιολόγηση, επί του προκειμένου, της διαφραγματικής λειτουργίας. Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν διαγνωστικά μέσα όπως ακτινογραφία θώρακος, υπερηχογράφημα, ηλεκτρομυογράφημα, μαγνητική τομογραφία, προσδιορισμός του δείκτη τάσης-χρόνου,

κ.ά. Ωστόσο ο τρόπος που ανά πάσα στιγμή είναι διαθέσιμος στον φυσικοθεραπευτή είναι η ψηλάφηση. Για τον λόγο αυτό στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζονται τεχνικές δια χειρός αξιολόγησης του διαφράγματος και στην συνέχεια μέθοδοι φυσικοθεραπευτικής παρέμβασης. Από τις φυσικοθεραπευτικές τεχνικές διευκόλυνσης και ενίσχυσης της διαφραγματικής λειτουργίας, έχουν επιλεγεί ενδεικτικές παρεμβάσεις από Manual Therapy, PNF και Οστεοπαθητική, ωστόσο οι περισσότερες κινούνται γύρω από την ίδια φιλοσοφία.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αναπνοή είναι συστημική δραστηριότητα που αφορά σε ολόκληρο το σώμα: εσωτερικά όργανα, εριστικό και νευρικό σύστημα, συναισθήματα. Ο κύριος αναπνευστικός μυς είναι το διάφραγμα· η εύρυθμη λειτουργία του, μαζί με εκείνη της καρδιάς, διασφαλίζει ποιοτική μακροβιότητα. Η σημαντικότητα της αναπνοής καταδεικνύει την σημαντικότητα του ίδιου του μυός, ο οποίος, ωστόσο, συνδέεται και με άλλες λειτουργίες(1). Συνοπτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε ότι:

- Με την διαφραγματική αναπνοή επιτυγχάνεται ο έλεγχος της ταχύτητας εκπνοής. Η ελεγχόμενη εκπνεόμενη ροή αέρα δημιουργεί ποικιλόχρωμη φώνηση και τραγούδι. (2)
- Το διάφραγμα συμμετέχει στον έλεγχο των ισορροπιών πίεσης μεταξύ κοιλιακής και θωρακικής κοιλότητας. Υπάρχει η υπόθεση, ότι η διαφοροποίηση της πίεσης επηρεάζει την ανακατανομή του αίματος, η οποία πιθανό σχετίζεται με την μείωση της αντίληψης του πόνου.(3)
- Οι κινήσεις του διαφράγματος προάγουν την λειτουργία των σπλάγγων άνωθεν και κάτωθεν του μυός, ιδιαιτέρως την πέψη(4) στην οποία επιδρά: α) μέσω του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος και β) μέσω της κίνησής του, που βελτιώνει την λειτουργία των πεπτικών οργάνων.(5)
- Η αναπνοή διεγείρει τους μηχανοϋποδοχείς του διαφράγματος και τους σπλαχνικούς υποδοχείς (ενδοδεκτικότητα). (3)
- Το διάφραγμα λειτουργεί ως αντλία υποστηρίζοντας την κυκλοφορία και την λεμφική αποστράγγιση: καλύτερη αιματική και λεμφική κυκλοφορία εξασφαλίζει καλή τροφική των ιστών, μείωση της στασιμότητας των αποβλήτων, βελτίωση της υγείας,(6)
- Ο ρυθμός της αναπνοής επηρεάζει:
  - την δραστηριότητα του εγκεφάλου,(7)(8)

- τον ιππόκαμπο (μνήμη), την αμυγδαλή (συναισθηματικό κέντρο), τον οσφρητικό ή απιοειδή φλοιό (όσφρηση),(8) μέρη του σωματικού συστήματος που είναι υπεύθυνο για τα υψηλότερα συναισθήματα μας,(7) για συναισθήματα όπως θυμός ή φόβος, και για ένστικτα π.χ. πείνα, σεξουαλικό ένστικτο, φροντίδα για τους απογόνους.
- Η διαφραγματική δραστηριότητα είναι θεμελιώδους σημασίας για τη διατήρηση των μεταβολών της στάσης και της θέσης του σώματος.(3)
- Το διάφραγμα σε αλληλεπίδραση με την οσφυοπυελική περιοχή, λειτουργεί ως σταθεροποιητής του πυελικού εδάφους και της σπονδυλικής στήλης.
- Το διάφραγμα και η στάση του σώματος έχουν σχέση αμφίδρομη με την συναισθηματική κατάσταση. Μια αναπνευστική διαταραχή μεταβάλλει το συναισθηματικό πλαίσιο και το αντίθετο, η συναισθηματική κατάσταση δύναται να επηρεάσει την αναπνευστική δραστηριότητα.(3)
- Οι διαφραγματικές κινήσεις διεγείρουν το δέρμα και το μεσοθωράκιο.(3)
- Σε συστηματική νόσο, το διάφραγμα εμπλέκεται πάντα, συμβάλλοντας αρνητικά στο σύνολο των συμπτωμάτων.
- Οι οστεοπαθητικοί αναφέρουν τις ανατομικές, περιτοναϊκές και νευρολογικές συνδέσεις του θωρακικού διαφράγματος με τα άλλα τρία διαφράγματα του σώματος (cranial – cervical – pelvic diaphragm),(9) και το διάφραγμα ως σταυροδρόμι πληροφοριών από ολόκληρο το σώμα.(9)(10)
- Το διάφραγμα συμμετέχει σε λειτουργίες όπως η απόγχευση, ο εμετός, η κατάποση, η ούρηση, η αφόδευση, ο τοκετός.(1)
- Ο γιατρός Yùchāng το 1645 στο Yuyêso (我意草) αναφέρει το συσφιγμένο διάφραγμα ως την νόσο των γυναικών αλλά και του εμβρύου στη μήτρα ή του βρέφους που θηλάζει και της ανεπαρκούς παραγωγής μητρικού γάλακτος.(11)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

«Εὐφροίας ἤς ἔτυχες μνημόνευε» (Κλειόβουλος ο Ρόδιος).

Ξεφυλλίζοντας την ιστορία της Επιστήμης εντοπίζουμε το διάφραγμα ως ξεχωριστή ανατομική δομή στα σωζόμενα αρχαία ελληνικά κείμενα.

Στα Ομηρικά Έπη (9ος αι. π.Χ.) το διάφραγμα εμπεριέχεται στην λέξη «φρήν/φρένες», που αναφέρεται στην καρδιά και στα «περί αυτήν», και διαχωρίζει την καρδιά και τους πνεύμονες από το ήπαρ και τον σπλήνα. Αφομοιώνεται στην περιοχή που ελλιμενίζει την σκέψη και τα συναισθήματα. Έχει σχέση με την «φρόνηση» και το «φρονεῖν», η δε φλεγμονή του προκαλεί «παραφροσύνη». Ωστόσο η λέξη «φρήν» δεν ορίζει μόνο το διάφραγμα, αλλά και το περικάρδιο, τον πνεύμονα, την σκέψη, την λογική, τα συναισθήματα. (12)

Σχετικοί στίχοι από την Ιλιάδα:

- ✓ «... Ἔκτορα δ' αἰνὸν ἄχος πύκασε φρένας ἠνιόχοιο»,(13)
- ✓ «... Ἀργείους καὶ νῆας, ἐπεὶ Διὸς ἐτράπετο φρήν»,(14)
- ✓ «... ὃ δ' ὕστερος ὄρνυτο χαλκῶ / Πάτροκλος· τοῦ δ' οὐχ ἄλιον βέλος ἔκφυγε χειρός / ἀλλ' ἔβαλ' ἔνθ' ἄρα τε φρένες ἔρχεται ἀμφ' ἀδινὸν κῆρ»,(15)

Τον 6ο-5ο αι. π.Χ., «λέγει περί ἀναπνοῆς καὶ Ἐμπεδοκλῆς», αντιπαραβάλλοντας την λειτουργία της αναπνοῆς με εκείνην της κλεψύδρας.(12) Το ίδιο θέμα απασχόλησε επίσης και τους: Δημόκριτο Αβδηρίτη, Αναξαγόρα, Διογένη Απολλωνιάτη.

Από την Ιπποκρατική Σχολή:

- ➔ Η αναπνοή χρησιμοποιείται ως διαγνωστικό μέσο, εισάγεται η ορολογία: αργή-γρήγορη, βαθιά-ρηχή, ελεύθερη-εργώδης, περιοδική αναπνοή,

- ↳ εφαρμόζεται η ακρόαση του θώρακα και αναφέρονται οι ήχοι ως τυμπανικοί, τριβής και η «ιπποκρατική σείσις»,
- ↳ περιγράφονται τα προβλήματα της αναπνοής λόγω σκολίωσης,
- ↳ αναιρείται η αντίληψη, ότι το διάφραγμα είναι το κέντρο της σκέψης και των αισθημάτων, χωρίς ωστόσο να αποσαφηνίζεται ο ρόλος του -η σύνδεση των μυών με την κίνηση γίνεται λίγο αργότερα-, γίνεται συσχέτιση της φρενίτιδας με το διάφραγμα με τρεις κλινικές περιγραφές.(12)

Στον «Τιμαίο» πρώτος ο Πλάτων χρησιμοποιεί τον όρο «διάφραγμα»: «**τάς φρένας διάφραγμα εἰς τό μέσον αὐτῶν τιθέντες**»(16) και περιγράφει την αναπνοή ως μια κυκλική ώθηση του αέρα και της φωτιάς. Θεωρεί ότι οι πνεύμονες ψύχουν την καρδιά, όταν αυτή θερμαίνεται λόγω αρνητικών συναισθημάτων(17) και το διάφραγμα συμμετέχει στην τριμερή διαίρεση της ψυχής<sup>1</sup>.(18)

Ο Αριστοτέλης επιχειρώντας μια δική του προσέγγιση στο έργο του «Περί ἀναπνοῆς» υποστηρίζει, ότι σκοπός της αναπνοής είναι, να ψύχει την έμφυτη θερμότητα του σώματος, παρομοιάζοντας την λειτουργία της με αυτή των φουσητήρων στα σιδηρουργεία, «*παραπλησίαν μὲν εἶναι ταῖς φύσαις ταῖς ἐν τοῖς χαλκείοις*».(19) Ωστόσο και ο Αριστοτέλης θεωρεί ως κύριο ρόλο του διαφράγματος τον διαχωρισμό του ανώτερου από το κατώτερο μέρος της ψυχής. Αναφέρει το «σαρδόνιο χαμόγελο» (*rire jaune*), το οποίο ο Baron Percy υποδεικνύει ως κλινική ένδειξη τραυματισμού ή ρήξης του διαφράγματος· η έννοια του μυός ως συστατικού στοιχείου παραγωγής δύναμης και κίνησης δεν είχε αναπτυχθεί ακόμη.(12)

Οι αλεξανδρινοί χρόνοι αποτελούν ορόσημο στην ιστορία της ιατρικής επιστήμης. Ο Ηρόφιλος και ο Ερασίστρατος εισάγουν δύο νέες ιδέες: α) ένα νευρικό σύστημα με κέντρο τον εγκέφαλο, ο οποίος συνδέεται μέσω των νεύρων με όλα τα όργανα και β) ένα μυϊκό σύστημα που παράγει δύναμη και κίνηση.(12) Ο Ηρόφιλος διακρίνει την εκούσια κίνηση του θώρακα από την ακούσια των πνευμόνων. Ο Ερασίστρατος αναγνωρίζει το

<sup>1</sup> «τὸ δὲ δὴ σίτων τε καὶ ποτῶν ἐπιθυμητικὸν τῆς ψυχῆς καὶ ὅσων ἔνδειαν διὰ τὴν τοῦ σώματος ἴσχει φύσιν, τοῦτο εἰς τὸ μεταξὺ τῶν τε φρενῶν καὶ τοῦ πρὸς τὸν ὀμφαλὸν ὄρου κατῴκισαν, οἷον φάτην»

**διάφραγμα** ως **μυ** και μάλιστα ως **κύριο μυ της αναπνοής** και αποδεικνύει πειραματικά ότι οι πνεύμονες εκτείνονται λόγω της έκτασης του θώρακα με την δράση των μυών.(12)

Τον 2ο αιώνα μ.Χ. ο Γαληνός δίνει τον ορισμό του διαφράγματος ως εξής: **«ἔστι τις μῦς μέγας στρογγύλος, ὃν ὀνομάζουσιν μὲν ἐν δίκη διάφραγμα»**.(20) Περιγράφει την φυσιολογία του διαφράγματος, την νεύρωσή του, τις πλευρικές και περιτοναϊκές μεμβράνες, τον κεντρικό τένοντα και τα τρήματα, αναλύει την δράση του τόσο στην αναπνοή όσο και στην αποβολή των περιττωμάτων<sup>2</sup> και με χειρουργικές τομές αποδεικνύει πως σε μια βαθιά εισπνοή το διάφραγμα μόνο του δεν αρκεί, μελετά την θωρακική και διαφραγματική αναπνοή.(12)

Τον 19ο αιώνα ο Megandie αναγνωρίζει (ξανά) το διάφραγμα ως καθοριστικό για την εισπνοή παράγοντα, αμφισβητώντας την πεποίθηση που επικρατούσε τότε, ότι οι μεσοπλεύριοι μύες είναι οι μόνοι αγωνιστές στην διάτασης του θωρακικού κλωβού κατά την εισπνοή.(12)

Οι μηχανικές επιδράσεις της διαφραγματικής σύσπασης στον θωρακικό κλωβό περιεγράφησαν από τους: Ure (1819), Cloquet (1820), Beau et Meissiat (1843), Duchenne de Boulogne (1853), Bert (1870).(12) Οι Sewall και Pollard διερεύνησαν τη σχέση κίνησης μεταξύ της θωρακικής κοιλότητας και του διαφράγματος και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το διάφραγμα συστελλόμενο κατέρχεται στην κοιλιακή κοιλότητα.(21) Ακολούθησαν έως σήμερα έρευνες σχετικές με τους φυσιολογικούς μηχανισμούς, την βιομηχανική, τις ανατομικές και λειτουργικές συνδέσεις του διαφράγματος.

---

<sup>2</sup> «... διαφράττοντα τῶν τῆς τροφῆς ἀγγείων τὰ τοῦ πνεύματος ὄργανα· τῶν μὲν γὰρ ὑπέρκειται πάντων, τοῖς δ' ὑποβέβληται. χρεῖα δ' αὐτοῦ τῆ φύσει πρὸ τοῦ διαφράττειν, ἔτερα μὲν μείζων, ὡς ἀναπνοῆς ὄργανον, δευτέρα δ' ἢ νῦν εἰρησομένη. ἀπὸ τῶν κατὰ τὰ στέρνα περάτων τῶν κάτω τὴν ἀρχὴν τῆς ἀνωθεν ἐκφύσεως ἔχον, ἵνα περ καὶ αἱ τῶν εὐθέων μυῶν τῶν κατὰ τὸ ἐπιγάστριον ἀνήρηγται κεφαλαί, κἄπειτ' ἐντεῦθεν ἐφ' ἑκάτερα παρὰ τὰ τῶν νόθων πλευρῶν πέρατα κατερχόμενον, ὅπισω τε ἅμα καὶ κάτω λοξὸν ἱκανῶς γίνεται. καὶ τοῦτό ἐστι τὸ σόφισμα τῶν ἱκανῶς θλιβόντων ἐκ παντὸς μέρους ὁμοίως μυῶν, οὐκ εἰς τὸν στόμαχον, ἀλλ' εἰς τὴν ἔδραν ἐζωθεῖσθαι πάντα. νόησον γὰρ μοι δύο χεῖρας ἐπιβεβλημένας ἀλλήλαις κατὰ τοὺς καρποὺς, διίσταμένας δ' αἰεὶ, καὶ μᾶλλον ὄχρη τῶν κατὰ τοὺς δακτύλους περάτων. ἔστω δ' αὐτῶν ἐπὶ τῆς ὑποκειμένης ἤτοι σπόγγος, ἢ σταῖς τι, ἢ τι τοιοῦτον ἕτερον ἐπικειμένον, ὅσον τῆς ὑπερκειμένης προσιοῦσης τε καὶ περιστελλομένης ἐκθλίβεσθαι βραδίως, κἄμοι ταῦταις ταῖς χερσὶν ἀνάλογον ἔχειν, τῆ μὲν ὑποκειμένη τὸ διάφραγμα, τῆ δ' ὑπερκειμένη τούς κατὰ τὸ ἐπιγάστριον ἅπαντας ἐπινόησον μῦς, τῶ μὲν ὑψηλῶ και μέσῳ δακτύλῳ τούς εὐθείς, τοῖς δ' ἐφ' ἑκάτερα τούς ἄλλους. ἔπειθ', ὡς ἐκεῖνοι περιλαμβάνοντες ἐκθλίβουσι το σταῖς, οὕτω τούς μῦες νόει θλιβόντας τὴν γαστέρα» (Opera Omnia, Vol. 3, Γαληνοῦ, Περί χρεῖας τῶν ἐν ἀνθρώπῳ σώματι μορίων, Λόγος Ε', κεφ. ΙΕ', σ. 398-400, G.C. Kuehn, Lipsiae, 1822).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

### Η ΕΞΕΛΙΚΤΙΚΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

«εἰ γὰρ ἔστιν ὀρίσασθαι ἢ εἰ γνωστὸν τὸ τί ἦν εἶναι, τὰ δ' ἄπειρα μὴ ἔστι διελθεῖν, ἀνάγκη θεωρεῖσθαι τὰ ἐν τῷ τί ἔστι κατηγορούμενα»  
(Αριστοτέλης).

Εκατοντάδες χρόνια έρευνας στην αναπνευστική βιολογία αποδεικνύουν πως το διάφραγμα αποτελεί δομή αποκλειστικά των θηλαστικών. Οι Kitaoka H. και Chihara K. υποστηρίζουν, ότι το διάφραγμα είναι το πρώτο και κύριο προσδιοριστικό χαρακτηριστικό των θηλαστικών, αφού το έχουν μόνο και όλα τα μέλη της ομοταξίας, πράγμα το οποίο δεν ισχύει για την ζωοτοκία (υπάρχουν θηλαστικά ωοτόκα) και την γαλακτοφορία, αφού τα αρσενικά θηλαστικά δεν εκκρίνουν γάλα και ακόμη αυτό μπορεί να αντικατασταθεί από εναλλακτικές θρεπτικές ουσίες στα νεογνά, χωρίς διάφραγμα όμως, κανένα θηλαστικό δεν μπορεί να ζήσει, π.χ. η συγγενής διαφραγματική δυσπλασία προκαλεί το θάνατο αμέσως μετά τη γέννηση λόγω πνευμονικής υποπλασίας.(2) Επιπλέον, το διάφραγμα προστατεύει την μητέρα κατά την κυοφορία από την αναπνευστική ανεπάρκεια.(2) Τέλος, εντοπίζουν την μοναδικότητα στον άνθρωπο, να διατηρεί το διάφραγμα παράλληλο προς το έδαφος και κατά την μετακίνησή του.(2)

Πότε όμως εμφανίσθηκε το διάφραγμα στα θηλαστικά; Ο Markus Lambertz υποστηρίζει, ότι το διάφραγμα εμφανίσθηκε στον κοινό πρόγονο των Caseids και των θηλαστικών, που ζούσε πριν από 300 εκατομμύρια χρόνια: «Ήταν ένας μακρύς δρόμος για τα θηλαστικά, και η εμφάνιση του διαφράγματος υπήρξε σημείο καμπής».(22)

Ωστόσο ασφαλής απάντηση για το πότε και πώς εμφανίσθηκε το διάφραγμα δεν υπάρχει γιατί ως δομή δεν διασώζεται στα απολιθώματα. Όλες οι απαντήσεις αποτελούν υποθέσεις με βάση τις διαστάσεις και την μορφολογία του κορμού των απολιθωμένων σκελετών.(23)



Εικόνα 1 *Cotylorhynchus*. Πηγή: <https://www.uni-bonn>. Photo: Mathew Wedel in Lambertz et al. (2016) *Ann. N.Y. Acad. Sci.* © The New York Academy of Sciences.

Οι Hirasawa T & Kuratani S αναφέρονται την εξελικτική προέλευση του διαφράγματος από τους μύες της ωμικής ζώνης.(24) Αναπτυξιακές αναλύσεις υποδεικνύουν, ότι οι μύες του διαφράγματος και του πρόσθιου άκρου προέρχονται από κοινό πληθυσμό κυττάρων κατά την εμβρυϊκή ανάπτυξη.(24) Σύμφωνα με την υπόθεση το διάφραγμα αποκτήθηκε σε δύο στάδια: σε ένα πρώτο στάδιο τα μυϊκά κύτταρα του πρόσθιου άκρου ενσωματώθηκαν στους ιστούς για να σχηματίσουν ένα αρχέγονο διάφραγμα στην τάξη των Συναψίδων και, ακολούθως, το διάφραγμα, στους Cynodonts, (25) παγιδεύτηκε στην περιοχή που ελέγχεται από την πνευμονική ανάπτυξη.(24)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

### Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

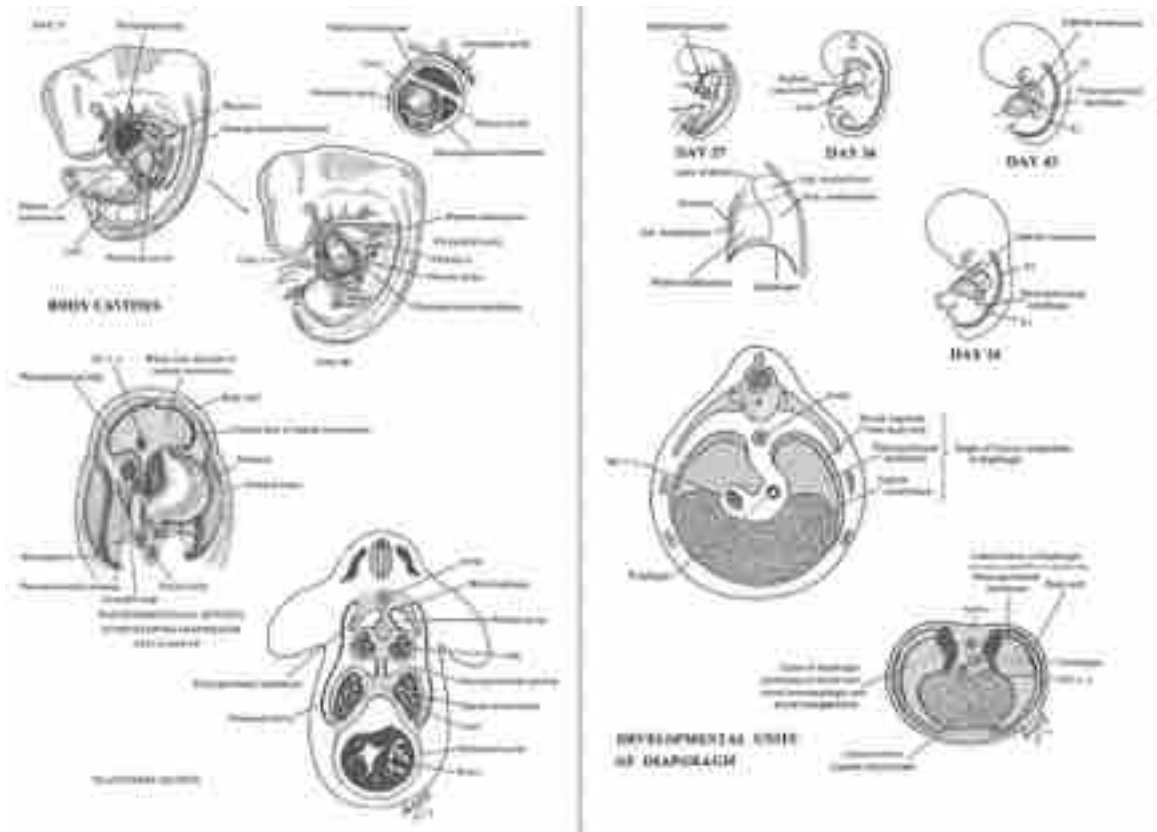
*“The chief characteristic of mammalian myology is the diaphragm, which, as such, is not more completely developed in Man than in the Monotreme” (Owen, 1868).*

#### 3.1. Εμβρυϊκό διάφραγμα

Το διάφραγμα σχηματίζεται κατά την 4<sup>η</sup> - 8<sup>η</sup> εβδομάδα της εμβρυϊκής ζωής από τις ακόλουθες δομές:

- εγκάρσιο διάφραγμα, που θα αποτελέσει το τενόντιο κέντρο,
- πλευροπεριτοναϊκές πτυχές, που θα σχηματίσουν το μυϊκό τμήμα,
- ραχιαίο μεσεντέριο, από όπου θα προέλθουν τα τρήματα και τα σκέλη,
- μυϊκές εκβλαστήσεις από τα πλάγια τοιχώματα του σώματος.

Το εγκάρσιο διάφραγμα εμφανίζεται στο τέλος της 3<sup>ης</sup> εβδομάδας από το προσθιοπλάγιο σωματικό τοίχωμα την 4<sup>η</sup> εβδομάδα σχηματίζει ένα παχύ πέταλο που διαχωρίζει ατελώς την περικαρδιακή από την περιτοναϊκή κοιλότητα. (26) Ο διαχωρισμός της θωρακικής από την περιτοναϊκή κοιλότητα γίνεται πλήρης, όταν το εγκάρσιο διάφραγμα και οι υπεζωκοτοπεριτοναϊκές μεμβράνες συνενώνονται με το ραχιαίο μεσεντέριο του οισοφάγου σχηματίζοντας το πρωτογενές διάφραγμα. (26)



Εικόνα 2: Η εμβρυολογική ανάπτυξη του διαφράγματος.

Πηγή: Pansky Ben, Review of Medical Embryology, © 1982, Ben Pansky. <https://discovery.lifemapsc.com>

Τα διαφραγματικά σκέλη σχηματίζονται από μυοβλάστες, οι οποίοι αναπτύσσονται στο ραχιαίο μεσεντέριο.(27) Στο σχηματισμό των περιφερικών τμημάτων του διαφράγματος συμμετέχει το εσωτερικό τμήμα του σωματικού τοιχώματος.(26)

Κατά την 4<sup>η</sup> εβδομάδα το εγκάρσιο διάφραγμα βρίσκεται απέναντι από τον 3<sup>ο</sup>-5<sup>ο</sup> αυχενικό σωμίτη.(27)

Την 5<sup>η</sup> εβδομάδα, μυοβλάστες με τις νευρικές τους ίνες, μεταναστεύουν από τους σωμίτες αυτούς στο διάφραγμα και σχηματίζονται τα φρενικά νεύρα, τα οποία παρέχουν κινητικές αλλά και αισθητικές ίνες στην άνω και κάτω επιφάνεια του διαφραγματικού θόλου.(26) Το περιφερικό τμήμα του μυός προέρχεται από τα πλάγια τοιχώματα του σώματος και το πλευρικό χείλος νευρώνεται αισθητικά από τα κάτω μεσοπλευρία νεύρα.

Ως την 6<sup>η</sup> εβδομάδα το διάφραγμα μετακινείται περισσότερο ουραία, με παράλληλη επιμήκυνση των νεύρων και κατέρχεται στο επίπεδο των θωρακικών σωματιών, καθώς το ραχιαίο τμήμα του εμβρυϊκού σώματος αναπτύσσεται ταχύτερα σε σύγκριση με



το κοιλιακό.(27) Την 8<sup>η</sup> εβδομάδα, το ραχιαίο τμήμα του διαφράγματος βρίσκεται στο επίπεδο του 1<sup>ου</sup> οσφυϊκού σπονδύλου.(27)

Από την 9<sup>η</sup>-12<sup>η</sup> εβδομάδα οι υπεζωκοτικές κοιλότητες επεκτείνονται στα πλάγια τοιχώματα του σώματος, και σχηματίζονται οι πλευροδιαφραγματικές πτυχές (δεξιά και αριστερή), οι οποίες δίνουν στο διάφραγμα το χαρακτηριστικό θολωτό σχήμα.(27)

Ενώ πραγματοποιείται η συνένωση των τεσσάρων τμημάτων του διαφράγματος, το μεσέγχυμα του εγκαρσίου διαφράγματος εκτείνεται στα άλλα τρία μέρη και σχηματίζει μυοβλάστες, οι οποίοι διαφοροποιούνται στους γραμμωτούς μύες των σκελών.

## **3.2. Βρεφικό διάφραγμα**

### **3.2.1. Ιδιαιτερότητες της αναπνοής και του διαφράγματος των βρεφών**

Συνοπτικά τα βρέφη σε σύγκριση με τους ενήλικες παρουσιάζουν(28)(29):

- Κοντό λαιμό, μεγάλη γλώσσα, υψηλότερη θέση λάρυγγα, κοντή τραχεία,.
- Πνεύμονα μικρότερο σε σχέση με το σώμα.
- Υψηλότερο κατά λεπτό αερισμό λόγω αυξημένης κατανάλωσης οξυγόνου.
- Υψηλό αναπνευστικό ρυθμό (30-40 αναπνοές/min).
- Υψηλό όγκο σύγκλεισης – Περιορισμένες αναπνευστικές εφεδρείες.
- Μικρό αναπνεόμενο όγκο [Φ.Τ.: νεογέννητα→ 15 ml, ενήλικοι άνδρες→ 500 ml (7 ml/Kg)](30) λόγω ελαστικότητας του θωρακικού κλωβού, μη συμμετοχής των μεσοπλεύριων μυών και επιπεδοποίησης του διαφράγματος.
- Αυξημένο έργο αναπνοής, λόγω μεγάλης αντίστασης των αεραγωγών, μικρής πνευμονικής ευενδοτότητας, αυξημένης ενδοκοιλιακής πίεσης.
- Υψηλότερη τοποθέτηση του θωρακικού κλωβού, στρόγγυλο σχήμα θώρακα (προσθιοπίσθια διάμετρος μεγαλύτερη από την κάθετη).

- Μικρά μεσοπλεύρια διαστήματα.
- Υψηλότερη θέση του διαφράγματος και κυρίως διαφραγματική αναπνοή.
- Η κοιλιακή διάταση επηρεάζει την διαφραγματική κίνηση.
- Η έκταση του κεντρικού τένοντα αλλάζει με την ανάπτυξη και το διάφραγμα είναι περισσότερο μυώδες στα παιδιά από στους ενήλικες.(31)

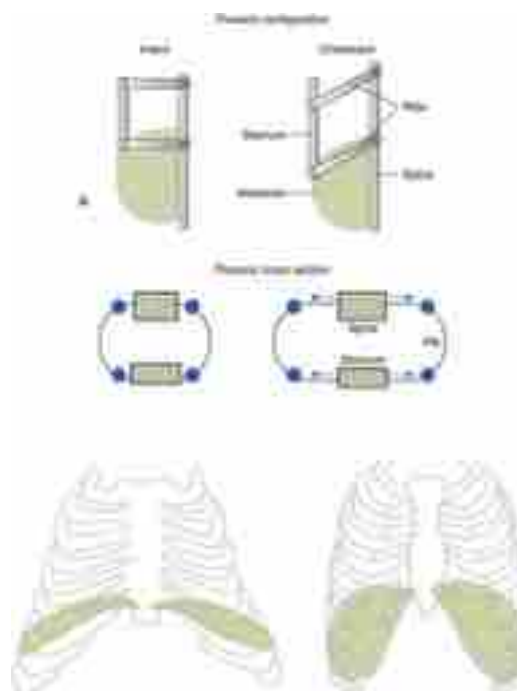
Στα νεογνά η λειτουργία του διαφράγματος είναι αναπνευστική. Μετά το πέρας της νεογνικής περιόδου το διάφραγμα αρχίζει να αναπτύσσει και σταθεροποιητική λειτουργία. Η ωρίμανση του κεντρικού νευρικού συστήματος επιτρέπει προοδευτικά την βασική και ισορροπημένη σταθεροποίηση του κορμού (σπονδυλική στήλη-λεκάνη-θώρακας), προϋπόθεση για την μετακίνηση, τις κινήσεις των άκρων και, τελικά, τη μετάβαση στην όρθια θέση. Μέχρι τον 4<sup>1/2</sup> μήνα αναπτύσσεται η σταθεροποιητική μυϊκή συνέργεια διαφράγματος-κοιλιακού τοιχώματος-πυελικού εδάφους-νωτιαίων εκτεινόντων, όρος αναγκαίος για την σταθεροποίηση των κατώτερων τμημάτων της σπονδυλικής στήλης: η ομόκεντρη σύσπαση του διαφράγματος και του πυελικού εδάφους ακολουθείται από την έκκεντρη σύσπαση των μυών του κοιλιακού τοιχώματος με συνέπεια την αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης και την πρόσθια σταθεροποίηση της οσφυϊκής και της κατώτερης θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης.(32)

Σε ηλικία 6 μηνών το αναπνευστικό πρότυπο αρχίζει να γίνεται ρυθμικό, η αναπνοή συγχρονισμένη (θωρακική-κοιλιακή) και το διάφραγμα αναπτύσσει περισσότερο την διπλή λειτουργία του ως αναπνευστικός και ως ορθοστατικός μυς.(33)

### 3.2.2. Μηχανική

Από μηχανικής άποψης, το νεογνικό διάφραγμα είναι ακατάλληλα προσαρμοσμένο για να ανταπεξέλθει στο βάρος της αναπνευστικής λειτουργίας και στο υψηλό αναπνευστικό έργο, διότι είναι περισσότερο επίπεδο με μεγάλη γωνία εισαγωγής στον θωρακικό κλωβό και μικρή έκταση.(34)

Η αναποτελεσματικότητα του διαφράγματος επιδεινώνεται λόγω της εύκολης κόπωσης των αναπνευστικών μυών, του υψηλής υποχωρητικότητας θωρακικού κλωβού και της οριζόντιας θέσης και μεγάλης ευκαμψίας των πλευρών, γεγονός που μειώνει το μηχανικό πλεονέκτημα των μεσοπλευρίων μυών κατά την εισπνοή.(35) Επίσης η σύνδεση του διαφράγματος με τον θωρακικό κλωβό καθιστά το νεογνικό διάφραγμα λιγότερο αποτελεσματικό από εκείνο του ενήλικα(36):



Εικόνα 3 Αναπτυξιακές αλλαγές στον θωρακικό κλωβό. Πηγή: <https://thoracickey.com>. Taussig LM, Landau LI, Pediatric and respiratory medicine, St Louis, 2008, Mosby.

- Στο νεογέννητο, οι μυϊκές ίνες από το πρόσθιο τμήμα εκτείνονται πλευρικά και συνδέονται με την ξιφοειδή απόφυση και την 7η πλευρά.
- Οι ίνες από το οπίσθιο τμήμα συνδέονται με την 11η πλευρά και με τους εγκάρσιους κοιλιακούς μύες.
- Η μεγάλη γωνία εισαγωγής στο πλευρικό τοίχωμα περιορίζει τη ζώνη εφαρμογής.
- Η κίνηση του νεογνικού διαφράγματος παρουσιάζεται κυρίως στο οπίσθιο τμήμα και κάτω, ενώ το ενήλικο διάφραγμα κινείται σαν έμβολο.(36)

### 3.2.3. Παραγωγή πίεσης

Επειδή το νεογνικό διάφραγμα είναι περισσότερο επίπεδο σε σύγκριση με το διάφραγμα ενός ενήλικα, η μέγιστη διαδιαφραγματική πίεση που παράγεται κατά την συστολή είναι μικρότερη.(36) Αυτό εκφράζεται από το νόμο του Laplace:  $P = 2T/r$ , όπου P είναι η διαδιαφραγματική πίεση, T είναι η τάση που αναπτύσσεται από το διάφραγμα και r είναι η ακτίνα καμπυλότητας του διαφράγματος.

### **3.2.4. Τύποι μυϊκών ινών**

Το διάφραγμα των νεογνών και των βρεφών διαφέρει από εκείνο ενός ενήλικα και ως προς τη σχετική αναλογία των μυϊκών ινών Τύπου I και II, η οποία επηρεάζει την αντοχή στην κόπωση. Το ποσοστό των ανθεκτικών στην κόπωση ινών Τύπου II είναι μικρότερο στο νεογνικό διάφραγμα σε σύγκριση με το ενήλικο (25% έναντι 55 %).(36)

### **3.2.5. Η επίδραση της θέσης του σώματος στην διαφραγματική λειτουργία**

Η πλάγια στάση του νεογνού, σε σύγκριση με τον όρθιο ενήλικα, αυξάνει την αναποτελεσματικότητα του διαφράγματος.(35) Μάλιστα, η διαφραγματική λειτουργία επιβαρύνεται περισσότερο στην πρηνή από την ύπτια θέση.

Οι V. Rehan et al. διαπίστωσαν ότι το διάφραγμα είναι βραχύτερο στην πρηνή θέση και μάλιστα κατά την εισπνοή, εξάγοντας το συμπέρασμα ότι στην πρηνή θέση: (1) το μήκος ηρεμίας του είναι βραχύτερο, και (2) κατά την ήρεμη αναπνοή, η βράχυνση του είναι μεγαλύτερη.(37) Το μειωμένο μήκος του διαφράγματος ελαττώνει την δύναμη του μυός, ενώ η πρόσθετη βράχυνση κατά τη διάρκεια της ήρεμης αναπνοής αυξάνει το διαφραγματικό έργο.(36)

### 3.3. Ανατομία του διαφράγματος

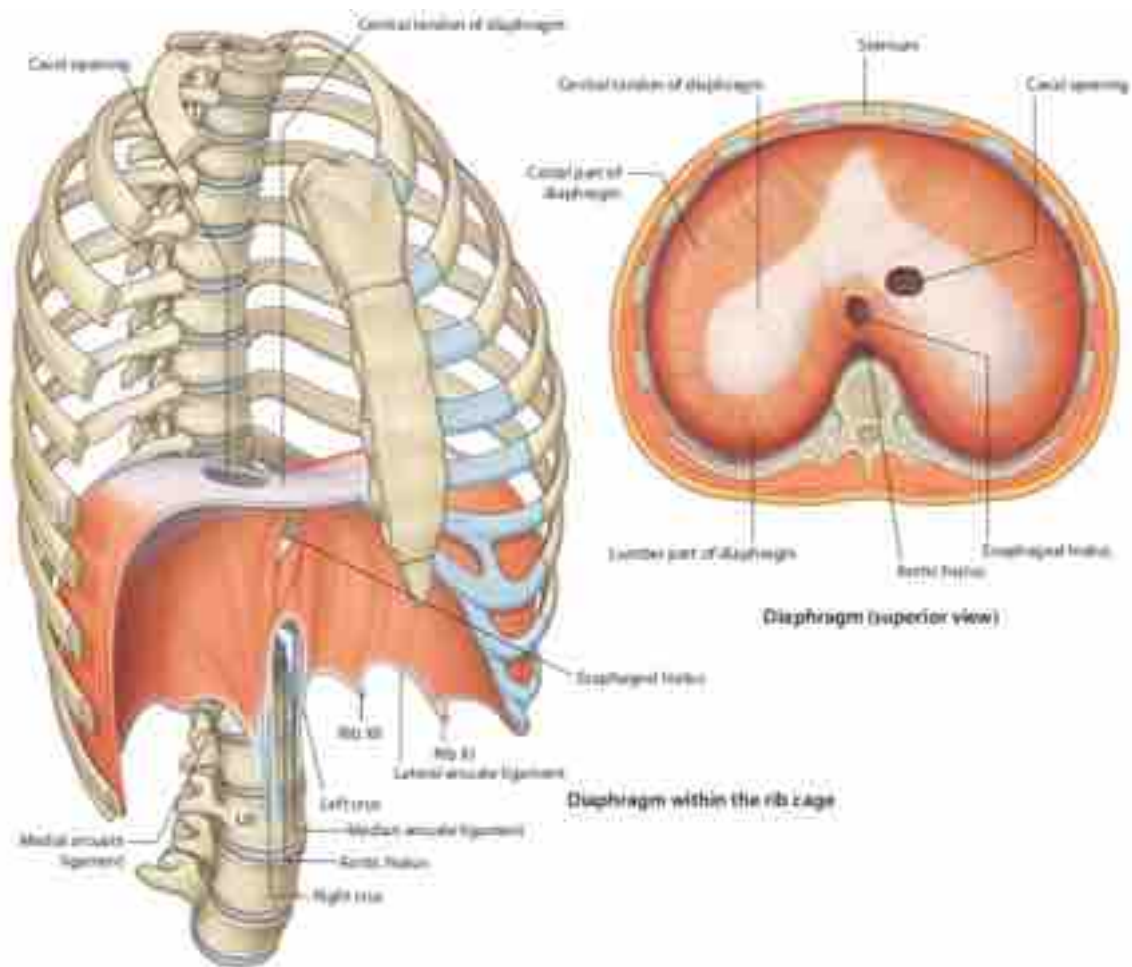
Η μοναδικότητα του διαφράγματος μεταξύ των σκελετικών μυών συνίσταται στην ακτινωτή διάταξη των μυϊκών ινών από το τενόντιο κέντρο προς τα οστά του θώρακα. Το διάφραγμα αποτελεί μία λεπτή (πάχους 2-4 mm) μυοτενόντια δομή σε σχήμα θόλου, που διαχωρίζει το θώρακα από την κοιλιά. Είναι ελαφρώς πιεσμένο προς τα κάτω στη μέση μοίρα, από την καρδιά. Αποτελείται από τον κεντρικό τένοντα, ο οποίος περιβάλλεται από δακτύλιο, και τον, κυρίως, ακτινικά προσανατολισμένο ραβδωτό μυ. Παρουσιάζει τρεις εκφυτικές μοίρες, την στερνική, την πλευρική και την οσφυϊκή.(38)

Η στερνική μοίρα εκφύεται από την έσω επιφάνεια της ξιφοειδούς απόφυσης και από το οπίσθιο πέταλο της θήκης του ορθού κοιλιακού μυός.(39)

Η πλευρική μοίρα εκφύεται με οδοντώματα από την έσω επιφάνεια των έξι τελευταίων πλευρών και των πλευρικών τους χόνδρων.(38) Οι μυϊκές ίνες με πορεία προς τα πάνω δημιουργούν την *ζώνη παράθεσης (zone of apposition)*. Υψηλότερα σχηματίζουν γωνία με τον θωρακικό κλωβό και, τελικά, φερόμενες οριζόντια συγκλίνουν στο πρόσθιο, στο πλάγιο και, μερικές φορές, στο οπίσθιο όριο του κεντρικού τένοντα.(40)

Η οσφυϊκή μοίρα εκφύεται με τα σκέλη δεξιά και αριστερά. Το έσω σκέλος είναι τενόντιο και εκφύεται από τα σώματα των O1-O3/O4 σπονδύλων.(39) Το έξω σκέλος εκφύεται από δύο τόξα που σχηματίζονται από α) τον έσω τοξοειδή σύνδεσμο και το τόξο του ψοΐτη και β) τον έξω τοξοειδή σύνδεσμο και το τόξο του τετράγωνου οσφυϊκού,(39) και καταφύεται στο οπίσθιο χείλος του τενόντιου κέντρου.(38) Το τόξο του ψοΐτη εκτείνεται από την πλάγια επιφάνεια του σώματος του O1/O2 μέχρι την πλευροειδή απόφυση του O1.(39) Ο έξω τοξοειδής σύνδεσμος εκφύεται από την πλευροειδή απόφυση του O1 μέχρι την κορυφή της 12ης πλευράς.(39)

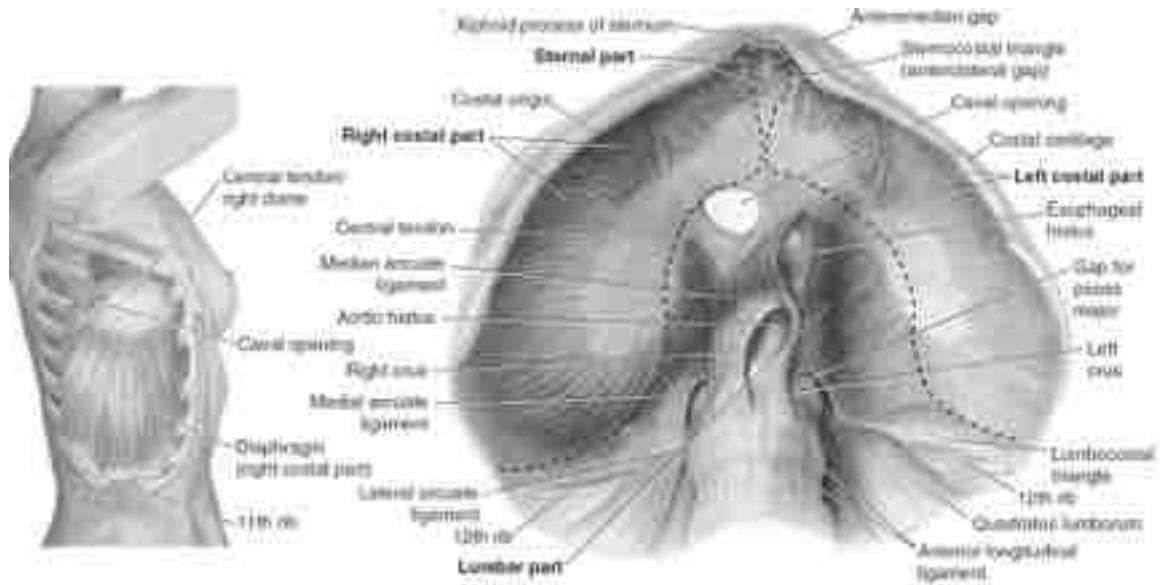
Κατά την ήρεμη αναπνοή, ο θόλος του δεξιού ημιδιαφράγματος αντιστοιχεί στο ύψος του 5<sup>ου</sup> πλευρικού χόνδρου και των Θ10-Θ11 σπονδύλων, ο θόλος του αριστερού ημιδιαφράγματος αντιστοιχεί, εμπρός στο ύψος του 6<sup>ου</sup> πλευρικού χόνδρου, πίσω στο ύψος των Θ11-Θ12 σπονδύλων, και η μέση μοίρα αντιστοιχεί εμπρός, στο ύψος της στερνοξιφοειδούς συγχόνδρωσης και πίσω στο ύψος του Θ11 σπονδύλου.(38)



Εικόνα 4 Το διάφραγμα με τον θωρακικό κλωβό (πρόσθια και άνω όψη). Πηγή: Richard Drake. Gray's Atlas of Anatomy, 2nd Edition © 2015, 2008 by Churchill Livingstone, an imprint of Elsevier Inc.

Η σύνδεση του θώρακα με την κοιλιά παρουσιάζει ανατομική συνέχεια, αφού ο προπερικαρδιακός συνδετικός ιστός έρχεται σε επαφή με τον προπεριτοναϊκό, με το διάφραγμα να παίζει ζωτικό ρόλο στη διαχείριση των πληροφοριών που σχετίζονται με τις δύο κοιλότητες.(38)

*Σχισμές:* Πλευρικά, υπάρχουν σχισμοειδείς χώροι μεταξύ της οσφυϊκής, της πλευρικής και της στερνικής μοίρας, που παρουσιάζουν μικρή αντίσταση: Μεταξύ της οσφυϊκής και πλευρικής μοίρας του διαφράγματος βρίσκεται το *οσφυοπλευρικό τρίγωνο*, και μεταξύ της στερνικής και της πλευρικής μοίρας βρίσκεται το *στερνοπλευρικό τρίγωνο*.(38)



Εικόνα 5 Διάφραγμα πλάγια και κάτω όψη. Διακρίνονται τα τμήματα: Αορτικό τρήμα (aortic hiatus), οισοφαγικό τρήμα (esophageal hiatus), τρήμα της κάτω κοίλης φλέβας. Επίσης ο κεντρικός τένοντας (central tendon), το πλευρικό τμήμα (costal part), το οσφυϊκό τμήμα (lumbar part), τα σκέλη (right/left crus), ο τοξοειδής σύνδεσμος (medial/lateral arcuate ligament). Πηγή: Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, A.M.R. Agur. Clinically oriented anatomy. 6e. Lippincott Williams & Wilkins.

Από τις ευένδοτες αυτές σχισμές προκύπτουν συγγενείς διαφραγματοκοίλες, αλλά αποτελούν συγχρόνως διόδους αγγείων και νεύρων.

Το οσφυϊκό τμήμα έρχεται σε επαφή με την οπισθοπερικαρδιακή οδό, την περινεφρική οδό και το υπάρχον λίπος. Αυτό είναι σημαντικό, διότι το σπλαχνικό λίπος αποτελεί πηγή ιδιοδεκτικών πληροφοριών για το διάφραγμα, με επίδραση σε απομακρυσμένες δομές.

**Τρήματα:** Μεταξύ των σκελών βρίσκεται το **αορτικό τρήμα** (ύψος Θ12). Μέσω αυτού διέρχεται η αορτή, η άζυγος φλέβα, ο μείζων θωρακικός πόρος, η γαστρική αρτηρία, δύο μεσοπλεύρια λεμφικά στελέχη και φλέβες.(39)

Το **οισοφαγικό τρήμα** εντοπίζεται στο δεξιό σκέλος, 2-3 cm αριστερά της μέσης γραμμής, στο ύψος του Θ11 σπονδύλου. Το δεξιό σκέλος αποτελείται από τρεις μυϊκές δεσμίδες. Η μία δεσμίδα εκφύεται από τους οσφυϊκούς σπονδύλους ως το τενόντιο κέντρο.(39) Η άλλη εκφύεται από τον μέσο τοξοειδή σύνδεσμο και το αορτικό τρήμα, σχηματίζοντας το δεξιό χείλος του **οισοφαγικού τρήματος**.(39) Η τρίτη δεσμίδα εκφύεται επίσης από το μέσο τοξοειδή σύνδεσμο, αλλά πιο ραχιαία, και σχηματίζει το αριστερό χείλος του οισοφαγικού τρήματος ως σφενδόνη.(39) Μέσω του οισοφαγικού τρήματος

διέρχεται ο οισοφάγος και το πρόσθιο και οπίσθιο στέλεχος του πνευμονογαστρικού νεύρου και οισοφαγικοί κλάδοι των αριστερών γαστρικών αγγείων.(39)

Στο τενόντιο κέντρο, 2-3 cm δεξιά της μέσης γραμμής, στο ύψος των Θ8/Θ9 σπονδύλων, εντοπίζεται το *τμήμα της κάτω κοίλης φλέβας*, από το οποίο διέρχονται η κάτω κοίλη φλέβα και τελικοί κλάδοι του δεξιού φρενικού νεύρου.(39)

Το μείζον και το έλασσον σπλαγγνικό νεύρο, διέρχονται από *τμήματα του έσω σκέλους*.(39) Το συμπαθητικό στέλεχος διέρχεται πλησίον του έξω σκέλους.(39)

*Αιμάτωση:* Την άνω επιφάνεια του διαφράγματος αιματώνουν οι άνω φρενικές αρτηρίες, κλάδοι της θωρακικής αορτής, και δύο κλάδοι της έσω θωρακικής αρτηρίας (μυοφρενική και περικαρδιοφρενική αρτηρία). Η κάτω επιφάνεια αιματώνεται από τις κάτω φρενικές αρτηρίες, κλάδους της κοιλιακής αορτής.

*Λεμφική παροχέτευση:* Οι λεμφαδένες του διαφράγματος εντοπίζονται στην θωρακική επιφάνεια του μυός. Τα λεμφαγγεία εκβάλλουν στους φρενικούς λεμφαδένες και η λέμφος διοχετεύεται στους οπίσθιους μεσοπνευμόνιους και στους παραστερνικούς λεμφαδένες.

### **3.3.1 Σύνδεση του διαφράγματος με τα όργανα της κοιλιακής και της θωρακικής κοιλότητας**

[Ο *κάτω πνευμονικός σύνδεσμος* είναι πάχυνση του υπεζωκότα που συνδέει το διάφραγμα στη βάση των πνευμόνων. Ο *φρενοπερικαρδιακός σύνδεσμος* συνδέει το διάφραγμα με την καρδιά. Ο *φρενοοισοφαγικός σύνδεσμος* ενώνει τον οισοφάγο και το διάφραγμα. Ο *ηπατικός σύνδεσμος* είναι μια υποδιαφραγματική περιτοναϊκή πύκνωση. Ο *φρενοκολικός σύνδεσμος* συνδέει το διάφραγμα με το κόλον. Ο *σύνδεσμος του Treitz* αποτελεί έναν λεπτό σκελετικό μυ που στηρίζεται στο διάφραγμα με πρόσφυση στον δωδεκαδάκτυλο. Επίσης, ολόκληρο το ήπαρ εσωκλείεται στην *κάψα του Glisson*, η οποία συνδέεται με το διάφραγμα](38).



### 3.3.2 Νευρολογικές συνδέσεις (38)

Το διάφραγμα δέχεται κινητικές ίνες, αλλά και αισθητικές (κοινής αισθητικότητας και ιδιοδέκτριες) στο μεγαλύτερο μέρος του, από το φρενικό νεύρο (A3-A5 νευροτόμια). Το περιφερικό τμήμα δέχεται αισθητική νεύρωση και από τα κατώτερα έξι μεσοπλεύρια νεύρα και το υποπλεύριο ν. Οι φρενικές κινητικές μονάδες ελέγχουν εκτός από την αναπνοή, την κατάποση, την φώνηση και την απόχρεψη. Η παθολογία του φρενικού νεύρου περιλαμβάνει ολόκληρο το αυχενικό και το βραχιόνιο πλέγμα (A1-Θ1).

Φρενικές διαταραχές μπορεί να επηρεάσουν τις ρίζες A4/A5 (ραχιαίο νεύρο ωμοπλάτης) και A5/A6 (μασχαλιαίο, υποκλείδιο, μυοδερματικό νεύρο). Το φρενικό νεύρο αναστομώνεται στο υποκλείδιο. Έτσι, σε φρενική διαταραχή, είναι δυνατόν, να παραχθεί σύνδρομο θωρακικής εξόδου ή πρόβλημα στο βραχιόνιο πλέγμα μπορεί να προκαλέσει φρενικές και διαφραγματικές διαταραχές. Επιπλέον, το φρενικό νεύρο συναντά το αστεροειδές γάγγλιο, το οποίο εντοπίζεται στην βάση του τραχήλου, που σημαίνει, ότι διαταραχή του πρώτου ή τελευταίου παράγει συμπτώματα σε όλο το αυχενικό σύστημα. Η σχέση μεταξύ διαφράγματος και θωρακικής εξόδου είναι στενή.

Ίνες των πλευρικών νεύρων διακρίνονται α) μεταξύ των αρτηριακών αγγείων που εισέρχονται στο διάφραγμα, όπου μπορούν να διαδραματίσουν έναν αγγειακό ιδιοδεκτικό ρόλο, και β) κοντά στον συνδετικό ιστό του μυός, πάντα με ιδιοδεκτικό ρόλο.

Τα σκέλη του διαφράγματος δέχονται απαγωγές ώσεις από το πνευμονογαστρικό νεύρο,(41)(42) γεγονός που εξηγεί τον λόγο που οι λίγες νευρομυϊκές άτρακτοι βρίσκονται κυρίως στα σκέλη. Εάν, κατά την εισπνοή, υπάρχει βλωμός, αναστέλλεται η λειτουργία στην περιοχή των σκελών, ώστε να μεταφερθεί ο βλωμός στο στομάχι. Αυτό ίσως συνεπάγεται περιφερική αναστολή του φρενικού νεύρου από πνευμονογαστρικές πληροφορίες των σκελών.

Η σύνδεση με το πνευμονογαστρικό νεύρο αιτιολογεί γιατί μία διαφραγματική δυσλειτουργία είναι δυνατόν να προκαλέσει συμπτώματα στην περιοχή της αυχενικής βάσης, στο έδαφος του στόματος, στη σκληρά μήνιγγα και στα μάτια.

Το πνευμονογαστρικό νεύρο συνδέεται με την έσω επιμήκη δεσμίδα με απαγωγές και προσαγωγές συνδέσεις. Η έσω επιμήκης δεσμίδα με την εξωπυραμιδική της μοίρα

συνδέει την αιθουσαία συσκευή, με το εξωπυραμιδικό σύστημα και τους οφθαλμοκινητικούς και τραχηλικούς μύες.(43) Η μεσοπυρηνική της μοίρα συνδέει μεταξύ τους τους πυρήνες των οφθαλμοκινητικών μυών, τον κινητικό του τριδύμου, τον μικτό του πνευμονογαστρικού, τον πυρήνα του προσωπικού και του υπογλωσσίου νεύρου.(43) Ίνες των αισθητικών πυρήνων του τριδύμου εισέρχονται στην έσω επιμήκη δεσμίδα και συνάπτονται με τους κινητικούς πυρήνες στην έξω μοίρα της καλύπτρας, δίνοντας γένεση στα εξής αντανακλαστικά τόξα(43):

- αντανακλαστικό του κερατοειδούς.
- αντανακλαστικό του παρμού.
- οφθαλμοκαρδιακό αντανακλαστικό: σχηματίζεται από ίνες που φέρονται στον ραχιαίο πυρήνα του πνευμονογαστρικού.
- δακρυϊκό αντανακλαστικό.
- αντανακλαστικό της κατάποσης και αναγωγής: σχηματίζεται από ίνες που φέρονται στον κινητικό πυρήνα του τριδύμου, στον μικτό και στον ραχιαίο πυρήνα του πνευμονογαστρικού.

Η έσω επιμήκης δεσμίδα είναι οδός απαραίτητη για την κατανόηση της σχέσης μεταξύ της όρασης και της στάσης.

Το πνευμονογαστρικό νεύρο βρίσκεται σε επαφή με το νωτιαίο πυρήνα του τριδύμου μέσω προσαγωγών συνδέσεων. Το τριδυμο νεύρο στο κροταφικό οστό σχηματίζει το γασσέριο γάγγλιο, το οποίο με τον οφθαλμικό, τον άνω και κάτω γναθιαίο κλάδο νευρώνει το πρόσωπο. Αυτό σημαίνει πολύπλοκη συμπτωματολογία στο πρόσωπο. Ακόμη, υπάρχει η υπόθεση ότι το φρενικό νεύρο μπορεί να επηρεάσει τα σπονδυλικά γάγγλια του τριδύμου με αποτέλεσμα οδοντικό πόνο, πόνο στην κροταφογναθική άρθρωση και στο αυτί.

Επίσης, το νεύρο του Arnold (κλάδος του πνευμονογαστρικού νεύρου) νευρώνει την κατώτερη περιοχή του σκηνιδίου της παρεγκεφαλίδας. Η ανώτερη περιοχή του σκηνιδίου της παρεγκεφαλίδας νευρώνεται από το παλλίνδρομο νεύρο του Arnold, που είναι στέλεχος του πρώτου κλάδου του τριδύμου. Ένα πιθανό σύμπτωμα της διαφραγματικής δυσλειτουργίας είναι πόνος στο κρανίο και στον οφθαλμικό βολβό.

Το φρενικό νεύρο αναστομώνεται με το πνευμονογαστρικό, το οποίο διέρχεται από την περιοχή των διαφραγματικών σκελών, παρέχοντας νεύρωση. Υπάρχει η υπόθεση ότι οισοφαγικές προσαγωγές ώσεις του πνευμονογαστρικού ασκούν ανασταλτική επίδραση στους φρενικούς κινητικούς νευρώνες. Πρόβλημα στο φρενικό νεύρο ή στο διάφραγμα επηρεάζει αρνητικά το σύστημα που ελέγχει την περιοχή των σκελών, προκαλώντας συμπτώματα γαστροοισοφαγικής παλλινδρόμησης ή/και προβλήματα κατάποσης.

Το υπογλώσσιο νεύρο, το οποίο συνδέεται στενά με το τρίδυμο ν. και με το πνευμονογαστρικό ν., κατά μήκος της διαδρομής του βρίσκεται σε επαφή με τα A1-A2 νευροτόμια (υπινιακοί μύες). Το υπογλώσσιο νεύρο δέχεται προσυναπτικές ώσεις από το φρενικό νεύρο και τους μεσοπλευρίους μύες. Το έδαφος του στόματος συνδέεται με το τρίδυμο με προσαγωγές ίνες. Η σύνδεση μεταξύ του διαφράγματος και του εδάφους του στόματος αναγνωρίζεται εύκολα σε περίπτωση κακής κατάποσης ή υπνικής άπνοιας, σε διαφραγματική δυσλειτουργία. Στην φυσιολογική αναπνοή, ο γενειογλωσσικός και άλλοι μύες του στόματος, όπως ο υπογλώσσιος, παρουσιάζουν ηλεκτρική διέγερση σε συντονισμό με το διάφραγμα, αμέσως πριν από τη συστολή του τελευταίου. Ο γενειογλωσσικός θεωρείται συνεργός των αναπνευστικών μυών. Κατά την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου ο μυς κινείται πρόσθια κατά την εισπνοή και οπίσθια κατά την εκπνοή εξασφαλίζοντας με την δράση του σωστό αερισμό, αφού αποτρέπει την απόφραξη της ανώτερης αναπνευστικής οδού από τους μύες του στόματος κατά την εισπνοή. Αυτή η συντονισμένη σχέση μπορεί να διαταραχθεί από αναπνευστικές δυσλειτουργίες προκαλώντας επιπλέον προβλήματα στη μάσηση και στην κατάποση.

Το διάφραγμα συνδέεται και με το σπλαχνικό νευρικό σύστημα. Τα ελάσσονα και κατώτερα σπλαχνικά νεύρα περνούν από την περιοχή των διαφραγματικών σκελών. Το σπλαχνικό νευρικό σύστημα σχετίζεται με τον έλεγχο του ορθοσυμπαθητικού σπλαχνικού συστήματος. Σε διαφραγματικό πρόβλημα οι οδοί των ορθοσυμπαθητικών συστημάτων θα επηρεαστούν αρνητικά. Αυτό σημαίνει, ότι αφενός μεν η σπλαχνική δραστηριότητα θα επηρεαστεί, και, αφετέρου, τα μεταμέρεια που σχετίζονται με τη νεύρωση των τριών πλεγμάτων θα εμφανίσουν πόνο στις σπονδυλικές facets, στους συναφείς ιστούς και στην περιοχή των μυών της προσβεβλημένης μεταμερικής ζώνης.

### 3.4. Τύποι μυϊκών ινών και Ιδιοδεκτικοί υποδοχείς

Η αναπνοή είναι εργασία αντοχής και η σύνθεση των μυϊκών ινών του διαφράγματος είναι κατάλληλη για την εργασία αυτή. Το 55% των μυϊκών ινών στο ενήλικο διάφραγμα είναι βραδείες οξειδωτικές ίνες, τύπου I, ανθεκτικές στην κόπωση.(44) Στις βραδείες μυϊκές ίνες ο χρόνος ανάπτυξης μέγιστης δύναμης συστολής είναι 50-100 msec.(45) Το 25% των ινών είναι ταχείες οξειδωτικές (IIa), οι οποίες, αν και ενδιάμεσες, είναι σχετικά ανθεκτικές στην κόπωση και το υπόλοιπο 20% των ινών είναι ταχείες γλυκολυτικές ίνες τύπου IIx, οι οποίες είναι ευαίσθητες στην κόπωση.(44) Η ανάπτυξη της μέγιστης δύναμης συστολής στις ταχείες μυϊκές ίνες επιτυγχάνεται σε 15-40 msec.(45)

Οι ιδιοδεκτικοί υποδοχείς, ιδιαίτερα οι μυϊκές άτρακτοι, είναι σχετικά αραιοί στο διάφραγμα. Η αναλογία των προσαγωγών από τις μυϊκές άτρακτους και εκείνων από τα τενόντια όργανα είναι πολύ μικρή 38/47.(44) Επομένως, η ικανότητα του διαφράγματος να αντισταθμίζει τα φορτία εξαρτάται περισσότερο από τις εγγενείς συσταλτές ιδιότητες του μυός παρά από τους νευρικούς αντανακλαστικούς μηχανισμούς.(46)

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:**

### **ΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ**

«Οὐκ ἔνι ἰατρικὴν εἰδέναι ὅστις μὴ οἶδεν ὅ τι ἐστὶν ἀνθρῶπος» (Ιπποκράτης).

#### **4.1. Το διάφραγμα ως αναπνευστικός μυς**

##### **4.1.1. Η αναπνοή**

###### **4.1.1.1. Τί είναι η αναπνοή**

Η αναπνοή εκτελείται αυτόματα και διασφαλίζει τις ζωτικές λειτουργίες του οργανισμού ακολουθώντας ένα συνεχές κυκλικό πρότυπο. Περιγράφει το σύνολο των διεργασιών με τις οποίες το O<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας μεταφέρεται στους ιστούς και χρησιμοποιείται για τον μεταβολισμό των κυττάρων, και το CO<sub>2</sub>, που παράγεται κατά τον μεταβολισμό, μεταφέρεται από τους ιστούς στην ατμόσφαιρα.(45)

- Από φυσιολογική άποψη η αναπνοή διακρίνεται σε (45) :
  - ↳ *Κυτταρική:* αναφέρεται στις ενδοκυτταρικές μεταβολικές διεργασίες, οι οποίες καταναλώνουν O<sub>2</sub> και παράγουν CO<sub>2</sub>.
  - ↳ *Εξωτερική:* περιλαμβάνει τις διεργασίες ανταλλαγής O<sub>2</sub> και CO<sub>2</sub> μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και των κυττάρων.
- Ανάλογα με τους μύες που δραστηριοποιούνται, η αναπνοή διακρίνεται σε:
  - ↳ *Διαφραγματική ή κοιλιακή αναπνοή:* υπερισχύει το διάφραγμα σε σχέση με τους μεσοπλεύριους μύες.
  - ↳ *Θωρακική αναπνοή:* υπερισχύουν οι έξω μεσοπλεύριοι μύες έναντι του διαφράγματος.

#### **4.1.1.2. Λειτουργίες του αναπνευστικού συστήματος**

Το αναπνευστικό σύστημα:

- Συμμετέχει στην ομοιόσταση.
- Αποτελεί οδό αποβολής νερού και θερμότητας.
- Συντελεί στον μεταβολισμό, στην αιμοδιήθηση και στην ανοσολογική λειτουργία.
- Ενισχύει την φλεβική επιστροφή.
- Συμβάλλει στη διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας.
- Είναι προϋπόθεση για την φώνηση και λειτουργίες όπως το τραγούδι, η εκτέλεση μουσικών οργάνων κ.ά.
- Παρέχει άμυνα έναντι των εισπνεόμενων ξένων σωμάτων.
- Απομακρύνει, τροποποιεί, ενεργοποιεί ή αδρανοποιεί ποικίλους παράγοντες κατά την διόδό τους από την πνευμονική κυκλοφορία π.χ. αδρανοποίηση των προσταγλανδινών, ενεργοποίηση της αγγειοτενσίνης II.(45)
- Η μύτη είναι και το αισθητήριο όργανο της όσφρησης.

#### **4.1.1.3. Ο έλεγχος της αναπνοής**

Η ήρεμη αναπνοή είναι αυτόματη και ρυθμική (12-20 αναπνοές/min). Ο αερισμός του πνεύμονα επιτυγχάνεται με την συνεχή ρυθμική σύσπαση και χάλαση των αναπνευστικών μυών. Η αναπνευστική λειτουργία επιδέχεται και εκούσια τροποποίηση με βουλητική συστολή των αναπνευστικών μυών, όπως συμβαίνει στην φώνηση, στο τραγούδι, στο εκούσιο κράτημα της αναπνοής.

Ο νευρικός έλεγχος της αναπνοής περιλαμβάνει παράγοντες που:

- ευθύνονται για το ρυθμικό πρότυπο,
- ρυθμίζουν το βάθος και την συχνότητα και
- τροποποιούν την αναπνευστική δραστηριότητα εκούσια (γέλιο) ή ακούσια (πταρμός).(45)

Οι ρυθμικές κινητικές νευρικές ώσεις, που ευθύνονται για το ρυθμικό πρότυπο της αναπνοής, παράγονται στον προμήκη μυελό και μέσω του φρενικού και των μεσοπλευρίων νεύρων φθάνουν στο διάφραγμα και στους έξω μεσοπλευρίους μύες παράγοντας την ρυθμική σύσπαση και χάλασή τους κατά την εισπνοή και την εκπνοή αντίστοιχα.(45)

Το αναπνευστικό κέντρο αποτελείται από δύο ομάδες νευρώνων: τους ραχιαίους (DRG) και τους κοιλιακούς (VRG) αναπνευστικούς νευρώνες.(45)

*Ραχιαίοι αναπνευστικοί νευρώνες:* ελέγχουν τους εισπνευστικούς μύες και συνδέονται με τους κοιλιακούς αναπνευστικούς νευρώνες.(45)

*Κοιλιακοί αναπνευστικοί νευρώνες:* πρόκειται για εισπνευστικούς και εκπνευστικούς νευρώνες, που ενεργοποιούνται από τους DRG και δρουν ενισχυτικά, όταν υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις αερισμού των πνευμόνων.(45) Οι νευρώνες αυτοί είναι σημαντικοί κατά την ενεργητική εκπνοή, διότι οι εκπνευστικοί νευρώνες της ομάδας διεγείρουν τους εκπνευστικούς μύες.(45)

*Αναπνευστικός ρυθμός:* Διαμορφώνεται στο σύμπλεγμα pre-Bötzinger, όπου τα νευρικά κύτταρα παρουσιάζουν δραστηριότητα βηματοδότη.

Τα αναπνευστικά κέντρα της γέφυρας ευθύνονται για την *ομαλή διαδοχή εισπνοής-εκπνοής*: Πρόκειται για ένα σύστημα ανάδρασης, όπου το πνευμοταξικό κέντρο ελέγχει την εισπνοή περιορίζοντας την διάρκειά της, με αναστολή της λειτουργίας των εισπνευστικών νευρώνων, ενώ το απνευστικό κέντρο ενισχύει την εισπνοή, ενεργοποιώντας τους εισπνευστικούς νευρώνες. Το πνευμοταξικό κέντρο υπερισχύει του απνευστικού, με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η «απνευστική αναπνοή», ένα πρότυπο αναπνοής κατά το οποίο επικρατεί η διέγερση του απνευστικού κέντρου και χαρακτηρίζεται από παρατεταμένες εισπνοές στις οποίες παρεμβάλλονται απότομα και σπασμωδικά σύντομες εκπνοές.(45)

*Αντανακλαστικό Hering-Breuer.* Ενεργοποιείται όταν ο εισπνεόμενος αέρας ξεπερνά το 1 lt, για την αποφυγή της υπερβολικής πνευμονικής διάτασης.

#### **4.1.1.4. Παράγοντες που επηρεάζουν τον αερισμό**

Ο αερισμός ρυθμίζεται με βάση τις αλλαγές στην  $P_{O_2}$ , στην  $P_{CO_2}$  και τη συγκέντρωση των  $H^+$ . Η μείωση της αρτηριακής  $P_{O_2}$  αυξάνει τον αερισμό ως μηχανισμός έκτακτης ανάγκης.(45) Ο αερισμός επηρεάζεται από ακούσιους παράγοντες, όπως:

- αντανακλαστικά: παταμός, βήχας,
- κατάποση,
- πόνος, συναισθήματα π.χ. γέλιο, κλάμα, αναστεναγμός,
- λόξυγγας. (45)

Ωστόσο είναι δυνατός και ο εκούσιος έλεγχος του αερισμού όπως συμβαίνει κατά την εκτέλεση διαφόρων δραστηριοτήτων π.χ. σφύριγμα, τραγούδι, καταδύσεις. Έτσι ο άνθρωπος αυξάνει ή μειώνει τον αερισμό ή συγκρατεί την αναπνοή του εκούσια για μικρούς χρόνους, διότι οι αλλαγές στα επίπεδα των αερίων του αίματος από παρατεταμένη αναστολή της αναπνοής, διεγείρουν αντανακλαστικά το αναπνευστικό κέντρο, το οποίο αναλαμβάνει τον έλεγχο των αναπνευστικών μυών υπερσχύοντας της θέλησης.(45)

#### **4.1.1.5. Πιέσεις**

Οι πιέσεις, που σχετίζονται με τον αερισμό των πνευμόνων, είναι:(45)

1. *Ατμοσφαιρική πίεση*: είναι η πίεση που ασκεί η μάζα του αέρα της ατμόσφαιρας στην επιφάνεια της γης, με τιμή στη στάθμη της θάλασσας 760 mmHg, και ελαττώνεται όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Επηρεάζεται και από τις καιρικές συνθήκες.

2. *Ενδοπνευμονική πίεση*: η πίεση του αέρα μέσα στις κυψελίδες.

3. *Ενδοθωρακική πίεση*: ασκείται εξωτερικά στους πνεύμονες και εκφράζεται από την ενδοϋπεζωκοτική πίεση. Η αλλαγή του όγκου του θωρακικού κλωβού αλλάζει την ενδοθωρακική πίεση που εκφράζεται με τον νόμο του Boyle (όταν η θερμοκρασία και η μάζα είναι σταθερές, ο όγκος και η πίεση των αερίων είναι αντιστρόφως ανάλογα). Κατά την ήρεμη αναπνοή η ενδοθωρακική πίεση είναι αρνητική εξασφαλίζοντας αρνητική πίεση στις κυψελίδες, με μέση απόλυτη τιμή 756 mm Hg. Κατά την βίαιη εκπνοή λόγω δράσης των εκπνευστικών μυών η ενδοθωρακική πίεση παίρνει θετικές τιμές.



4. *Δια-διαφραγματική πίεση (Pdi)*: είναι αποτέλεσμα της διαφραγματικής συστολής. Ισούται με την διαφορά μεταξύ της οισοφάγειας (Pes) και της γαστρικής πίεσης (Pga). Σε παράλυση του διαφράγματος οι δύο πιέσεις ελαττώνονται. Σε φυσιολογική διαφραγματική αναπνοή η γαστρική πίεση είναι υψηλή.

Η είσοδος του αέρα στους πνεύμονες επιτυγχάνεται με τη διαβάθμιση της κυψελιδικής πίεσης, από μία περιοχή υψηλής πίεσης, την ατμόσφαιρα, σε περιοχή χαμηλότερης πίεσης, τους πνεύμονες, και το αντίθετο, όταν οι δύο πιέσεις εξισωθούν.

Οι αναπνευστικοί μύες επιτελούν το μηχανικό έργο της αναπνοής και η δράση τους στους πνεύμονες είναι έμμεση, αφού προσφύονται στο θωρακικό τοίχωμα. Οι αναπνευστικοί μύες αυξομειώνουν τον όγκο του θώρακα και μέσω αυτού των πνευμόνων, αφού το θωρακικό τοίχωμα και οι πνεύμονες συνδέονται μέσω α) των δυνάμεων συνοχής του υπεζωκοτικού υγρού και β) των διατοιχωματικών διαβαθμίσεων πίεσης.(45)

Κατά την εισπνοή η σύσπαση των εισπνευστικών μυών προκαλεί διεύρυνση του θωρακικού κλωβού και έκπτυξη των πνευμόνων. Λόγω της αύξησης του όγκου των πνευμόνων μειώνεται η ενδοκυψελιδική πίεση κατά 1 mm Hg, δηλαδή στα 759 mm Hg,(45) και ο αέρας εισρρέει στους πνεύμονες. Η ροή του αέρα σταματά, όταν η ενδοκυψελιδική πίεση εξισωθεί με την ατμοσφαιρική. Η ενδοϋπεζωκοτική πίεση μειώνεται στα 754 mm Hg, επειδή η έκπτυξη των πνευμόνων αυξάνει την ελαστική τάση επαναφοράς, η οποία τείνει να τους αποκολλήσει από τον θωρακικό τοίχωμα.(45)

#### **4.1.1.7. Συνοπτική ανατομία του αναπνευστικού συστήματος**

Το αναπνευστικό σύστημα αποτελείται από τους αεραγωγούς, τους πνεύμονες και τους αναπνευστικούς μύες. Ανατομικά διακρίνεται στις:

- *Ανώτερες αεροφόρες οδούς*: περιλαμβάνουν την ρίνα, τον φάρυγγα και την στοματική κοιλότητα.
- *Κατώτερες αεροφόρες οδούς*: αποτελούνται από την τραχεία, τους βρόγχους (2 στελεχιαίους, λοβαίους και 19 τμηματικούς) και τις διακλαδώσεις τους. Η τελική αναπνευστική μονάδα ονομάζεται αναπνευστικό βοτρυδίο ή λοβίδιο.

Μέσω των αεραγωγών ο αέρας φθάνει στις κυψελίδες, όπου πραγματοποιείται η ανταλλαγή των αερίων. Οι αεραγωγοί, συνολικού μήκους 2.500 Km, ξεκινούν από τις ρινικές χοάνες. Ακολουθεί ο φάρυγγας, μήκους 15 cm. Από τον φάρυγγα ξεκινούν η τραχεία (διάμετρος 2,5 cm), που μεταφέρει τον αέρα στους πνεύμονες, και ο οισοφάγος, που μεταφέρει τις τροφές στον στόμαχο. Στην είσοδο της τραχείας, εντοπίζουμε τον λάρυγγα, όπου και οι φωνητικές χορδές. Μέσω της γλωττίδας ο αέρας διέρχεται τον λάρυγγα, προκαλώντας ταλάντωση των φωνητικών χορδών. Η τραχεία διαιρείται στον δεξιό και στον αριστερό βρόγχο, καθένας από τους οποίους εισέρχεται στον αντίστοιχο πνεύμονα. Στο εσωτερικό των πνευμόνων κάθε βρόγχος διακλαδίζεται σε μικρότερους κλάδους, τα βρογχιόλια. Στα άκρα των τελικών βρογχιολίων εντοπίζονται οι κυψελίδες, όπου επιτελείται η ανταλλαγή των αερίων μεταξύ του αίματος και του αέρα.

#### **4.1.2. Το θωρακικό τοίχωμα**

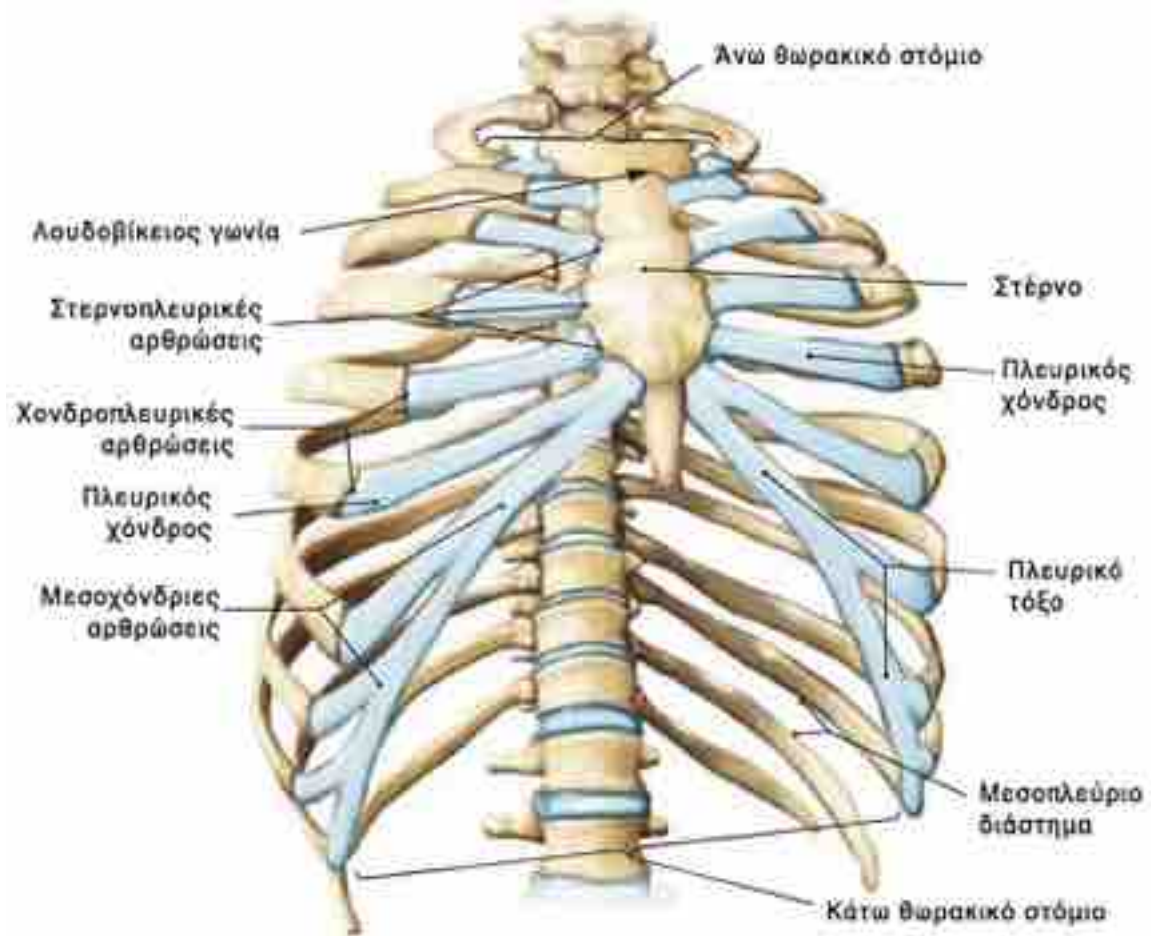
##### **4.1.2.1. Τα οστά του θωρακικού τοιχώματος (39)**

Το θωρακικό τοίχωμα αποτελείται από τα ζεύγη των πλευρών, τα οποία ενώνονται πρόσθια με το στέρνο και οπίσθια με τους θωρακικούς σπονδύλους. Παρουσιάζει άνω και κάτω στόμιο.

Το άνω στόμιο (μικρότερο του κάτω) αφορίζεται από το ζεύγος των δύο πρώτων πλευρών, το άνω άκρο της λαβής του στέρνου και τον Θ1 σπόνδυλο.

Το κάτω στόμιο ορίζεται από το διάφραγμα, το πλευρικό τόξο, την ξιφοειδή απόφυση και τον Θ12 σπόνδυλο.

Οι πλευρές σχηματίζουν δώδεκα (12) ζεύγη με ένδεκα (11) μεσοπλεύρια διαστήματα. Οι επτά πρώτες πλευρές ή γνήσιες ενώνονται άμεσα με το στέρνο, οι 8<sup>η</sup>-10<sup>η</sup> καλούνται νόθες, συνδέονται με το στέρνο μέσω των πλευρικών τους χόνδρων, οι δύο τελευταίες πλευρές (11<sup>η</sup>-12<sup>η</sup>) ονομάζονται νόθες ασύντακτες, διότι καταλήγουν ελεύθερες στην κοιλιακή κοιλότητα.

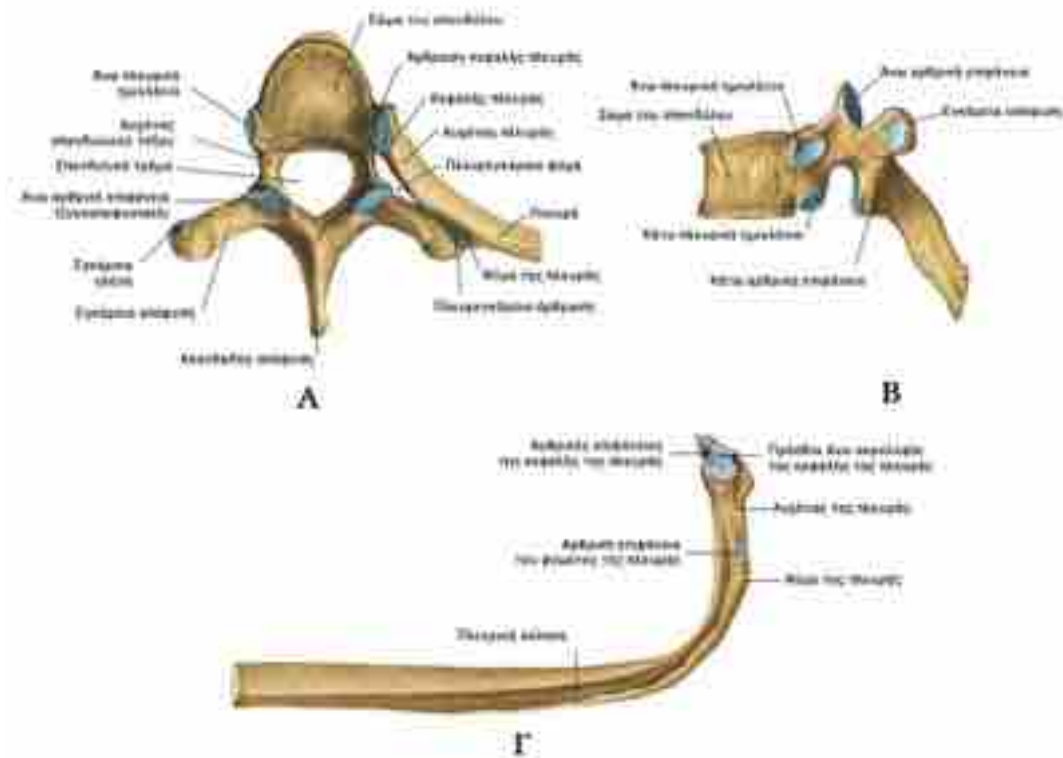


Εικόνα 6 Τα οστά του θωρακικού τοιχώματος. Πηγή: Friedrich Paulsen, Jens Waschke. Sobotta atlas of human anatomy, Vol. 1, 15<sup>th</sup> ed. Copyright: Urban & Fischer 2013.

Κάθε πλευρά παρουσιάζει την *κεφαλή*, τον *αυχένα* και το *σώμα*. Μεταξύ του αυχένα και του σώματος υπάρχει το *φύμα* της πλευράς (απουσιάζει στην 11η και 12η πλευρά), που αρθρώνεται με την *εγκάρσια απόφυση* του αντίστοιχου θωρακικού σπονδύλου. Ο αυχένας συνδέεται με τις εγκάρσιες αποφύσεις μέσω συνδέσμων.

Το σώμα κάθε πλευράς έρχεται κυκλικά προς τα εμπρός και συνδέεται με τον πλευρικό χόνδρο.

Οι πλευρικοί χόνδροι των επτά πρώτων ζευγών (γνήσιες) προσφύονται στο στέρνο, της όγδοης έως της δέκατης πλευράς (νόθες) αρθρώνονται με τον χόνδρο της υπερκείμενης πλευράς και ενδέκατη και δωδέκατη πλευρά (νόθες ασύντακτες) έχουν ελεύθερο το άκρο τους. Το κάτω έσω όριο των πλευρικών χόνδρων από την 7η-10η πλευρά σχηματίζει την *υποστερνική γωνία*.



Εικόνα 7Α-Β, Θ5-Θ6 σπόνδυλοι. Γ, τυπική πλευρά. Πηγή: Friedrich Paulsen, Jens Waschke. Sobotta atlas of human anatomy, Vol. 1, 15th ed. Copyright: Urban & Fischer 2013.

Το στήρνο αποτελείται από την *λαβή*, το *σώμα* και την *ξίφοειδή απόφυση*. Η λαβή ενώνεται με το σώμα μέσω συγχόρδωσης. Στην άρθρωση μεταξύ της λαβής και του σώματος σχηματίζεται ένα εγκάρσιο έπαρμα, η *στερνική γωνία* (λουδοβίκειος γωνία).

Η *σφαγιτιδική εντομή* βρίσκεται στο άνω χείλος της λαβής και εκατέρωθεν η *κλειδική εντομή* για την άρθρωση με την κλείδα. Στην λαβή, κάτω από την κλειδική εντομή υπάρχει η *πλευρική εντομή* για την άρθρωση με την 1η πλευρά. Η δεύτερη πλευρική εντομή για την άρθρωση με την δεύτερη πλευρά βρίσκεται στην *στερνική γωνία*. Στα πλάγια χείλη του σώματος υπάρχουν οι *πλευρικές εντομές* για την άρθρωση των πλευρών 3-7.

Οι *θωρακικοί σπόνδυλοι* είναι 12 και παρουσιάζουν τις εξής ιδιαιτερότητες:

**Πλευρικά ημιγλήνια (άνω και κάτω):** Βρίσκονται στα πλάγια του σπονδυλικού σώματος για την σύνταξη με την κεφαλή κάθε πλευράς. **Εξαιρέσεις:** Ο Θ1, παρουσιάζει πλήρη πλευρική γλήνη στο άνω και πλευρικό ημιγλήνιο στο κάτω χείλος του σώματος. Ο Θ10 έχει μόνο άνω πλευρικό ημιγλήνιο. Ο Θ11 και Θ12 έχουν πλήρη άνω πλευρική γλήνη, με τη διαφορά ότι στον Θ12 βρίσκεται στο μέσω της πλάγιας επιφάνειας του σώματος.

Οι εγκάρσιες αποφύσεις των Θ1-Θ10 έχουν εγκάρσια γλήνη, αρθρική επιφάνεια για την σύνταξη με το φύμα μιας τυπικής πλευράς. **Η διαφορετική κινητικότητα των πλευρών οφείλεται σ' αυτό στο σχήμα της εγκάρσιας γλήνης,** καθώς στους Θ2-Θ5 είναι υπόκοιλο, στον Θ1, Θ6-Θ10 είναι επίπεδο.

#### **4.1.2.2. Αρθρώσεις του θωρακικού τοιχώματος (39)(47)(48)**

*Σπονδυλοπλευρικές:* είναι η διάρθρωση της κεφαλής μιας τυπικής πλευράς με το άνω και κάτω ημιγλήνιο των παρακείμενων σπονδύλων και τον μεσοσπονδύλιο δίσκο, με τον οποίο η σύνδεση γίνεται με τον μεσάρθριο σύνδεσμο της κεφαλής της πλευράς με την ακρολοφία της κεφαλής. Ο ακτινωτός σύνδεσμος ενισχύει τον αρθρικό θύλακα. Εξαίρεση αποτελούν η 1η, 11η, 12η πλευρά.

*Πλευρεγκάρσιες:* η αρθρική επιφάνεια του φύματος μιας πλευράς (εκτός από την 11η και 12η) αρθρώνεται με την εγκάρσια γλήνη του σύστοιχου σπονδύλου. Ο πρόσθιος και οπίσθιος πλευρεγκάρσιος σύνδεσμος και ο σύνδεσμος του φύματος της πλευράς ενισχύουν τον αρθρικό θύλακα.

*Χονδροπλευρικές συναρθρώσεις:* έχουν κωνικό αποπεπλατυσμένο προσθιοοπίσθια σχήμα. Ο Karandji τις αναφέρει μαζί με τις στερνοπλευρικές αρθρώσεις ως «κλειδωμένες», με μικρές πλάγιες και κάθετες κινήσεις, χωρίς στροφή.(48)

*Στερνοπλευρικές:* διαρθρώσεις μεταξύ της χόνδρινης μοίρας των πλευρών 2-5 με τα έξω χείλη του στέρνου. Η 1η, 6η και 7η πλευρά ενώνονται με το στέρνο με συγχόρδωση. Οι στερνοπλευρικές αρθρώσεις εμφανίζουν ελαφρά κάθετη κίνηση χωρίς στροφή (Karandji).(48)

*Μεσοχόνδριες:* άρθρωση μεταξύ των πλευρικών χόνδρων της 6ης-9ης πλευράς.

*Στερνοξιφοειδής συγχόρδωση, Στερνοκλειδική, Συγχόρδωση λαβής-σώματος στέρνου.*

Το θωρακικό τοίχωμα περιβάλλει την θωρακική κοιλότητα, η οποία εσωκλείει τις σπλαχνικές κοιλότητες, δύο υπεζωκοτικές και την περικαρδιακή, τα θωρακικά σπλάγχνα, τον οισοφάγο, τον θύμο αδένα, την καρδιά, αγγεία και νεύρα, και τους πνεύμονες οι οποίοι καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της.

### 4.1.3. Αναπνευστικοί μύες - Φυσιολογία (39)(47)

Η εξωτερική αναπνοή διακρίνεται στην εισπνοή, η οποία αποτελεί την ενεργητική φάση της αναπνοής, και στην εκπνοή. Η ήρεμη εκπνοή είναι παθητικό φαινόμενο, αποτέλεσμα της απελευθέρωσης των δυνάμεων που προκάλεσε η ελαστική παραμόρφωση. Στην βίαιη εκπνοή συμμετέχουν και οι εκπνευστικοί μύες.

#### 1. Εισπνευστικοί μύες:

- ↳ Διάφραγμα, κύριος εισπνευστικός μυς.
- ↳ Έξω μεσοπλεύριοι
- ↳ Σκαληνοί
- ↳ Στερνοκλειδομαστοειδείς
- ↳ Μύες της ωμικής ζώνης
- ↳ Ανεκκτήρες των ρωθώνων
- ↳ Αρυταινοειδείς

#### 2. Εκπνευστικοί μύες:

- ↳ Ορθός κοιλιακός
- ↳ Έσω και έξω λοξοί κοιλιακοί
- ↳ Εγκάρσιος κοιλιακός
- ↳ Έσω μεσοπλεύριοι

Οι αναπνευστικοί μύες αποτελούν την κινητήρια δύναμη του αναπνευστικού συστήματος και οι λειτουργικές τους ιδιότητες καθορίζονται από την σύνθεσή τους. Ως σκελετικοί μύες παρουσιάζουν ίδια δομή και κοινά χαρακτηριστικά με τους μύες των άκρων(45):

- Οι μυϊκές ίνες σχηματίζουν δέσμες και προσφύονται στα οστά, σχηματίζοντας συστήματα μοχλών.
- Κατά την συστολή των μυών η τάση μεταδίδεται στα οστά.
- Εκτελούν ισομετρική, ισοτονική ή ισοκινητική συστολή ομόκεντρη ή έκκεντρη.
- Η ταχύτητα βράχυνσης καθορίζεται από το φορτίο.

- Η τάση που αναπτύσσει ο μυς εξαρτάται από τη συχνότητα διέγερσης, τη διάμετρο των μυϊκών ινών, το μήκος του μυός κατά την έναρξη της συστολής και τον βαθμό κόπωσης.
- Η δύναμη συστολής είναι συνάρτηση της ταχύτητας βράχυνσης, του αρχικού μήκους και του ρυθμού διέγερσης.

Η ταχύτητα βράχυνσης του διαφράγματος εκτιμάται από τη σχέση του μήκους του διαφράγματος, του όγκου του πνεύμονα ( $AL/AV$ ) και της ταχύτητας εισπνοής ( $AV/A$ ) περίπου σε 1,25 L/s ή 50% της  $V_{max}$  και η μέγιστη διέγερση θα δημιουργούσε μια συσταλτική δύναμη < 20% αυτής σε μια ισομετρική συστολή.(44)

Παράγοντες που τροποποιούν την διαφραγματική συστολή είναι η μηχανική του αναπνευστικού συστήματος και οι μηχανισμοί ελέγχου.(44) Το διάφραγμα συρρικνώνεται ρυθμικά έναντι ελαστικών και αντιστατικών δυνάμεων και με κάθε χάλαση επιστρέφει σε μια σχετικά σταθερή θέση ηρεμίας, που καθορίζεται από την ισορροπία των δυνάμεων ανάκρουσης των πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος.

#### 4.1.4. Μυϊκή ισχύς αναπνευστικών μυών

Η μυϊκή ισχύ των αναπνευστικών μυών αντιρροπεί το άθροισμα των ελαστικών δυνάμεων επαναφοράς των πνευμόνων και του θωρακικού τοιχώματος που έχουν αντίθετη φορά (έσω και έξω αντίστοιχα). Και είναι:

- FRC ( $\approx 40\%$  VC), όγκος ισορροπίας του αναπνευστικού συστήματος:(49)
  - Ελαστική δύναμη επαναφοράς θωρακικού τοιχώματος=ελαστική δύναμη επαναφοράς πνευμόνων
  - Όγκος ισορροπίας πνεύμονα < 0% VC
  - Όγκος θωρακικού τοιχώματος  $\cong 55\%$  VC
  - $F_{musc} \rightarrow$  Μηδενική

Σε τιμές όγκου πνευμόνων > RV, η ελαστική δύναμη επαναφοράς των πνευμόνων είναι θετική.(49)

- Ελαστική δύναμη επαναφοράς θωρακικού τοιχώματος (49):
  - $RV-60\% VC \rightarrow$  ελαστική πίεση με φορά έξω  $\rightarrow$  έκπτυξη
  - $60\% VC-TLC \rightarrow$  ελαστική πίεση με φορά έσω  $\rightarrow$  σύμπτυξη
  - $F_{\text{musc}}$  Εξωφερής  $\rightarrow V > FRC$
  - $F_{\text{musc}}$  Εσωφερής  $\rightarrow V < FRC$
  - $F_{\text{musc}}$  Μηδενική  $\rightarrow V = FRC$
  - Επηρεάζει τον υπολειπόμενο όγκο (RV) και την ολική πνευμονική χωρητικότητα (TLC).
- Αύξηση της ισχύος των αναπνευστικών μυών προκαλεί:
  - ↳ μείωση RV- αύξηση TLC
- Ελάττωση της ισχύος των αναπνευστικών μυών προκαλεί:
  - ↳ αύξηση RV - μείωση TLC

Όπου:

FRC=Functional residual capacity/λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα.

VC=Vital capacity/ζωτική χωρητικότητα.

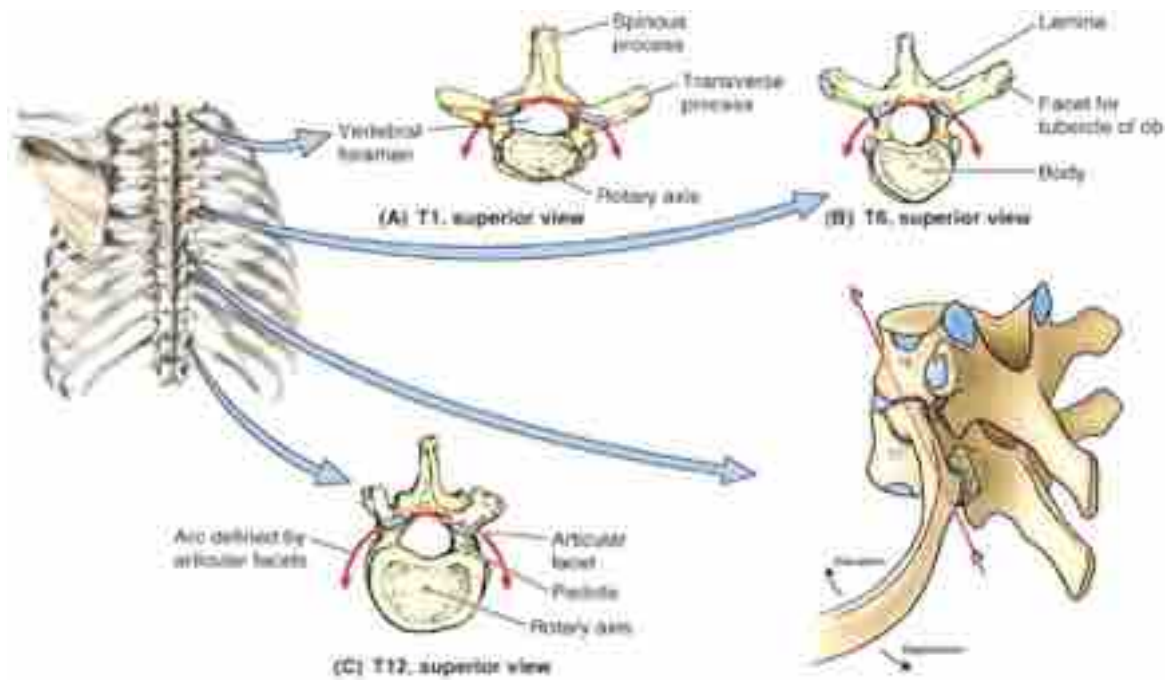
RV=Residual volume/υπολειπόμενος όγκος.

TLC=Total lung capacity/ολική πνευμονική χωρητικότητα.

#### 4.1.5. Μηχανική της αναπνοής

Η αναπνευστική λειτουργία στηρίζεται στην λειτουργία της αναπνευστικής αντλίας, η οποία διασφαλίζει την απαραίτητη διαβάθμιση πίεσης για την ροή του αέρα στις κυψελίδες. Τα συστατικά στοιχεία της αναπνευστικής αντλίας είναι το κεντρικό νευρικό σύστημα, τα εγκεφαλικά και νωτιαία νεύρα, ο θωρακικός κλωβός, το πλευρικό και το κοιλιακό τοίχωμα, η θωρακική και η κοιλιακή κοιλότητα και το διάφραγμα.(49)

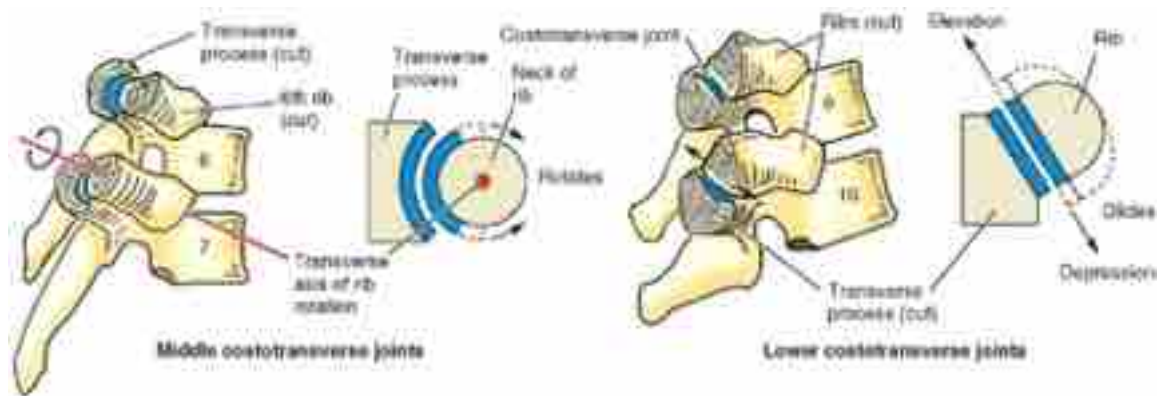




Εικόνα 8 Τα επίπεδα των αρθρικών επιφανειών των θωρακικών σπονδύλων ορίζουν ένα τόξο (κόκκινα βέλη) με κέντρο έναν άξονα που διαπερνά κάθετα τα σπονδυλικά σώματα. Η πλευρά (κάτω δεξιά) κινείται γύρω από έναν άξονα περιστροφής που διασχίζει την κεφαλή και τον αυχένα της πλευράς (βέλη). Πηγή: Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, Anne M. R. Agur. *Clinically Oriented Anatomy*, 6th ed. © Lippincott Williams and Wilkins 2010.

#### 4.1.5.1. Οι κινήσεις του θωρακικού τοιχώματος κατά την αναπνοή

Οι πλευρές συνδέονται με τους θωρακικούς σπονδύλους με τις σπονδυλοπλευρικές και τις πλευρεγκάρσιες αρθρώσεις. Οι δύο αρθρώσεις συμπεριφέρονται μηχανικά ως ζεύγος, το οποίο κινείται γύρω από έναν άξονα περιστροφής που διέρχεται από το κέντρο κάθε άρθρωσης.(48) Οι πλευρές περιστρέφονται γύρω από αυτόν τον άξονα διαγράφοντας τόξο κύκλου (εικόνα 8), ενώ η 8<sup>η</sup>-10<sup>η</sup> πλευρά «ολισθαίνουν» (εικόνα 9).(50) Η διεύθυνση της κίνησης κάθε πλευράς καθορίζεται από την διεύθυνση του άξονα ως προς το οβελιαίο επίπεδο. Στις ανώτερες πλευρές ο άξονας περιστροφής βρίσκεται εγγύτερα προς το μετωπιαίο επίπεδο, οπότε η ανύψωση των πλευρών αυξάνει την προσθιοπίσθια διάμετρο στο άνω τμήμα του θωρακικού κλωβού, ενώ στις κατώτερες πλευρές ο άξονας περιστροφής είναι σχεδόν παράλληλος προς το οβελιαίο επίπεδο και η ανύψωσή τους αυξάνει την εγκάρσια διάμετρο του θώρακα.(48) Η ανύψωση των πλευρών στο μέσο του θωρακικού κλωβού αυξάνει και τις δύο διαμέτρους, διότι ο άξονας των σπονδυλοπλευρικών αρθρώσεων σχηματίζει γωνία 45° ως προς το οβελιαίο επίπεδο.(48).



Εικόνα 9 Πηγή: Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, Anne M. R. Agur. *Clinically Oriented Anatomy*, 6th ed. Lippincott Williams and Wilkins 2010.

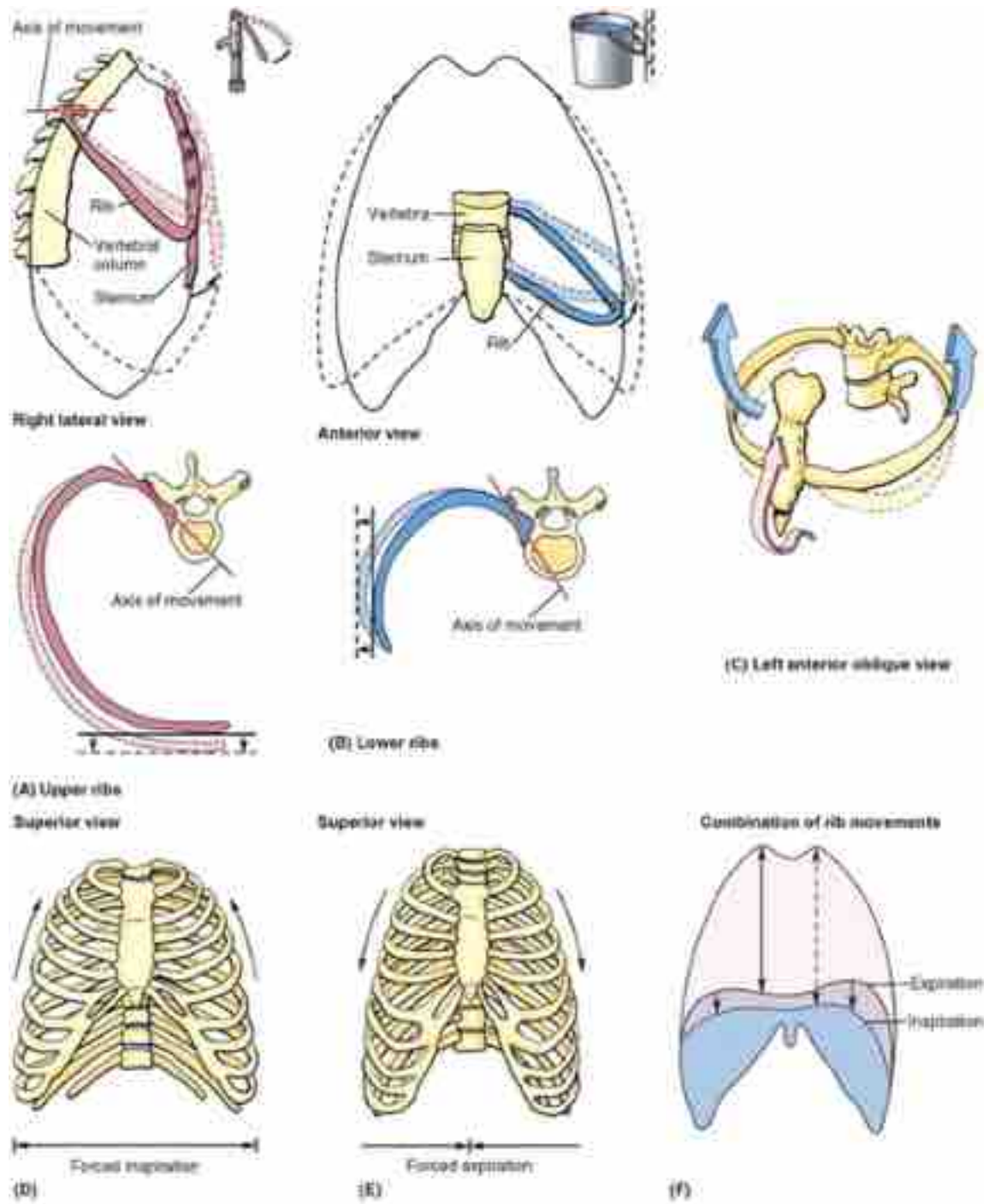
Η ανύψωση της 2<sup>ης</sup>-6<sup>ης</sup> πλευράς (κίνηση λαβής αντλίας) προκαλεί επίσης την πρόσθια-οπίσθια κίνηση του στέρνου, ειδικά του κατώτερου άκρου του, με ελαφρά κίνηση στην στερνική συγχόνδρωση που εμφανίζεται σε νέους ανθρώπους.(50)

Κατά την ανύψωση των ανώτερων πλευρών παρατηρούνται οι εξής κινήσεις (48):

- ανύψωση και πλάγια μετατόπιση στο πλάγιο τμήμα της πλευράς
- ανύψωση και πρόσθια μετατόπιση στο πρόσθιο τμήμα της πλευράς
- ανύψωση του στέρνου, το οποίο δεν μένει παράλληλο ως προς την αρχική του θέση, λόγω της αύξησης της προσθιοπίσθιας διαμέτρου του άνω τμήματος του θωρακικού κλωβού,
- αξονική στροφή και γωνιώδης μετατόπιση των πλευρικών χόνδρων στην στερνοπλευρική άρθρωση με τον πλευρικό χόνδρο να έρχεται σε θέση περισσότερο οριζόντια ως προς την αρχική,
- μείωση της στερνοπλευρικής γωνίας λόγω της αξονικής στροφής του πλευρικού χόνδρου.

Η ενέργεια από την συστροφή που προκαλείται στους πλευρικούς χόνδρους κατά την εισπνοή χρησιμοποιείται για την ανύψωση των πλευρών και κατά την εκπνοή για την επαναφορά των πλευρών στην αρχική θέση.

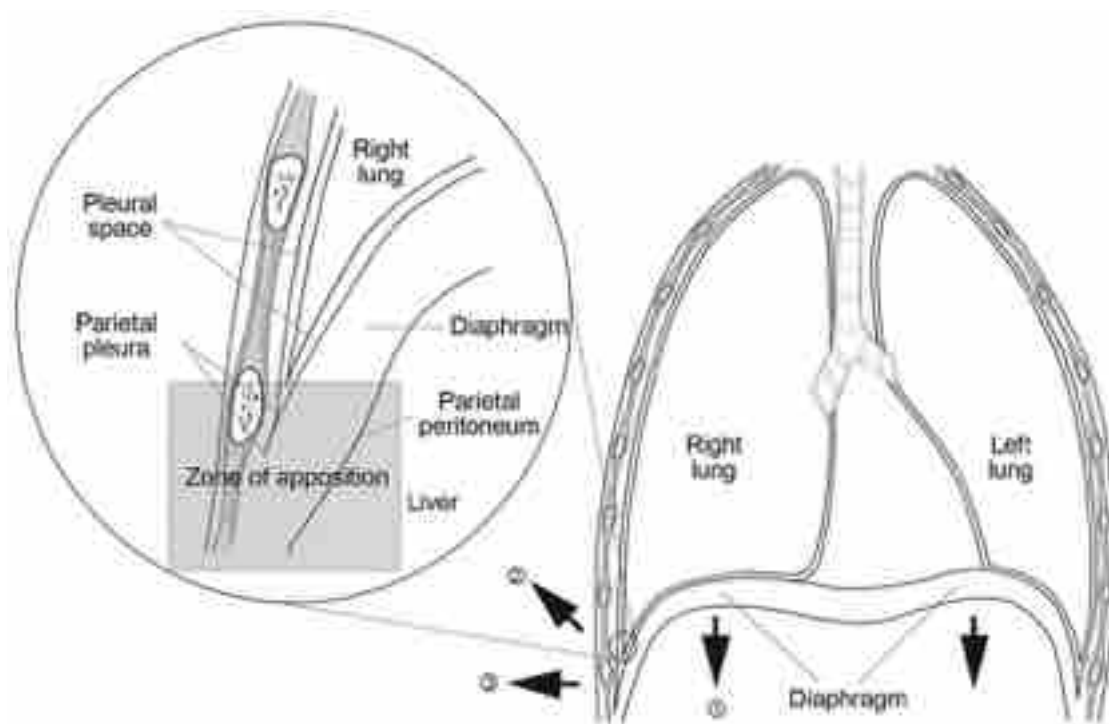
Η κίνηση των πλευρών συνοδεύεται από ελαφρά έκταση της θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης κατά την έντονη εισπνοή.



Εικόνα 10 Οι κινήσεις του θωρακικού τοιχώματος κατά την αναπνοή. Α. Όταν οι ανώτερες πλευρές ανυψώνονται, η προσθιοπίσθια διάσταση του θώρακα αυξάνεται (κίνηση λαβής αντλίας). Β. Τα μεσαία τμήματα των κάτω πλευρών με την κίνησή του αυξάνουν την εγκάρσια διάσταση του θώρακα (κίνηση λαβής κάδου). Γ. Ο συνδυασμός των κινήσεων των πλευρών κατά την βίαιη εισπνοή αυξάνει την προσθιοπίσθια και την εγκάρσια διάσταση του θωρακικού κλωβού. Δ. Ο θώρακας κατά την βίαιη εισπνοής – άνοδος πλευρών και Ε. κατά την εκπνοή – κάθοδος πλευρών. F. Η κίνηση του διαφράγματος κατά την εισπνοή αυξάνει την κατακόρυφη διάσταση της θωρακικής κοιλότητας (βέλη). Το αντίθετο συμβαίνει κατά την εκπνοή.

#### 4.1.5.3. Εισπνευστική δράση του διαφράγματος

Σε θέση ηρεμίας (FRC) το διάφραγμα βρίσκεται σε χάλαση σχηματίζοντας έναν ψευδοεπίπεδο θόλο στη βάση της θωρακικής κοιλότητας. Οι μυϊκές ίνες που εκφύονται από την 7<sup>η</sup>-12<sup>η</sup> πλευρά με πορεία προς τα άνω, σχηματίζουν ένα ελλειπτικό κυλινδρικό τμήμα, το οποίο βρίσκεται σε επαφή με την έσω κάτω επιφάνεια του θωρακικού κλωβού, δημιουργώντας την «ζώνη παράθεσης» (zone of apposition).(40) Ψηλότερα σχηματίζουν γωνία με τον θωρακικό κλωβό και τελικά με οριζόντια φορά συγκλίνουν προς τον κεντρικό τένοντα.(40) Οι κατώτερες πλευρές δεν εκτίθενται στην υπεζωκοτική πίεση, αλλά στην κοιλιακή.(31)



Εικόνα 11 Ζώνη παράθεσης. Πηγή: Umbrello M., Paolo Formenti. *Ultrasonographic assessment of diaphragm function in critically ill subjects. Resp Care. April 2016, 61(4)542-555.*

Η «ζώνη παράθεσης» σε όρθια θέση ηρεμίας καλύπτει το 1/3 της εσωτερικής επιφάνειας του θωρακικού κλωβού (ύψος 6-7 cm στη μασχालιαία γραμμή).(31) Όταν αναπτύσσεται τάση στο διάφραγμα, οι μυϊκές ίνες βραχύνονται, ασκώντας στον κεντρικό τένοντα δύναμη με καθοδική φορά και ο θόλος του διαφράγματος σαν έμβολο πιέζει το κοιλιακό περιεχόμενο.(51) Το αποτέλεσμα αυτήν την κίνησης είναι διπλό:

1. Αυξάνεται η κατακόρυφη διάμετρος της θωρακικής κοιλότητας. Κατά την ήρεμη εισπνοή το διάφραγμα κατέρχεται 1-1,5 cm και ευθύνεται για το 75% της διεύρυνσης της θωρακικής κοιλότητας. Σε έντονη εισπνοή κατέρχεται 6-10 cm.(45) Η έκταση της θωρακικής κοιλότητας ακολουθείται από μείωση της υπεζωκοτικής πίεσης, αύξηση του όγκου των πνευμόνων -ανοιχτές φωνητικές χορδές - ή μείωση της κυψελιδικής πίεσης -κλειστές φωνητικές χορδές-(40) και ροή του αέρα στους πνεύμονες.

2. Δημιουργείται θετική κοιλιακή πίεση και τα κοιλιακά σπλάγχνα πιέζονται ουραία, με αποτέλεσμα μετατόπιση προς τα έξω του κοιλιακού τοιχώματος.

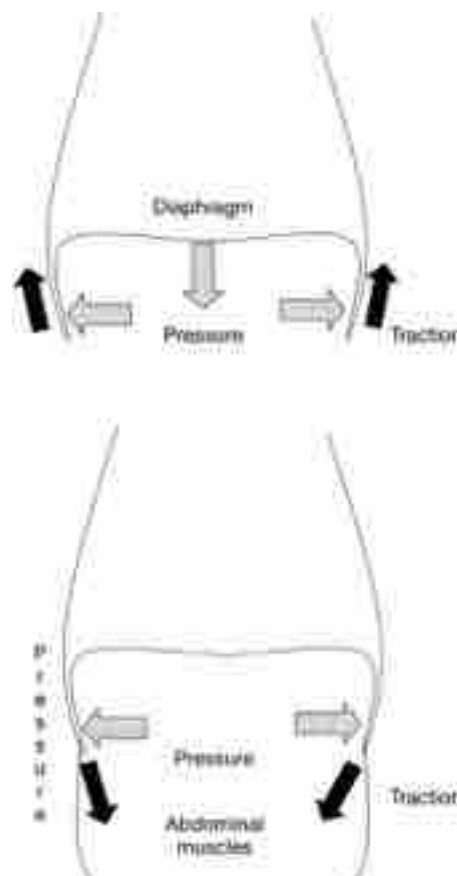
***Η δράση δύο δυνάμεων είναι υπεύθυνη για την αλλαγή των διαστάσεων του θωρακικού κλωβού κατά την διαφραγματική συστολή:***

1. **appositional force** (δύναμη παράθεσης)
2. **insertional force** (δύναμη πρόσφυσης).

Οι δυνάμεις αυτές σε συνδυασμό με τον λοξό προσανατολισμό των αρθρικών επιφανειών των θωρακικών σπονδύλων με τις πλευρές προκαλούν προς τα άνω κίνηση των κατώτερων πλευρών και προς τα έξω περιστροφή τους.(31)

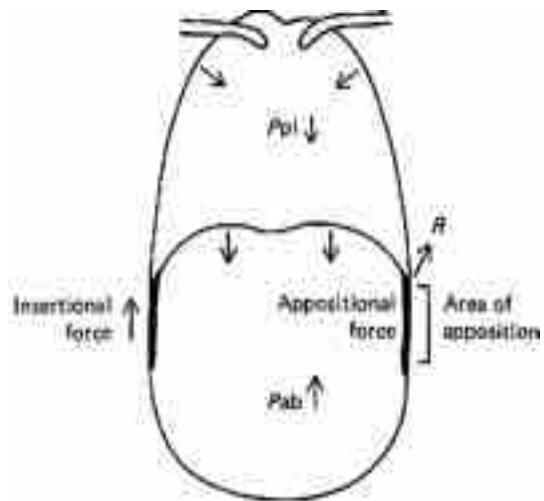
Το διάφραγμα δρα στον θωρακικό κλωβό άμεσα, λόγω της πρόσφυσης του στις πλευρές, και έμμεσα εξαιτίας των μεταβολών της υπεζωκοτικής και της ενδοκοιλιακής πίεσης.(40)

Οι πλευρικές διαφραγματικές ίνες, που προσφύονται στις έξι κατώτερες πλευρές, έχοντας με κρνιακό προσανατολισμό, βραχυνόμενες αναπτύσσουν στο κατώτερο τμήμα του θώρακα μία δύναμη επίσης με κρνιακό προσανατολισμό (insertional force), η οποία προκαλεί την ανύψωση των 6 κατώτερων πλευρών.(52)



Εικόνα 12 Η δράση του διαφράγματος και των κοιλιακών μυών.Πηγή: Drummond GB. The abdominal muscles in anaesthesia and after surgery. British Journal o Anaesthesia 91(1):73-80(2003).

«Η ζώνη παράθεσης μετατρέπει το κατώτερο τμήμα του θωρακικού κλωβού σε τμήμα του περιεχομένου της κοιλιάς» (Σιγάλας, Ι, Βασιλακόπουλος, Θ, Ζακυνθινός, Σ.).(40) Η πίεση στο τμήμα αυτό της υπεζωκοτικής κοιλότητας, μεταξύ ζώνης παράθεσης και θωρακικού κλωβού, αυξάνεται κατά την εισπνοή, πράγμα το οποίο σημαίνει, ότι η αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης μεταβιβάζεται μέσω της παράθεσης του διαφράγματος και προκαλεί έκπτυξη του κατώτερου τμήματος του θωρακικού κλωβού.(49) Αυτός ο μηχανισμός δράσης του διαφράγματος ονομάζεται δύναμη παράθεσης (appositional force) (40) και έχει κατεύθυνση προς τα έξω.(52)



Εικόνα 13 Η δράση του διαφράγματος. Κατά την συστολή ο διαφραγματικός θόλος κατέρχεται και η ενδοκοιλιακή πίεση (Pab) αυξάνεται. Αυτό προκαλεί στο κατώτερο τμήμα του θωρακικού κλωβού διεύρυνση μέσω της appositional force, ενώ ταυτόχρονα το πλευρικό διάφραγμα το ανυψώνει (insertional force) με την προκύπτουσα δύναμη R. Έτσι προκύπτει μείωση της υπεζωκοτικής πίεσης (Ppl), εισπνοή και ελάττωση της προσθιοπίσθιας διαμέτρου του ανώτερου τμήματος του θωρακικού κλωβού. Πηγή: Green M, Moxham J. *The respiratory muscles. Clin Science* (1985):68,1-10.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την δύναμη παράθεσης είναι η ενδοκοιλιακή πίεση και το μέγεθος της ζώνης παράθεσης και είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερα είναι τα παραπάνω μεγέθη κατά την διαφραγματική συστολή.(40)

Σημαντική είναι επίσης και η αντίσταση που προβάλλει το περιεχόμενο της κοιλιάς στην κάθοδο του διαφράγματος με την δράση των κοιλιακών μυών. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η αντίσταση, τόσο λιγότερο κατέρχεται ο διαφραγματικός θόλος, η έκταση της ζώνης παράθεσης είναι σημαντική, η αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης μεγάλη και, κατά συνέπεια, μεγάλη είναι και η δράση της appositional force.(40)

Η δράση των κοιλιακών μυών έχει ιδιαίτερη σημασία για την αποτελεσματικότητα του διαφράγματος.(48) Η αυξημένη ενδοκοιλιακή πίεση σταθεροποιεί τον διαφραγματικό θόλο, επιτρέποντας στις μυϊκές ίνες να ανεβάσουν τις κατώτερες πλευρές και να αυξηθεί η εγκάρσια και η προσθιοπίσθια διάμετρος του θωρακικού κλωβού.

Όταν απουσιάζει ο μυϊκός τόνος των κοιλιακών και η αντίσταση του κοιλιακού περιεχομένου δεν υφίσταται, τότε,

- ➔ η δύναμη πρόσφυσης έχει περισσότερο εκπνευστική δράση στον θωρακικό κλωβό,(40)
- ➔ η δράση του διαφράγματος κατά την εισπνοή ελαττώνεται, αφού τα κοιλιακά σπλάγχνα μετατοπίζονται κάτω και εμπρός, η κοιλιακή πίεση δεν αυξάνεται επαρκώς, το τενόντιο κέντρο δεν είναι σταθεροποιημένο,(48)
- ➔ η ζώνη παράθεσης τείνει να εξαλειφθεί,
- ➔ οι διαφραγματικές μυϊκές ίνες στις πλευρικές τους προσφύσεις αποκτούν εγκάρσιο προσανατολισμό και η διασταλτική δύναμη στις κατώτερες πλευρές είναι μειωμένη.(53)

Στην ολική πνευμονική χωρητικότητα, με την επιπέδωση του διαφράγματος, η ζώνη παράθεσης εξαφανίζεται και η δράση του μυός είναι εκπνευστική παρά εισπνευστική.

Η μηχανική απόδοση της διαφραγματικής σύσπασης βρίσκεται σε άμεση συνάρτηση με την γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του θωρακικού κλωβού και του κοιλιακού τοιχώματος.(31) Ο πνευμονικός όγκος είναι ένας σημαντικός παράγοντας από τον οποίο εξαρτάται η απόδοση της διαφραγματικής συστολής. Η σχέση του όγκου του πνεύμονα με το μήκος του μυός και την επιφάνεια της ζώνης παράθεσης είναι αντιστρόφως ανάλογη.(54)(55) Άρα υψηλός πνευμονικός όγκος οδηγεί σε μειωμένη εισπνευστική ικανότητα.(56)

Συνοπτικά, η σύσπαση του διαφράγματος δρα στον θωρακικό κλωβό αυξάνοντας:

- ➔ την κάθετη διάμετρο κατασπώντας το τενόντιο κέντρο,
- ➔ την εγκάρσια διάμετρο ανυψώνοντας τις κατώτερες πλευρές,
- ➔ την προσθιοπίσθια διάμετρο ανυψώνοντας τις ανώτερες πλευρές με τη συνέργεια του στέρνου.(48)

#### 4.1.6. Επικουρικοί αναπνευστικοί μύες

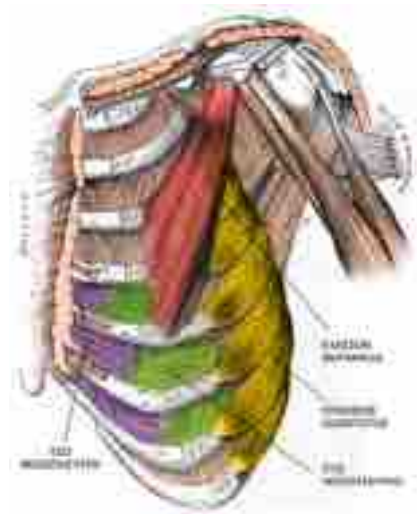
Αλλά, τί θα συνέβαινε κατά την εισπνοή, εάν δρούσε μόνο το διάφραγμα; Η διαφραγματική συστολή θα προκαλούσε δύο αντίθετες ενέργειες: εκπνευστική δράση στο άνω τμήμα του θωρακικού κλωβού με ελάττωση της προσθιοπίσθιας διαμέτρου λόγω μείωσης της υπεζωκοτικής πίεσης, και εισπνευστική δράση στο κατώτερο τμήμα του με αύξηση κυρίως της εγκάρσιας διαμέτρου, δηλαδή παραμόρφωση του θώρακα. Ωστόσο αυτό δεν συμβαίνει. Κατά την διάρκεια της ήρεμης φυσιολογικής εισπνοής τόσο η προσθιοπίσθια και η εγκάρσια διάμετρος του κατώτερου θωρακικού κλωβού όσο και η προσθιοπίσθια διάμετρος του ανώτερου θωρακικού κλωβού αυξάνουν ρυθμικά και συγχρονισμένα, πράγμα που αποδεικνύει την δράση και άλλων μυών πέραν του διαφράγματος.(49)

##### 4.1.6.1. Μεσοπλεύριοι μύες

Πρόκειται για δύο λεπτές στοιβάδες μυών. Οι μυϊκές τους ίνες, βραχείες και παράλληλες,(57) καταλαμβάνουν τα μεσοπλεύρια διαστήματα, συνδέοντας δύο συνεχόμενες πλευρές. Διακρίνονται σε έξω και έσω μεσοπλεύριους, με τους έξω να υπέρκεινται των έσω.

Οι έξω μεσοπλεύριοι μύες εκτείνονται από τα φύματα των πλευρών μέχρι τον έξω μεσοπλεύριο υμένα.(39) Η κατεύθυνση των μυϊκών ινών είναι διαγώνια από την υπερκείμενη προς την υποκείμενη πλευρά.

Οι έσω μεσοπλεύριοι έχουν αντίθετη κλίση. Εκφύονται από το άνω χείλος της έσω επιφάνειας της υποκείμενης πλευράς και καταφύονται στην περιοχή της αύλακας της υπερκείμενης πλευράς.



Εικόνα 14 Πηγή: Gray, Henry Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.438. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>



Στην πρόσθια επιφάνεια του θώρακα, μεταξύ στέρνου και πλευροχονδρικών ενώσεων υπάρχουν μόνο οι έσω μεσοπλεύριοι. Σε αυτό αυτή την περιοχή οι μυϊκές ίνες είναι ιδιαίτερα παχιές και αποτελούν τους παραστερνικούς μεσοπλεύριους μύες. Στην ραχιαία επιφάνεια του θώρακα από τις γωνίες των πλευρών μέχρι τους θωρακικούς σπονδύλους υπάρχουν μόνο οι έξω μεσοπλεύριοι και ο ανελκτήρας των πλευρών. Στην Κλινική Κινησιολογία Brunnstrom's οι μεσοπλεύριοι μύες αναφέρονται και ως συνέχεια του έσω και έξω λοξού κοιλιακού μυός στον θώρακα.(47)

*Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ1-Θ11.

*Ενέργεια κατά την αναπνοή:* Οι νωτιαίοι έξω μεσοπλεύριοι και οι παραστερνικοί μύες είναι ενεργοί κατά την εισπνοή, πραγματοποιώντας ανάσπαση των πλευρών και έκπτυξη του θωρακικού κλωβού. Κατά ορισμένους συγγραφείς οι παραστερνικοί μύες, έχοντας ως κέντρο αναφοράς το στέρνο και όχι τους θωρακικούς σπονδύλους,(40) παρουσιάζουν μεγαλύτερη δραστηριότητα κατά την ήρεμη αναπνοή από τους έξω μεσοπλεύριους, των οποίων η δράση, μαζί με τον ανελκτήρα των πλευρών, αυξάνει όσο αυξάνεται το αναπνευστικό έργο.(49) Η κοιλιακή ομάδα των έξω μεσοπλεύριων (με εξαίρεση το κατώτερο τμήμα) ενεργοποιείται κατά την έντονη εισπνοή. Σε παράλυση του διαφράγματος είναι οι κύριοι εισπνευστικοί μύες. Η σύσπασή τους ανυψώνει τις πλευρές και κινεί το στέρνο προς τα άνω και έξω. Οι μεσοπλεύριοι στην χόνδρινη περιοχή τους αναφέρονται ως μεσοχόνδριοι με εισπνευστική δράση, κυρίως αυτοί του 4<sup>ου</sup>-6<sup>ου</sup> μεσοπλεύριου διαστήματος.(39)

Οι έσω μεσοπλεύριοι μύες είναι επικουρικοί εκπνευστικοί μύες, που κατασπών τις πλευρές.

#### ***4.1.6.2. Εγκάρσιος πλευρικός μυς***

Με κατεύθυνση λοξά προς τα κάτω και οι μυϊκές του ίνες προσφύονται στην 2η-6η πλευρά. Είναι εκπνευστικός μυς, συσπώμενος κατασπά τους πλευρικούς χόνδρους ως προς το στέρνο.(48)

#### 4.1.6.3. *Ανελκτήρες των πλευρών*

Ατρακτοειδείς μύες στην ραχιαία επιφάνεια του θώρακα, βρίσκονται σε κάθε μεσοπλεύριο διάστημα. Εκφύονται από τις εγκάρσιες αποφύσεις του A7-Θ11 σπονδύλων και καταφύονται στη γωνία της υποκείμενης πλευράς, ως βραχείς ανελκτήρες μύες ή της μεθεπόμενης υποκείμενης πλευράς ως μακροί ανελκτήρες μύες.(39)

*Νεύρωση:* ραχιαίοι κλάδοι των νωτιαίων νεύρων.

#### 4.1.6.4. *Στερνοκλειδομαστοειδής μυς*

Εκφύεται αμφοτερόπλευρα της κεφαλής από την σύστοιχη μαστοειδή απόφυση και την άνω αυχενική γραμμή του ινιακού οστού και καταφύεται στο άνω χείλος της λαβής του στέρνου και της κλείδας.(47) *Νεύρωση:* Παραπληρωματικό νεύρο και αυχενικό πλέγμα A1-A3.

*Ενέργεια κατά την αναπνοή:* Ανύψωση του στέρνου και της κλείδας, αύξηση της προσθιοπίσθιας κυρίως διαμέτρου του άνω τμήματος του θωρακικού κλωβού, με επικουρική εισπνευστική λειτουργία, ιδιαίτερα σε παράλυση των μεσοπλεύριων μυών, ή κατά την βίαιη εισπνοή με την κεφαλή καθλωμένη σε όρθια θέση.(47)



Εικόνα 15 Πηγή: Gray, Henry Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.391. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

#### 4.1.6.5. *Πρόσθιος οδοντωτός μυς*

Εκφύεται με οδοντώματα από το έξω χείλος των εννέα πρώτων πλευρών.(39) Τα κατώτερα οδοντώματα αντεμβαίνουν με τον έξω λοξό κοιλιακό μυ.(47) Ο μυς με τρεις μοίρες καταφύεται πλησίον της άνω γωνίας, στο έσω χείλος και στην κάτω γωνία της ωμοπλάτης. *Νεύρωση:* μακρό θωρακικό νεύρο A5-A7.

*Ενέργεια κατά την αναπνοή:* Συμμετέχει στην ανάσπαση των πλευρών με την ωμική ζώνη καθλωμένη, κατά την βίαιη εισπνοή. Ο Karandji, σημειώνει ότι επικουρική

εισπνευστική δράση έχουν οι κατώτερες ίνες του πρόσθιου οδοντωτού και ο πλατύς ραχιαίος όταν αυτός ενεργεί στο άνω άκρο, το οποίο βρίσκεται σε απαγωγή.(48)

#### 4.1.6.6. Οπίσθιος οδοντωτός μυς

**Οπίσθιος άνω οδοντωτός:** Εκφύεται από τις ακανθώδεις αποφύσεις των Α6-Θ2 και καταφύεται στο άνω χείλος της 2ης-5ης πλευράς. **Νεύρωση:** μεσοπλεύρια νεύρα Θ1-Θ4.

**Ενέργεια κατά την αναπνοή:** Ανάσπαση των πλευρών και έκπτυξη του άνω θωρακικού κλωβού.(57)

**Οπίσθιος κάτω οδοντωτός:** Εκφύεται από την θωρακοσφυϊκή περιτονία, τις ακανθώδεις αποφύσεις Θ10-Ο3 σπονδύλων και καταφύεται με τέσσερα οδοντώματα στο κάτω χείλος των τεσσάρων κατώτερων πλευρών.

**Νεύρωση:** μεσοπλεύρια νεύρα Θ9-Θ12.

**Ενέργεια κατά την αναπνοή:** Καθέλκει τις πλευρές και δρα σταθεροποιητικά έναντι της έλξης που ασκεί σε αυτές το διάφραγμα.(57)



Εικόνα 16 Πηγή: Gray, Henry Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.433. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

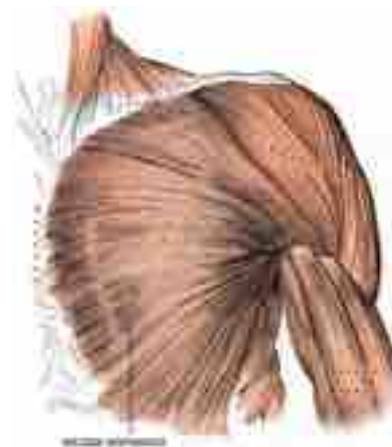
#### 4.1.6.8. Μείζων και ελάσσων θωρακικός μυς

**Μείζων θωρακικός:** εκφύεται με τρεις μοίρες από το έσω ήμισυ της πρόσθιας επιφάνειας της κλείδας, από τον στερνικό υμένα και τους χονδρούς της 2ης-7ης πλευράς και από την πρόσθια επιφάνεια της άνω μοίρας της θήκης του ορθού κοιλιακού και καταφύεται στην ακρολοφία του μείζονος βραχιονίου ογκώματος.

**Νεύρωση:** έξω και έσω θωρακικά νεύρα Α5-Θ1.

**Ελάσσων θωρακικός:** εκφύεται από την 3η-5η πλευρά και καταφύεται στην κορακοειδή απόφυση.

**Νεύρωση:** έσω θωρακικά νεύρα Α7-Θ1.



Εικόνα 17 Πηγή: Gray, Henry Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger.. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

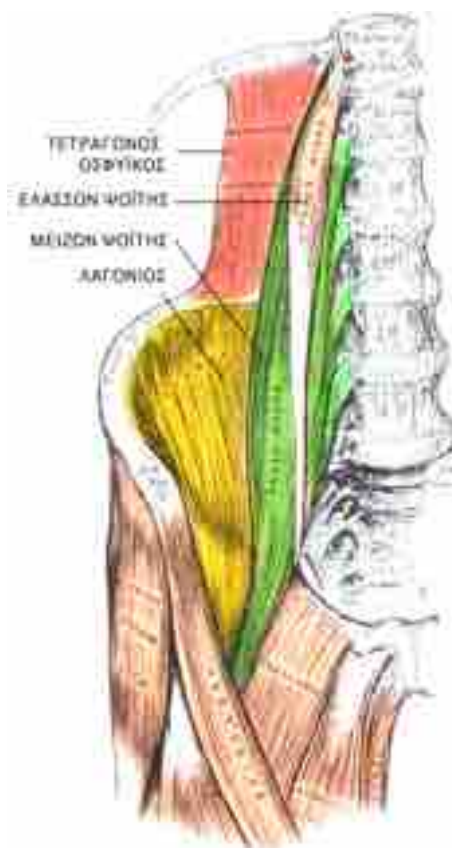
Ενέργεια κατά την αναπνοή: Επικουρικοί μύες κατά την βίαιη εισπνοή προκαλούν ανύψωση των πλευρών με το άνω άκρο σε απαγωγή.(48)

Ο μείζων θωρακικός συνεπικουρεί με τον πρόσθιο οδοντωτό, ιδιαίτερα με τους βραχίονες στερεωμένους.

#### 4.1.6.9. Τετράγωνος οσφυϊκός μυς

Εκτείνεται στην οπίσθια επιφάνεια του κοιλιακού τοιχώματος μεταξύ μείζονος ψοίτη και ιερονωτιαίων.(47) Εκφύεται από το έσω χείλος της λαγόνιας ακρολοφίας, τον οσφυολαγόνιο σύνδεσμο, τις εγκάρσιες αποφύσεις των Ο2-Ο4 σπονδύλων και καταφύεται στην κάτω επιφάνεια της 12<sup>ης</sup> πλευράς. *Νεύρωση:* Θ12 και Ο1-Ο3.

Ενέργεια κατά την αναπνοή: Καθέλκει την 12<sup>η</sup> πλευρά. Σε την έντονη εισπνοή η δράση του μυός είναι στην 12η πλευρά έναντι της ανυψωτικής έλξης που ασκεί σε αυτήν το διάφραγμα(47) και χωρίς αυτήν δεν θα ήταν επαρκής η δύναμη του διαφράγματος για την κατάσπαση του κεντρικού τένοντα(57) και την αποτελεσματική εισπνοή. Ο μυς ανθίσταται, επίσης, ως «φρένο» στην φυσιολογική ελαστική ανάκρουση των πνευμόνων κατά την εκπνοή.(58)



Εικόνα 18 Πηγή: Gray, H. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.466  
<https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

Η δύναμη της διαφραγματικής συστολής αυξάνεται βαθμιαία κατά το πρώτο μισό της εισπνοής, για να φθάσει στο δεύτερο ήμισυ στο υψηλότερο επίπεδο εκτός από τα τελευταία msec.(58) Στο πρώτο στάδιο της διαφραγματικής συστολής, το τετράγωνος οσφυϊκός συμμετέχει μερικώς μόνο για τη σταθεροποίηση της κατώτερης πλευράς, καθώς είναι πιθανό, ότι άλλες παθητικές δομές όπως η περιτονία και οι συνδέσμοι να λειτουργούν

επαρκώς ως σταθεροποιητές.(58) Κατά το δεύτερο ήμισυ της εισπνοής, που είναι η πιο ενεργητική φάση της διαφραγματικής συστολής, ο τετράγωνος οσφυϊκός συμμετέχει ταχύτερα και πιο ενεργά παρέχοντας αντίσταση για να ενισχυθεί η σταθερότητα της πλευράς.(58)

Επιπλέον, είναι πιθανό, ότι ο τετράγωνος οσφυϊκός ασκεί πίεση στην 12<sup>η</sup> πλευρά, συμβάλλοντας στην αύξηση της πλευροδιαφραγματικής εσοχής.(58)

#### 4.1.6.10. Σκαληνοί μύες

Ο Platzer αναφέρει τους σκαληνούς ως κρανιακή συνέχεια των μεσοπλευρίων μυών. (59)

Πρόσθιος σκαληνός μυς: Εκφύεται από τα πρόσθια φύματα των εγκάρσιων αποφύσεων του A3-A6 σπονδύλου και καταφύεται στο φύμα του πρόσθιου σκαληνού της πρώτης πλευράς. *Νεύρωση:* Βραχιόνιο πλέγμα A5-A7.

Μέσος σκαληνός: Εκφύεται από τα οπίσθια φύματα των εγκάρσιων αποφύσεων των A2-A7 σπονδύλων. Καταφύεται στην πρώτη πλευρά και στον έξω μεσοπλευρίο υμένα του 1ου μεσοπλευρίου διαστήματος. *Νεύρωση:* αυχενικό και βραχιόνιο πλέγμα A4-A8.

Οπίσθιος σκαληνός: Φέρεται από τα οπίσθια φύματα των εγκάρσιων αποφύσεων των A5-A7 σπονδύλων προς την δεύτερη πλευρά. *Νεύρωση:* βραχιόνιο πλέγμα A7-A8.

Ενέργεια κατά την αναπνοή: Είναι ενεργοί κατά την ήρεμη αναπνοή και συσπώνται πάντα με τους έξω μεσοπλευρίους μύες και το διάφραγμα. Με σταθεροποιημένη την κεφαλή η σύσπαση των σκαληνών προκαλεί ανύψωση των δύο πρώτων πλευρών, αυξάνοντας την προσθιοπίσθια διάμετρο του άνω τμήματος του θώρακα. Μελέτες αναφέρουν ότι σε καθιστή θέση η αναπνοή είναι αδύνατη χωρίς τη δράση των σκαληνών.(40) Με ελαφριά οπίσθια κάμψη της κεφαλής η δράση τους είναι ισχυρότερη.(39) Κατά τον Karandji οι σκαληνοί έχουν εισπνευστική δράση με την αυχενική μοίρα της σπονδυλικής στήλης ακινητοποιημένη από άλλους μύες.(48)



Εικόνα 19 Πηγή: Gray, H. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.3. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

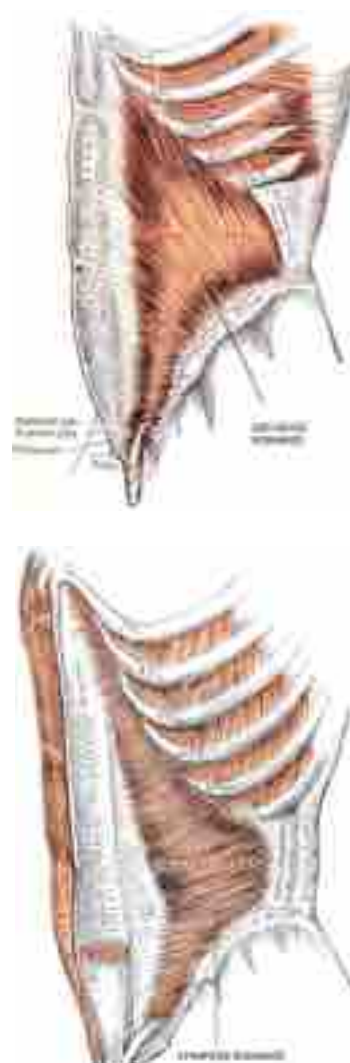
#### 4.1.6.11. Κοιλιακοί μύες

Ορθός κοιλιακός: Εκφύεται με οδοντώματα από την εξωτερική επιφάνεια των χόνδρων της 5ης-7ης πλευράς και την ξιφοειδή απόφυση και καταφύεται στην ηβική ακρολοφία. *Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ5-Θ12.

Εγκάρσιος κοιλιακός μυς: Εκφύεται από την θωρακοσφυϊκή περιτονία, την λαγόνια ακρολοφία, την πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα, τον βουβωνικό σύνδεσμο και με οδοντώματα από την έσω επιφάνεια των χόνδρων της 7ης-12ης πλευράς. Τα οδοντώματα του εγκάρσιου κοιλιακού μύος αντεμβαίνουν με τις μυϊκές ίνες της πλευρικής μοίρας του διαφράγματος. Καταφύεται στη λευκή γραμμή. *Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ7-Ο1.

Έσω λοξός κοιλιακός μυς: Εκφύεται από την λαγόνια ακρολοφία, την θωρακοσφυϊκή περιτονία, την πρόσθια άνω λαγόνια άκανθα και τον βουβωνικό σύνδεσμο. Στον μυ διακρίνονται τρεις καταφυτικές μοίρες: Η άνω μοίρα καταφύεται στα κάτω χείλη της 10ης-12ης πλευράς, η μέση μοίρα καταφύεται στη λευκή γραμμή και η κάτω μοίρα στον άνδρα συνεχίζεται ως κρεμαστήρας μυς, ενώ στην γυναίκα οι μυϊκές δεσμίδες φθάνουν στο στρογγύλο σύνδεσμο της μήτρας.(39) *Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ10-Ο1.

Έξω λοξός κοιλιακός μυς: Εκφύεται με οδοντώματα από την εξωτερική επιφάνεια της 5ης-12ης πλευράς. Μεταξύ της 5ης και 9ης πλευράς αντεμβαίνει στα οδοντώματα του πρόσθιου οδοντωτού μύος και μεταξύ της 10ης-12ης πλευράς στα οδοντώματα του πλατύ ραχιαίου.(39) Καταφύεται στην λαγόνια ακρολοφία, στο ηβικό φύμα, στον βουβωνικό σύνδεσμο και στην λευκή γραμμή. *Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ5-Θ12.



Εικόνα 20 Πηγή: Gray, H. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.413,415. <https://archive.org/details/anatomyofhumanbo1918gray>

Ενέργεια κατά την αναπνοή: Δρουν συνολικά μέσω της τάσης των απονευρώσεων στη λευκή γραμμή.(39) Λόγω των προσφύσεων τους στις πλευρές, προκαλούν μείωση του όγκου του θωρακικού κλωβού έλκοντας τις πλευρές προς τα κάτω. Κατά την έντονη αναπνοή δρουν ως εκπνευστικοί μύες.

Οι κοιλιακοί μύες και το διάφραγμα βρίσκονται σε διαρκή ενεργή σύσπαση με τους ρόλους τους να αντιστρέφονται διατηρώντας μια μεταβλητή ισορροπία και προς τις δύο κατευθύνσεις με βάση την ανταγωνιστική-συνεργική δράση των μυών. Κατά την εισπνοή ο τόνος του διαφράγματος αυξάνεται και των κοιλιακών μυών μειώνεται, το αντίθετο συμβαίνει κατά την εκπνοή.

Η σύσπασή τους προκαλεί αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης με έλξη του κοιλιακού τοιχώματος έσω, κατά συνέπεια άνοδο του διαφράγματος, αύξηση της ενδοθωρακικής πίεσης και ελάττωση του όγκου των πνευμόνων. Χωρίς την δράση των κοιλιακών η ζώνη παράθεσης θα είχε εξαλειφθεί.

Σε όρθια θέση η σύσπαση των κοιλιακών κατά την εκπνοή αυξάνει την ενδοκοιλιακή πίεση ωθώντας κρανιακά τα κοιλιακά σπλάχνα και τον κεντρικό τένοντα του διαφράγματος. Σε ύπτια θέση η ανύψωση του διαφράγματος είναι παθητική, καθώς το βάρος από τα κοιλιακά σπλάχνα ωθεί τον χαλαρό μυ μέσα στον θώρακα. Σε βίαιη εκπνοή η άνοδος του διαφράγματος λαμβάνει χώρα με μια ενέργεια ευθέως ανάλογη προς την αυξημένη συστολή του κοιλιακού τοιχώματος.

#### **4.1.6.12. Ορθωτήρας του κορμού**

Περιλαμβάνει τους αυτόχθονες μύες της ράχης που νευρώνονται από τους ραχιαίους κλάδους των νωτιαίων νεύρων.

Ενέργεια κατά την αναπνοή: Η δράση του είναι ανταγωνιστική σταθεροποιητική έναντι της έλξης που ασκούν οι κοιλιακοί μύες στην σπονδυλική στήλη και στην λεκάνη. Ο αυχενικός λαγονοπλευρικός μυς, ιδιαίτερα, ο οποίος εκφύεται από την 6 πρώτα πλευρικά τόξα και καταφύεται στις πέντε εγκάρσιες αποφύσεις των κατώτερων αυχενικών σπονδύλων παρουσιάζει επικουρική εισπνευστική δράση.(48)

#### 4.1.6.13. Υποπλεύριοι μύες

Σχηματίζονται από ίνες των έσω μεσοπλεύριων μυών, κυρίως στα κατώτερα μεσοπλεύρια διαστήματα, στην περιοχή των γωνιών των πλευρών. Η κατεύθυνση των ινών και η λειτουργία τους είναι ίδια με εκείνη των έσω μεσοπλεύριων. *Νεύρωση:* Θ1-Θ11.

#### 4.1.6.14. Εγκάρσιος θωρακικός μυς

Εκφύεται από την έσω επιφάνεια της ξιφοειδούς απόφυσης και το κάτω μισό του σώματος του στέρνου. Καταφύεται στο κάτω χείλος του δεύτερου έως έκτου πλευρικού χόνδρου. Η κατεύθυνση των μυϊκών ινών είναι ριπιδοειδής. Η ανώτερη μοίρα των ινών κατευθύνεται κάθετα προς τα πάνω, ενώ η κατώτερη μοίρα των ινών κατευθύνεται παράλληλα προς τον εγκάρσιο κοιλιακό μυ. Ένα διακριτό όριο μεταξύ του εγκάρσιου θωρακικού και του εγκάρσιου κοιλιακού δημιουργείται όταν η έκφυση της πλευρικής μοίρας του διαφράγματος είναι καλά αναπτυγμένη από την 7η πλευρά.(57)

*Νεύρωση:* μεσοπλεύρια νεύρα Θ2-Θ6.

Ενέργεια κατά την αναπνοή: Κατάσπαση των πλευρών κατά την εκπνοή. Συστέλλεται κατά τις εκούσιες ή ακούσιες εκπνευστικές κινήσεις π.χ. βήχας, φτέρνισμα, γέλιο. Ο Karandji τον συμπεριλαμβάνει στους κύριους εισπνευστικούς μύες.(48)



Εικόνα 21 Πηγή: Gray, H. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger. p.404.  
<https://archive.org/details/anatomyofhumano1918gray>



#### 4.1.7. Εκπνοή

Η φυσιολογική εκπνοή είναι παθητικό φαινόμενο. Στο τέλος της εισπνοής οι εισπνευστικοί μύες βρίσκονται σε χάλαση, οι δυνάμεις που ασκούν στον θωρακικό κλωβό καταργούνται, και το αναπνευστικό σύστημα, λόγω της ελαστικής συμπεριφοράς του και δύο βασικών στατικών ιδιοτήτων του, την ελαστική δύναμη επαναφοράς των πνευμόνων και την ελαστική δύναμη επαναφοράς του θωρακικού τοιχώματος (με φορά αντίθετη, έσω και έξω αντίστοιχα) επανέρχεται στη θέση ηρεμίας.(45) Η μείωση του πνευμονικού όγκου προκαλεί αύξηση της ενδοκυψελιδικής πίεσης κατά 1 mm Hg (~761 mm Hg), ο αέρας ακολουθώντας τη διαβάθμιση πίεσης εξέρχεται των πνευμόνων.

Η μείωση του όγκου του θωρακικού κλωβού γίνεται λόγω της βαρύτητας και της ελαστικότητας των οστεοχόνδρινων τμημάτων του.

Κατά την εισπνοή καθώς το στέρνο ανυψώνεται, οι πλευρές -με τα οπίσθια άκρα τους ακινητοποιημένα κατά τις σπονδυλοπλευρικές αρθρώσεις- κατέρχονται ως προς το στέρνο, και οι πλευρικοί χόνδροι, ελαστικοί και εύκαμπτοι, εκτελούν γωνιώδη μετατόπιση γύρω από τον επιμήκη άξονά τους λόγω αξονικής περιστροφής. Ο πλευρικός χόνδρος συμπεριφέρεται ως δοκός που περιστρέφεται γύρω από τον επιμήκη άξονά της και αποθηκεύει την ενέργεια περιστροφής ως ελαστική δύναμη επαναφοράς στην αρχική θέση κατά την εκπνοή, όταν παύει να ενεργεί σε αυτόν η τάση που αναπτύσσουν οι μύες.(48)

Επίσης με το διάφραγμα σε χάλαση, το έδαφος της θωρακικής κοιλότητας κατασπάται από την σύσπαση των κοιλιακών μυών και μειώνεται η εγκάρσια και προσθιοπίσθια διαμέτρος του θώρακα. «Τα σπλάγχνα ωθούνται προς τα επάνω και ανορθώνουν το τενόντιο κέντρο, έτσι μειώνεται η κάθετη διάμετρος του θώρακα και κλείνει η πλευροδιαφραγματική γωνία».(48) Κατά την εκπνοή διαφαίνεται η ανταγωνιστική δράση των κοιλιακών έναντι του διαφράγματος, αφού μειώνουν και τις τρεις διαμέτρους του θώρακα.(48)

Στο τέλος της εκπνοής η ενδοκυψελιδική και η ατμοσφαιρική πίεση εξισώνονται και η εκροή του αέρα από τους πνεύμονες σταματά.(45)

#### 4.1.8. Φυσιολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την αναπνοή

##### 4.1.8.1. Στάση του σώματος

Η στάση του σώματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας που διαφοροποιεί τον μηχανισμό της αναπνοής. Η ενδοτικότητα του πνεύμονα είναι σχετικά αμετάβλητη. Τα μεγέθη που μεταβάλλονται είναι κυρίως η ενδοτικότητα του θώρακα και η λειτουργική υπολειπόμενη χωρητικότητα (FRC).(49) Έτσι με δεδομένα την επίδραση της βαρύτητας στον θώρακα και στην κοιλιά, και το γεγονός ότι η υπεζωκοτική πίεση δεν παρουσιάζει σταθερή τιμή στην υπεζωκοτική κοιλότητα(49) παρατηρούμε τις εξής διαφοροποιήσεις:

Ορθια θέση: Η διατασιμότητα της κοιλιάς είναι μικρότερη από εκείνη του θωρακικού κλωβού λόγω της βαρύτητας, που έλκει το κοιλιακό περιεχόμενο στο πρόσθιο τοίχωμα της κοιλιάς.(40) Η λειτουργία του διαφράγματος είναι φυσιολογική.

Πλάγια θέση: Η ελαστική δύναμη επαναφοράς στο κάτω τμήμα του πνεύμονα είναι σχεδόν μηδενική και ο κάτω πνεύμονας παρουσιάζει αισθητά μειωμένη αποτελεσματικότητα σε σχέση με τον επάνω και το κάτω τμήμα του θωρακικού τοιχώματος συμπεριφέρεται ως άκαμπτο.(49) Το διάφραγμα πιέζεται κranιακά περισσότερο στην πλευρά του σώματος που βρίσκεται από κάτω.(48) Λόγω της ελαστικής δύναμης επαναφοράς του πνεύμονα το άνω μέρος του διαφράγματος φέρεται κεφαλικά και ουραία λόγω της ενδοκοιλιακής πίεσης. Στο κατώτερο μέρος ο πνεύμονας και το κοιλιακό περιεχόμενο πιέζουν το διάφραγμα κranιακά.

Ύπτια θέση: Η FRC μειώνεται αισθητά. Η διατασιμότητα της κοιλιάς αυξάνεται σημαντικά. Το διάφραγμα πιέζεται προς τα άνω από τα όργανα της κοιλιάς και η εισπνοή γίνεται εργώδης. Επίσης, η διαφραγματική κίνηση στην ύπτια θέση είναι μεγαλύτερη από ότι στην καθιστή, ειδικά στο οπίσθιο τμήμα του διαφράγματος. (62)

#### **4.1.8.2. Φύλο και Ηλικία**

*Τύπος αναπνοής:* Η θωρακική αναπνοή έχει μεγαλύτερη συχνότητα στις γυναίκες. Ίσως οι ανατομικές διαφορές που υπάρχουν, όπως π.χ. ο γυναικείος θώρακας είναι μικρότερος του ανδρικού και η γωνία των πλευρών μεγαλύτερη, κάνουν τη θωρακική αναπνοή πιο αποδοτική για το γυναικείο φύλο. Αντίθετα η διαφραγματική αναπνοή είναι πιο διαδεδομένη στον ανδρικό πληθυσμό. Στα βρέφη-νήπια-παιδιά η αναπνοή είναι διαφραγματική, στους ενήλικες είναι συγχρονισμένη.(48)

*Πλευρικοί χόνδροι:* διατηρούν εξαιρετική ευκαμψία μέχρι την εφηβεία, την οποία χάνουν με την πάροδο του χρόνου τείνοντας να οστεοποιηθούν στην 3η ηλικία, με συνέπεια απώλεια της ευκαμψίας του θωρακικού τοιχώματος και φυσικά μείωση της αναπνευστικής ικανότητας.(48)

*Σπονδυλική στήλη:* Στους ενήλικες, με την πάροδο των ετών, παρουσιάζει αύξηση του θωρακικού κυρτώματος με συμπλησίασμα των πλευρών του άνω τμήματος του θωρακικού κλωβού και περιορισμό της κινητικότητάς τους. Αυτό σε συνδυασμό με την απώλεια του μυϊκού τόνου των κοιλιακών οδηγεί σε αναπνευστική δυσχέρεια με τον άνω λοβό να αερίζεται ανεπαρκώς, η αναπνοή γίνεται κατώτερη θωρακική ή και κοιλιακή.(48)

## **4.2. Άλλες λειτουργίες του διαφράγματος**

Το διάφραγμα ως ανατομικό ορόσημο χωρίζει την θωρακική από την κοιλιακή κοιλότητα. Αποτελεί σταυροδρόμι ανταλλαγής πληροφοριών, που προέρχονται από διαφορετικές περιοχές του σώματος και μια πηγή πληροφοριών από μόνη της. Ωστόσο, όπως συμβαίνει και με άλλες δομές του οργανισμού, παρουσιάζει περισσότερες λειτουργίες με ανατομικές συνδέσεις σε όλο το σώμα, δημιουργώντας ένα «network of breathing».(59) Έτσι το διάφραγμα είναι σημαντικό για τον ορθοστατικό έλεγχο, παίζει ζωτικό ρόλο στο αγγειακό και λεμφικό σύστημα και συμμετέχει σε γαστροοισοφαγικές

λειτουργίες όπως η κατάποση, ο εμετός και ο φραγμός της γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης.

Υπάρχει, επίσης, η πολύ σημαντική σύνδεση μεταξύ του διαφράγματος και του πνευμονικού εδάφους. Η λειτουργία της αναπνοής χρήζει της υποστήριξης του πνευμονικού εδάφους, για τον έλεγχο της ενδοκοιλιακής πίεσης. Κατά τη διάρκεια της φυσιολογικής διαφραγματικής δράσης (π.χ. αναπνοή, βήχας), η κάθοδος του διαφράγματος συνοδεύεται από αντίστοιχη δράση του πνευμονικού εδάφους, μάλιστα η ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών του πνευμονικού εδάφους αρχίζει πριν από την εισπνοή.(38)

Το διάφραγμα είναι μία από τις πιο αξιοσημείωτες περιοχές του σώματος και οι συνέπειες της δυσλειτουργίας του εκδηλώνονται οπουδήποτε, από το κεφάλι μέχρι τα δάκτυλα. (60)

Ο Andrew Still, έγραψε: *«by (diaphragm) action we live, and by its failure we shrink, or swell, and die»*.(61)

#### 4.2.1. Σπλαχνική οργάνωση και λειτουργία

Το διάφραγμα είναι υπεύθυνο για την διατήρηση της θέσης των σπλάχνων. Η κρανιακή μετατόπιση του κοιλιακού περιεχομένου σε διαφραγματική παράλυση αποδεικνύει τη σημασία της λειτουργίας του μυός ως «σπλαχνικού διοργανωτή», όπως αποκαλείται από τον S. Perry.(31) Επίσης σε συγγενή διαφραγματοκήλη η μειωμένη επιφάνεια ανταλλαγής αερίων συνδέεται με αγγειακές ανωμαλίες.(62) Η ολοκληρωμένη διαφραγματική ανάπτυξη είναι προϋπόθεση για την ομαλή ανάπτυξη και λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού συστήματος.(31)

Η λειτουργία του μυός στην σπλαχνική διοργάνωση εξαρτάται τόσο από την δομική ελαστικότητα όσο και από τον τόνο του μυός, δηλαδή σημαντική είναι εκτός από την φασική (εισπνευστική) και η τονική του δράση.(31) Όστε, η κρανιακή μετατόπιση των σπλάχνων δεν είναι επακόλουθο μόνο της μυϊκής ατροφίας και της συνακόλουθης απώλειας ελαστικότητας του διαφράγματος. Σε βραχεία φρενική βλάβη εντός ολίγων

λεπτών το ημιδιάφραγμα, στο οποίο αφορά, ανυψώνεται και τα κοιλιακά σπλάγχνα μετατοπίζονται προς την θωρακική κοιλότητα.(63)

Η διαφραγματική τονική δράση συνεισφέρει στην αύξηση και διατήρηση του όγκου της θωρακικής κοιλότητας και, κατά συνέπεια, των πνευμόνων,(31) αποτρέποντας την μείωση της ενδοτικότητας του πνευμονικού παρεγχύματος. Η διατομή των φρενικών νεύρων σε σκύλους συνδέεται με 30% έκπτωση της δυναμικής υποχωρητικότητας των πνευμόνων και με αυξημένο έργο αναπνοής παρά τον αμετάβλητο λεπτό αερισμό.(64) Στον άνθρωπο, η σημασία του διαφράγματος για τη διατήρηση του όγκου του πνεύμονα και την ελαχιστοποίηση του αναπνευστικού έργου γίνεται κατανοητή από την εμφάνιση ορθόπνοιας σε ασθενείς με σοβαρή διαφραγματική δυσλειτουργία.(65)

Στην όρθια θέση, η βαρύτητα διατηρεί τα κοιλιακά σπλάγχνα κάτω, αντισταθμίζοντας έως έναν βαθμό την απώλεια τόνου και ελαστικότητας του διαφράγματος, στην ύπτια θέση, όμως, το περιεχόμενο της κοιλιάς εισέρχεται στον θώρακα, μειώνεται ο όγκος του και εμφανίζεται αναπνευστική δυσχέρεια.(66) Ο ρόλος της βαρύτητας επιβεβαιώνεται σε ασθενείς με διαφραγματική παράλυση, όταν εμβαπτίζονται στο νερό, οπότε αναπαράγονται οι αλλαγές στον αναπνευστικό ρυθμό και η δύσπνοια που προκάλεσε η ύπτια θέση.(67)

Η διαφραγματική λειτουργία βρίσκεται σε μια εκπληκτική αρμονία και αλληλεπίδραση με αυτήν των σπλάγχων. Αναφέρουμε ορισμένα παραδείγματα(31):

Ήπαρ: Λειτουργεί ως αντλία. Όταν αποσυμπιέζεται κατά την εκπνοή πληρούται αίματος από το πυλαίο σύστημα και όταν συμπιέζεται από το διάφραγμα κατά την εισπνοή προωθεί το αίμα στην κάτω κοίλη φλέβα.

Σπλήνας: Ο μεγαλύτερος λεμφικός ιστός, ο οποίος μεταβολίζει την αιμοσφαιρίνη, καταπολεμά τα μικρόβια, λειτουργεί ως δεξαμενή αίματος, βρίσκεται σε επαφή με το διάφραγμα στο επίπεδο της 9ης-11ης πλευράς. Η εξωτερική ή διαφραγματική του επιφάνεια, ομαλή και κυρτή, είναι προσαρμοσμένη ώστε να χωράει στην κοιλότητα του αριστερού θόλου του διαφράγματος και στο χώρο των πλευρών.

Έντερα: Το διάφραγμα, ήπια και ρυθμικά, κάνει «μασάζ» στα έντερα ενισχύοντας την λειτουργία της πέψης και της αφοόδευσης.

Γεννητικά όργανα – Κάτω άκρα: Δυσλειτουργία του διαφράγματος μειώνει τη ροή του αίματος και τις αισθήσεις στα γεννητικά όργανα και στα άκρα.

Γονιμότητα: Ο Mikael Ikivesi διαπιστώνει στις περισσότερες ασθενείς για θεραπεία της "υπογονιμότητας", συσπασμένο διάφραγμα, κρύο μήτρα και κοιλιά και, σε αρκετές από αυτές, γαστροοισοφαγική παλλινδρόμηση.(11)

#### **4.2.2. Η σύνδεση του διαφράγματος με την οσφυοπυελική περιοχή**

Η αρμονική λειτουργία του διαφράγματος προάγει την εύρυθμη λειτουργία του οργανισμού, ενώ η δυσλειτουργία του οδηγεί σε υπερφόρτωση άλλους μύες, ορισμένοι εκ των οποίων επηρεάζουν την στάση του σώματος. Για παράδειγμα, κατεξοχήν χρήση της θωρακικής αναπνοής, προκαλεί χρόνια ένταση στους επικουρικούς αναπνευστικούς μύες, ιδιαίτερα στον στερνοκλειδομαστοειδή και στους σκαληνούς, αλλά και στον τραπεζοειδή. Οι μυϊκές συσπάσεις, η ακαμψία, ο πόνος και οι ημικρανίες, είναι τα πρώτα συμπτώματα. Ακολουθεί αύξηση της θωρακικής κύφωσης και δευτερογενής αύξηση της αυχενικής και οσφυϊκής λόρδωσης με προβλήματα στην στάση και στην βάδιση. Ένα διάφραγμα με μειωμένη ελαστικότητα, υπονομεύει την ορθοστάτηση και την ισορροπία, αφού τα σκέλη προσφύονται στους οσφυϊκούς σπονδύλους. Πώς συμβαίνει αυτό;

##### **4.2.2.1. Core stability**

Το διάφραγμα μπορεί να κινηθεί ενεργά ανεξάρτητα από την αναπνοή. Στην ήρεμη αναπνοή (tidal breathing) και με κράτημα της αναπνοής, οι τιμές για το μέσο πλάτος της ανώτερης κίνησης της κορυφής του διαφράγματος διαμορφώνονται στα 27,3 +/-10,2 mm και 32,5 +/-16,2 mm αντίστοιχα, οι τιμές του εύρους κίνησης της πλευροδιαφραγματικής γωνίας είναι 39 +/-17,6 mm (tidal breathing) και 45,5 +/-21,2 mm (hold breathing), ενώ

και η κατώτερη θέση του διαφράγματος στη εκούσια κίνηση είναι χαμηλότερη από εκείνη της ήρεμης αναπνοής.(68)

Η ορθοστατική λειτουργία του διαφράγματος εξασθενεί, όταν αυξάνονται οι απαιτήσεις για την αναπνευστική λειτουργία.(69) Επίσης, η παρουσία οσφυϊκού πόνου μειώνει την διαφραγματική κίνηση σχεδόν κατά το ήμισυ,(70) και ευνοεί την εμφάνιση σημαντικής κόπωσης του μυός, κάτι που δεν παρατηρείται σε υγιείς.(71)

Οι Skladal et al. με τις μελέτες τους επιβεβαιώνουν τη συστολή του διαφράγματος πριν από τη συστολή του ορθού κοιλιακού κατά την προετοιμασία για την στήριξη στα δάκτυλα.(72)

Οι Hemborg et al. αναφέρονται στην δυναμική ενεργοποίηση του διαφράγματος κατά την ανύψωση αντικειμένων.(73) Η ηλεκτρομυογραφική δραστηριότητα στο πλευρικό και σκελιαίο διάφραγμα εμφανίστηκε περίπου 20 ms πριν την έναρξη της ταχείας κάμψης του ώμου ως απόκριση σε οπτικό ερέθισμα.(74) Αυτή η feed-forward ανατροφοδότηση προέκυψε ανεξάρτητα από την αναπνοή.(75)

Οι υπερηχογραφικές μετρήσεις κατέγραψαν σταδιακή βράχυνση και επιμήκυνση του διαφράγματος κατά την αύξηση της διαδιαφραγματικής πίεσης.(31) Η ορθοστατική ενεργοποίηση του διαφράγματος παρέμεινε αμετάβλητη, όταν τα άτομα εκτελούσαν την ίδια δραστηριότητα σε καθιστή θέση χωρίς να υποστηρίζεται ο κορμός.(31) Ωστόσο, η δραστηριότητα αυτή δεν εμφανίσθηκε σε μεμονωμένες κινήσεις μικρών απομακρυσμένων τμημάτων του άνω άκρου.(31) Επιπρόσθετα, το πλάτος του EMG του διαφράγματος παρουσιάζει γραμμική συσχέτιση με την μέγιστη επιτάχυνση που αναπτύσσει το άκρο και με τις δυνάμεις που μεταδίδονται στην σπονδυλική στήλη.

Τέλος, γρήγορες επαναλαμβανόμενες κινήσεις του άνω άκρου προκαλούν τονική δραστηριότητα του διαφράγματος, στην οποία προστίθεται φασική μεταβολή στη συχνότητα τόσο της αναπνοής όσο και των κινήσεων του άκρου.(76)

Παρόμοιες παρατηρήσεις έγιναν και για τους κοιλιακούς μύες,(74) τους μύες της πυελικής ζώνης (77) και την οσφυϊκή μοίρα,(78) ότι δηλαδή ενεργοποιούνται πριν από την έναρξη της κίνησης των άκρων.(79) Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι οι μύες του πυελικού εδάφους συνδέονται με τους αναπνευστικούς μύες μέσω των πολυσυναπτικών

αντανακλαστικών που προκαλούνται από εκπνευστικές (βήχας) ή εισπνευστικές αυξήσεις της κοιλιακής πίεσης.(80)

Το κεντρικό νευρικό σύστημα πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει την κίνηση, ώστε το μυϊκό σύστημα που είναι υπεύθυνο για την κεντρική σταθερότητα (core stability) αυτόματα, να παρέχει μια σταθερή βάση για τους μύες, που εκτελούν την κίνηση. Η στήριξη του κορμού διατηρεί όλα τα τμήματα της σπονδυλικής στήλης σε μια βιομηχανικά ουδέτερη θέση κατά τη διάρκεια της κίνησης και εξαρτάται από τον δυναμικό συντονισμό της συνεργικής, αγωνιστικής και ανταγωνιστικής δράσης των μυϊκών ομάδων, για τον ακριβή έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων. Επομένως, υπάρχει άμεση σχέση του κινητού τμήματος π.χ. άρθρωση του ισχίου ή του ώμου, με τη δραστηριότητα των σταθεροποιών της σπονδυλικής στήλης και με τους μύες που ρυθμίζουν την ενδοκοιλιακή πίεση (κοιλιακούς, διάφραγμα, μύες πυελικού εδάφους).(81)

Το διάφραγμα παίζει σημαντικό ρόλο στη σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης.(82)(74) Οι Kolar P. et al. υπογραμμίζουν την ατομική ικανότητα ελέγχου της ορθοστατικής λειτουργίας του διαφράγματος. Η ανεπαρκής και ασυντόνιστη ενεργοποίηση του διαφράγματος σε άτομα με αδύναμη λειτουργία σταθεροποίησης του σώματος μπορεί να οδηγήσει σε υπερφόρτωση των σπονδυλικών τμημάτων(83) και εμφάνιση οσφυαλγίας.

Η λειτουργία του διαφράγματος συνδέεται άμεσα με την υποστήριξη της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης και την κεντρική σταθερότητα (core stability). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και για την κίνηση, αφού αυτοί οι δύο παράγοντες δίνουν το πλεονέκτημα στα άκρα να παράγουν υψηλότερη ταχύτητα και αποτελεσματικότερη δύναμη.

Η θέση του θώρακα και της πυελικής περιοχής είναι σημαντική για τη λειτουργία του διαφράγματος. Ο συνδυασμός «ανυψωμένο στήθος-πρόσθια κλίση της λεκάνης» υπονομεύει την κεντρική σταθερότητα.(84) Σε μια ιδανική στάση του σώματος το διάφραγμα και το πυελικό έδαφος είναι κατά το δυνατόν παράλληλα.(84)

Ως κεντρική σταθερότητα αναφέρεται η ικανότητα ελέγχου της θέσης και της κίνησης του κορμού πάνω στη λεκάνη, ώστε να επιτραπεί η βέλτιστη παραγωγή, μεταφορά



και έλεγχος της δύναμης και της κίνησης στο τερματικό τμήμα σε ολοκληρωμένες δραστηριότητες.(85) Η σχετική μυϊκή δραστηριότητα κατανοείται καλύτερα ως η προελεγχόμενη/συντονισμένη οργάνωση των μυών -μονοαρθρικών και πολυαρθρικών- για παροχή σταθερότητας και πρόκληση κίνησης.(85) Αυτό εξασφαλίζει την εγγύς σταθερότητα για την περιφερική κινητικότητα.

Η κεντρική σταθερότητα είναι ζωτικής σημασίας για αποτελεσματική εμβιομηχανική, μεγιστοποίηση παραγωγής δύναμης και ελαχιστοποίηση των φορτίων των αρθρώσεων σε όλους τους τύπους δραστηριοτήτων.(85)

Κάθε λειτουργία παράγεται από κινητικές αλυσίδες, που με την συντονισμένη δράση των αλληλοδιάδοχων τμημάτων τους, τοποθετούν το απώτατο τμήμα στη βέλτιστη θέση με την βέλτιστη ταχύτητα και τον βέλτιστο χρονισμό για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου.(86) Η κεντρική σταθερότητα είναι σημαντική για την παροχή δύναμης και ισορροπίας και για τη μείωση του τραυματισμού στην πλάτη.(85) Εξασφαλίζει την ανατομική βάση για την κίνηση των απομακρυσμένων τμημάτων και τον κεντρικό έλεγχο της δύναμης, της ισορροπίας και της κίνησης που μεγιστοποιεί το αποτέλεσμα των κινητικών αλυσίδων στις λειτουργίες των άκρων.(85)

Οι περισσότεροι από τους πρωταγωνιστές μύες της κίνησης περιφερικών τμημάτων (πλατύς ραχιαίος, μείζων θωρακικός, ιγνυακοί, τετρακέφαλος, λαγονοψοϊτης) συνδέονται με τον πυρήνα (core) μέσω της λεκάνης ή της σπονδυλικής στήλης. Το ίδιο ισχύει για τους κύριους σταθεροποιητές μύες των άκρων (τραπεζοειδής, στροφεείς του ισχίου, γλουτιαίοι). Έτσι σχηματίζεται ένα σύμπλεγμα γνωστό ως «core muscles».

Οι σημαντικότεροι μύες που συμμετέχουν στην κεντρική σταθερότητα είναι οι: κοιλιακοί, πολυσχιδής, οι μύες του πυελικού εδάφους, ιερονωτιαίοι, και οι: τετράγωνος οσφυϊκός, τραπεζοειδής και μέγας γλουτιαίος με δευτερεύοντα ρόλο. Η οροφή των μυϊκών δομών είναι το διάφραγμα, το οποίο παρουσιάζει λειτουργική σύνδεση με τους κοιλιακούς, τους μύες του πυελικού εδάφους και τις περιτονίες της περιοχής.(87)

Η ταυτόχρονη συστολή του διαφράγματος, των μυών του πυελικού εδάφους και των κοιλιακών μυών αυξάνει την ενδοκοιλιακή πίεση(88)(89) δημιουργώντας έναν άκαμπτο κύλινδρο που ενισχύει την ακαμψία της οσφυϊκής μοίρας,(90) μειώνει το φορτίο

των μυών της σπονδυλικής στήλης και αυξάνει την σταθερότητα του κορμού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ορθός κοιλιακός και οι λοξοί κοιλιακοί ενεργοποιούνται σε συγκεκριμένα μοτίβα κίνησης, παρέχοντας ορθοστατική στήριξη πριν από τις κινήσεις των άκρων.(91) Με αυτόν τον τρόπο, η σπονδυλική στήλη σταθεροποιείται και προσφέρει μια σταθερή βάση κατά την ενεργοποίηση των μυών των άκρων.(92)

Μια ιδιαίτερη δομή είναι η θωρακοσφυϊκή περιτονία, η οποία συνδέει τα κάτω άκρα (μέσω του μεγάλου γλουτιαίου) με τα άνω (μέσω του πλατύ ραχιαίου). Αυτό επιτρέπει στον πυρήνα (core) να συμπεριληφθεί σε ολοκληρωμένες δραστηριότητες κινητικής αλυσίδας, όπως οι ρίψεις.(93) Επίσης, η θωρακοσφυϊκή περιτονία καλύπτει τους εν τω βάθει μύες της πλάτης και του κορμού, συμπεριλαμβανομένου του πολυσχιδή, έχει προσφύσεις στον έσω λοξό και στον εγκάρσιο κοιλιακό μυ. Έτσι παρέχει τρισδιάστατη στήριξη στην οσφυϊκή μοίρα της σπονδυλικής στήλης και ενισχύει την κεντρική σταθερότητα σχηματίζοντας μια «στεφάνη/δακτύλιο» γύρω από την κοιλιακή χώρα, που αποτελείται πίσω από την οπίσθια περιτονία, την κοιλιακή περιτονία μπροστά και τους λοξούς μύες πλευρικά, ως σταθεροποιητικό «κορσέ».(85)

Η ενδοκοιλιακή πίεση αυξάνεται κατά την ανύψωση αντικειμένων (73) με το διάφραγμα να παίζει καθοριστικό ρόλο για το επίπεδο πίεσης που επιτυγχάνεται.(31) Η αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης ενισχύει την δυσκαμψία της σπονδυλικής στήλης, μειώνει τη ενδοσπονδυλική κίνηση στην οσφυϊκή μοίρα, σταθεροποιεί τον κορμό και βελτιστοποιεί την αποτελεσματικότητα της κίνησης.(94) Η αύξηση της ενδοθωρακικής πίεσης μετά το κλείσιμο της γλωττίδας δίνει πρόσθετη δύναμη.(95)

Ωστόσο υπάρχει και η άποψη, ότι η δυνατότητα του κορμού, να ανθίσταται σε μεγάλες ροπές κάμψης, οφείλεται σε ένα σύμπλεγμα παθητικών και ενεργητικών δυνάμεων, που παράγονται από τους οπίσθιους συνδέσμους της σπονδυλικής στήλης, την θωρακοσφυϊκή περιτονία και τον εγκάρσιο και έσω λοξό κοιλιακό μυ.(47) Κατά την άρση βαρών αναπτύσσεται υψηλή ενδοκοιλιακή πίεση, η οποία εξαρτάται -πέρα από την φυσική κατάσταση- από το ανυψούμενο βάρος και από την κάμψη του κορμού. Σε πλήρη κάμψη και σε κάμψη 20° η ενδοκοιλιακή πίεση είναι χαμηλή· παρουσιάζει τις κατώτερες τιμές στην όρθια θέση, τις μέγιστες τιμές με τα χέρια ~15 cm από το έδαφος, ενώ ξαφνική

ευθυγράμμιση του σώματος μετά από κάμψη συνοδεύεται από αρχική υψηλή κορύφωση της ενδοκοιλιακής πίεσης.(95) Όταν η θέση κάμψης διατηρείται για λίγα λεπτά, η ενδοκοιλιακή πίεση εμφανίζει διακυμάνσεις που εξαρτώνται από την αναπνοή.(95)

Η σπονδυλική στήλη δεν είναι η μόνη δομή που μεταφέρει δυνάμεις πίεσης από τον ώμο στη λεκάνη. Οι ερευνητές υποστηρίζουν την ύπαρξη ενός «μυϊκού σκελετού» που σχηματίζουν ο εγκάρσιος κοιλιακός, το διάφραγμα, ο εγκάρσιος θωρακικός και οι μύες του πυελικού εδάφους. Αυτός ο «μυϊκός σκελετός» παρέχει πρόσθετη υποστήριξη στο σώμα με την τάση που αναπτύσσεται στο κοιλιακό τοίχωμα μέσω αντανακλαστικής συστολής.(95) Η υψηλή ενδοκοιλιακή πίεση δρα ως ώση κάτω από το διάφραγμα, που μεταδίδεται στην θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης και στους ώμους μέσω των πλευρών, και επωμίζεται μέρος του ανυψωμένου βάρους αποφορτίζοντας έως ένα σημείο την σπονδυλική στήλη.(95)

Το τμήμα του διαφράγματος που προσφύεται στην 7η-9η πλευρά αλληλοεπιδρά με τον εγκάρσιο κοιλιακό και σχηματίζουν ένα ινομυώδες φύλλο, καθώς οι δύο μύες ενώνονται με κοινή απονεύρωση, η οποία προοδευτικά γίνεται ευρύτερη και εντοπίζεται στο πλευρικό όριο του τετράγωνου οσφυϊκού, όπου συνδέεται οπίσθια με το πρόσθιο στρώμα της οσφυϊκής περιτονίας και πρόσθια μαζί με την οπίσθια περιοχή της θήκης του ορθού, περιβάλλοντας την κοιλιακή κοιλότητα (ο Caspar Bartholin το 1676 μιλά για trigastric muscle).(95)

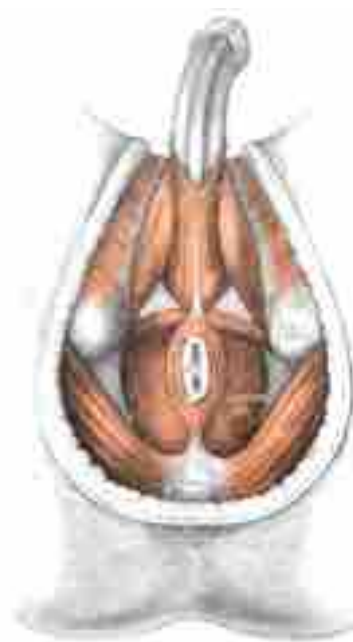
#### ***4.2.2.2. Το διάφραγμα και η λειτουργία των οργάνων της πύελου***

Η κοιλιακή κοιλότητα αφορίζεται άνω από το θωρακικό διάφραγμα και το κάτω από το πυελικό διάφραγμα. Η αρμονία της περιοχής που επηρεάζει την ορθοστάτηση και τις κινητικές λειτουργίες των άκρων είναι απόρροια της συνεργικής (συναγωνιστικής, σταθεροποιητικής ή ανταγωνιστικής) λειτουργίας όλων των σχετικών δομών: διάφραγμα, ψοΐτη, έσω θυροειδή μυ, κοιλιακό τοίχωμα, εγκάρσιο κοιλιακό μυ, περιτοναϊκές

συνδέσεις, εν τω βάθει ίνες του πολυσχιδούς μυός, μεσοπλεύριους μύες, θωρακική μοίρα (Θ6-Θ12 με τις αντίστοιχες πλευρές), οσφυϊκή μοίρα Ο1-Ο3, οστά της πυέλου.(96)

Η ανατομική σύνδεση του διαφράγματος με τον ψοίτη είναι ιδιαιτέρως σημαντική. Μέσω του μέσου τοξοειδούς συνδέσμου το διάφραγμα συνδέεται με την περιτονία του ψοίτη και μέσω αυτής της περιτονίας, η οποία βρίσκεται σε συνέχεια με την περιτονία του πυελικού εδάφους, με τον ηβοκοκκυγικό μυ (97) και τελικά με τον έσω θυροειδή μυ. Σχηματίζεται έτσι μια ανατομική αλληλουχία με λειτουργική συνάφεια από τους ακόλουθους μύες: διάφραγμα-μείζων ψοίτη-ηβοκοκκυγικό-έσω θυροειδή.

Όσον αφορά στον ηβοκοκκυγικό μυ, είναι το μεσαίο και κύριο τμήμα μιας μυϊκής ομάδας με την κοινή ονομασία ανελκτήρας του πρωκτού, που είναι το κεντρικό τμήμα του πυελικού εδάφους. Ο ηβοκοκκυγικός εκφύεται με δύο συμμετρικά τμήματα από την οπίσθια επιφάνεια των ηβικών οστών και από την πάχυνση της περιτονίας του έσω θυροειδούς μυός που σχηματίζει την πρόσθια μοίρα του τενόντιου τόξου του ανελκτήρα του πρωκτού, και με φορά προς τα έσω τα δύο τμήματα συγκλίνουν για να σχηματίσουν ένα μυϊκό πέταλο που καταφύεται στον πρωκτοκοκκυγικό σύνδεσμο ή στον κόκκυγα.(39) Μέσω του ηβοκοκκυγικού διέρχεται η εν τω βάθει ραχιαία φλέβα του πέους στους άνδρες ή η εν τω βάθει ραχιαία φλέβα της κλειτορίδας στις γυναίκες.



Εικόνα 22 Πυελικό διάφραγμα. Πηγή: Gray, H. Gray's Anatomy of the human body. Philadelphia: Lea & Febiger.p.427. <https://archive.org/details/anatomyofhumanb o1918gray>

Η ενιαία δράση του μυός, ως ανελκτήρας του πρωκτού, σχετίζεται με την ενδοκοιλιακή πίεση, με την στήριξη των πυελικών οργάνων και το κλείσιμο του ορθού κατά την σύσπασή του. Ο ηβοκοκκυγικός μυς, έχει ως κύρια λειτουργία τον έλεγχο του ανοίγματος του κόλπου και της ουρήθρας (έλεγχος της ροής των ούρων). Σημαντικός είναι ο ρόλος του και στην σεξουαλική λειτουργία.

Ο έσω θυροειδή αποτελεί μαζί με τον μείζονα γλουτιαίο και τον τετράγωνο μηριαίο ισχυρό έξω στροφέα της κατ' ισχίον άρθρωσης και απαγωγό με το ισχίο σε κάμψη.(39)

Έτσι, το διάφραγμα, μέσω της σύνδεσής του με τους παραπάνω μύες, όχι μόνο εξασφαλίζει την καλή αιμάτωση των γεννητικών οργάνων και των κάτω άκρων, αλλά έμμεσα βελτιστοποιεί την λειτουργία τους.

#### **4.2.2.3. Διάφραγμα, πνευλικό άλγος, ακράτεια**

Η Lee D. et al. αναφέρει ότι η οσφυοπνευλική περιοχή περιλαμβάνει 85 αρθρώσεις που απαιτούν:

1. Σταθεροποίηση κατά τη διάρκεια λειτουργικών δραστηριοτήτων των οποίων η εκτέλεση προϋποθέτει βέλτιστες στρατηγικές που θα εξασφαλίζουν:
  - ελεγχόμενη κινητικότητα,
  - διατήρηση του ελέγχου των σωματικών λειτουργιών,
  - υποστήριξη των οργάνων και
  - αναπνοή.(96)
2. Συνεργική λειτουργία των μυών του κορμού, ώστε κατά την εκτέλεση πολλαπλών δραστηριοτήτων μεταβλητού φορτίου, να μεταφερθούν αποτελεσματικά τα φορτία μέσω της οσφυοπνευλικής περιοχής.

Οι βέλτιστες στρατηγικές θα εξισορροπήσουν τον έλεγχο της κίνησης διατηρώντας ταυτόχρονα τους βέλτιστους αρθρικούς άξονες, επαρκή ενδοκοιλιακή πίεση χωρίς να διακυβεύονται τα όργανα (διατήρηση αντοχής, αποτροπή πρόπτωσης) και υποστήριξη της αναπνοής.(96)

Μη βέλτιστες στρατηγικές σε στάση, κίνηση και αναπνοή συνεπάγονται ανεπαρκή μεταφορά φορτίου και εμφάνιση πόνου ή/και ακράτειας.(96)

Ένα χαρακτηριστικό αναπνευστικό σχήμα που εμφανίζεται συχνά σε γυναίκες με χρόνια πνευλικό άλγος είναι: στήθος σε προπέτεια, χωρίς σχεδόν καμιά κίνηση στον θώρακα ή στην κοιλιά, ενώ το χαρακτηριστικό πρότυπο στάσης-βάδισης-εδραίας θέσης, είναι η έλλειψη συντονισμού, η ακανόνιστη αναπνοή με το άνω τμήμα του θώρακα και υψηλός βαθμός δυσκαμψίας στον λαγονοψοϊτη.(98)

#### 4.2.2.4. Διάφραγμα – Μείζων ψοΐτης – Τετράγωνος οσφυϊκός

Αναφέραμε την ανατομική σύνδεση του διαφράγματος με τον μείζονα ψοΐτη και τον τετράγωνο οσφυϊκό, η οποία είναι πιθανόν να επεκτείνεται και σε λειτουργική σύνδεση.

Ο μείζων ψοΐτης, εκφύεται από τα σπονδυλικά σώματα, τους μεσοσπονδύλιους δίσκους και τις εγκάρσιες αποφύσεις των Θ12-Ι1 σπονδύλων και καταφύεται στον ελάσσονα τροχαντήρα του μηριαίου οστού.

Ως λαγονοψοΐτης:

- ➔ Εκτελεί κάμψη και έξω στροφή του ισχίου.
- ➔ Η αμφιτερόπλευρη ενέργειά του ανυψώνει τον κορμό και κάμπτει την λεκάνη πάνω στον μηρό από την ύπτια θέση με τα γόνατα σε κάμψη και τα πόδια σταθεροποιημένα στο έδαφος.(47)
- ➔ Σταθεροποιεί την σύνδεση του μηρού στη λεκάνη(99).
- ➔ Συμμετέχει στη σταθεροποίηση της πυέλου καθώς στρέφει την πύελο προς τα εμπρός και ενεργεί με άλλους καμπτήρες των ισχίων ανταγωνιστικά, έναντι των κοιλιακών και των γλουτιαίων.(100)
- ➔ Ο μείζων ψοΐτης στην όρθια στάση συμμετέχει στην πλάγια κάμψη του κορμού στην αντίθετη πλευρά μαζί με τους λοξούς κοιλιακούς και τον τετράγωνο οσφυϊκό με πλειομετρική σύσπαση, και στην επαναφορά με μειομετρική σύσπαση.(47) Αποτρέπει την πτώση του άνω ήμισυ του κορμού προς τα πίσω, όταν το άτομο κάθεται χωρίς να στηρίζεται στα χέρια.(47)
- ➔ Στην βάδιση ο λαγονοψοΐτης δρα στο πόδι στήριξης με πλάγια και πρόσθια κλίση του κορμού, ενώ στη φάση αιώρησης οδηγεί τον μηρό προς τα εμπρός και πάνω. Η δύναμη και η αντοχή του καθορίζουν το μήκος και την σταθερότητα του διασκελισμού.

#### Ο τετράγωνος οσφυϊκός:

- ➔ Αποτρέπει την πλάγια κλίση (σκολίωση) της σπονδυλικής στήλης.
- ➔ Εκτελεί πλάγια κάμψη της οσφυϊκής μοίρας στην σύστοιχη πλευρά.
- ➔ Με τους εγκαρσιονωτιαίους, ιερονωτιαίους και κοιλιακούς, παρουσιάζει διαφασική δραστηριότητα στον κύκλο της βάδισης αντισταθμίζοντας την ροπή πρόσθιας κάμψης του κορμού στην επιβράδυνση κατά την επαφή της πτέρνας με το έδαφος, ελαχιστοποιώντας τις οριζόντιες επιταχύνσεις της κεφαλής και παρέχοντας σταθερή βάση για τα μάτια.(47)

Ο ψοΐτης και ο τετράγωνος οσφυϊκός, σχηματίζουν το οπίσθιο κοιλιακό τοίχωμα και συμμετέχουν στην σταθερότητα της οσφυϊκής μοίρας με ενεργό ρόλο στην εξισορρόπηση της σπονδυλικής στήλης.(57)

#### **4.2.3. Διάφραγμα και κίνηση**

Σε όλα τα θηλαστικά υπάρχουν αναπνευστικά-κινητικά μοτίβα.(101) Η κινητική-αναπνευστική σύνδεση στους ανθρώπους συμβαίνει κατά την βάδιση, το τρέξιμο ή άλλες δραστηριότητες (οι δρομείς συγχρονίζουν την αναπνοή και την κίνηση με αναλογίες: 4:1, 3:1, 2:1, 1:1, 5:2 και 3:2) και θεωρείται νευρικής προέλευσης, καθώς πειραματικές μελέτες αποδεικνύουν, ότι κατά την άσκηση οι φασικές διαφραγματικές ηλεκτρομυογραφικές εκρήξεις που αντιστοιχούν σε συσπάσεις του διαφράγματος, είναι συγχρονισμένες με μειώσεις της οισοφαγικής πίεσης και παραγωγή εισπνοής.(102) Το γεγονός ότι σε ασθενείς με σύνδρομο συγγενούς κεντρικού υποαερισμού (CCHS), η παθητική κινητοποίηση της ποδοκνημικής προκαλεί τον αερισμό, οδηγεί στην υπόθεση, ότι είναι πιθανόν να εμπλέκονται και οι προσαγωγές οδοί των μηχανικών υποδοχέων.(67)

Η σύσπαση του διαφράγματος κατά τη διάρκεια της άσκησης σε θηλαστικά συμβαίνει με τέτοιο χρονισμό, ώστε να εξουδετερώνει την αδρανή κρανιακή μετατόπιση των κοιλιακών σπλάχνων που προκαλείται από μια κινητική δυναμική εκπνευστικού χαρακτήρα.(102)

Κατά την μετακίνηση, σε αντίθεση με τη δραστηριότητα των παραστερνικών μεσοπλεύριων, που συνδέεται πάντα με την εισπνοή, η δραστηριότητα των υπόλοιπων τμημάτων των μεσοπλεύριων βρίσκεται σε συνάρτηση με τις κινήσεις των ποδιών.(103) Αυτό σημαίνει απώλεια απόδοσης των μεσοπλεύριων κατά την άσκηση, πράγμα που καθιστά ακόμη πιο σημαντική τη συμμετοχή του διαφράγματος στη σύνδεση μεταξύ κινητικού-αναπνευστικού συστήματος.(31)

Οι ανατομικές συνδέσεις του διαφράγματος με τον ψοίτη, τον τετράγωνο οσφυϊκό, τους κοιλιακούς και τις κινήσεις των άκρων και η ηλεκτρική δραστηριότητα του διαφράγματος που εμφανίζεται πριν από τις κινήσεις των άκρων για την παροχή σταθερότητας στον κορμό, οδηγούν στην υπόθεση, ότι το διάφραγμα συνδέεται με την βάδιση, ιδιαίτερα κατά την φάση στήριξης.

Βάδιση - Φάση στήριξης: Η φάση στήριξης αρχίζει με την άρση των δακτύλων από το έδαφος και ολοκληρώνεται με την επαφή της πτέρνας.

Κινήσεις: στροφή της λεκάνης προς το υποστηρικτικό σκέλος και της σπονδυλικής στήλης προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ελαφρά πλάγια κλίση της λεκάνης προς το αιωρούμενο σκέλος.

Μύες: Ημιακανθώδης, στροφεείς, πολυσχιδής, έξω λοξός (στην πλευρά προς την οποία στρέφεται η λεκάνη). Ορθωτήρας του κορμού και έσω λοξός (στην αντίθετη πλευρά). Ψοίτης και τετράγωνος οσφυϊκός υποστηρίζουν την λεκάνη στην πλευρά του αιωρούμενου σκέλους. Στην φάση στήριξης ο λαγονοψοίτης έχει μειομετρική δράση ενώ στη φάση αιώρησης πλειομετρική. Ο τετράγωνος οσφυϊκός παρέχει πλευρική σταθερότητα και μια άκαμπτη βάση, ώστε οι μύες του ισχίου να παράγουν μέγιστη ταχύτητα συστολής. Χωρίς την σύσπασή του η λεκάνη απλά θα κάμπτεται πλευρικά και ο κορμός θα καταρρέει στη φάση στήριξης.

Οι Peter B. O'Sullivan και Darren J. Beales, παρατηρούν ότι σε άτομα με πόνο στην ιερολαγόνια άρθρωση, παρατηρείται τροποποιημένη κινηματική της πυέλου και του διαφράγματος και διαταραγμένα αναπνευστικά μοτίβα, που μπορούν να διορθωθούν με κινητική μάθηση.(104) Η βελτίωση των κινητικών προτύπων σχετίζεται με μείωση του πόνου και της αναπηρίας (pain and disability scores) και λειτουργική βελτίωση.(104)



#### 4.2.4. Η συμμετοχή του διαφράγματος στην εκλυτική λειτουργία

Το διάφραγμα συμμετέχει σε λειτουργίες του οργανισμού με εκπνευστικό ή εκλυτικό-εξωθητικό χαρακτήρα όπως είναι:

- ο βήχας, το φτέρνισμα, το γέλιο, η εξαναγκασμένη εκπνοή· εκπνευστικές ενέργειες με την γλωττίδα ανοιχτή, κατά τις οποίες αναγνωρίζεται η ανταγωνιστή δράση του διαφράγματος,(31) και
- εξωθητικές ενέργειες με κλειστή γλωττίδα όπως ούρηση,(105) αφόδευση, έμετος,(106) τοκετός,(107) κατά τις οποίες ενεργοποιούνται οι κοιλιακοί μύες, το διάφραγμα και οι επικουρικοί εκπνευστικοί μύες με παρατεταμένη ισχυρή συστολή.(108)

Κατά τις ενέργειες αυτές παράγονται και διατηρούνται υψηλές ενδοκοιλιακές πιέσεις. Η ανταγωνιστή σύσπαση του διαφραγμάτος βελτιστοποιεί την σύσπαση των κοιλιακών και αντίστροφα. Από τη μία η σύσπαση των ανταγωνιστών μυών διατηρεί μια σταθερή σχέση μήκους-τάσης και από την άλλη η σύσπαση του διαφράγματος εμποδίζει την κρνιακή σπλαχνική μετατόπιση.

Οι αυξήσεις της ενδοκοιλιακής πίεσης εξαρτώνται από την εκλυτική λειτουργία, ενώ οι αλλαγές στην δράση των σφιγκτήρων (γαστροοισοφαγικού σφιγκτήρα, πρωκτού, ουρήθρας) εξαρτώνται από την ενδοκοιλιακή πίεση και τον ρυθμό αύξησής της.(108)

Στον βήχα η ενδοκοιλιακή πίεση αυξάνεται γρήγορα και προκαλείται ισχυρή σύσπαση του πρωκτικού σφιγκτήρα και της ουρήθρας προς αποτροπή της ακράτειας. Αντίθετα κατά την αφόδευση η ενδοκοιλιακή πίεση αυξάνεται αργά και βαθμιαία και η σύσπαση του πρωκτικού σφιγκτήρα μειώνεται, ώστε να επιτραπεί η λειτουργία.

Στην έμεση το διάφραγμα με τους κοιλιακούς συστέλλονται έντονα προκαλώντας αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης.

Η διαδικασία της έμεσης είναι η ακόλουθη: βαθιά εισπνοή → ανύψωση του υοειδούς οστού και του λάρυγγα για διάνοιξη του άνω οισοφαγικού σφιγκτήρα → σύγκλειση της γλωττίδας → ανύψωση της μαλακής υπερώας. Παρά την αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης από την συστολή του διαφράγματος και των κοιλιακών λόγω

ταυτόχρονης αύξησης της πίεσης στην γαστροοισοφαγική συμβολή το γαστρικό περιεχόμενο δεν μπορεί να εξωθηθεί. Σε αυτήν την φάση το σκελιαίο διάφραγμα χαλαρώνει για να επιτραπεί η έξοδος του περιεχομένου του στομάχου και το πλευρικό διάφραγμα συσπάται, ώστε να υπάρξει αύξηση της ενδοκοιλιακής πίεσης.(109)

Απόκλιση στη δράση του πλευρικού και σκελιαίου διαφράγματος παρατηρείται επίσης στην παλινδρόμηση και στην κατάποση. Ο αναπνευστικός ρυθμός του σκελιαίου διαφράγματος, οι μυϊκές ίνες του οποίου συγκρατούν τον οισοφάγο, αντιτίθεται στην δράση του πλευρικού διαφράγματος, η κάθοδος του οποίου δημιουργεί διαβάθμισης πίεσης στον θώρακα που ευνοεί την παλινδρόμηση.(110) Στην παλινδρόμηση το σκελιαίο διάφραγμα βρίσκεται σε πλήρη ηλεκτρομυογραφική αναστολή, πράγμα που επιβεβαιώνεται από μελέτες, όπου επιλεκτική σκελιαία μυοτομή προκάλεσε συχνά επεισόδια γαστροοισοφαγικής παλινδρόμησης.(110)

Η συμμετοχή του διαφράγματος σε εκλυτικές λειτουργίες του οργανισμού ελέγχεται από ανώτερους νευρικούς μηχανισμούς και είναι ιδιαίτερος σημαντική:

- Άτομα με διαφραγματική δυσλειτουργία ή αδυναμία συχνά αναφέρουν δυσκολίες στην ούρηση ή δυσκοιλιότητα.(31)
- Βηματοδότηση του διαφράγματος σε τετραπληγικούς συσχετίζεται με την ευκολότερη αποβολή των κοπράνων.

#### **4.2.5. Το διάφραγμα και η καρδιακή λειτουργία**

Η κίνηση του διαφράγματος μπορεί να επηρεάσει την καρδιά, αφού ο περικαρδιακός σάκος συνδέεται με το διάφραγμα με τον φρενοπερικαρδιακό σύνδεσμο. Όταν το διάφραγμα συστέλλεται, ο περικαρδιακός σάκος και η καρδιά έλκονται προς τα κάτω. Έλλειψη κίνησης του διαφράγματος μπορεί να μειώσει τη συσταλτικότητα της καρδιάς και να επηρεάσει την κυκλοφορία του αίματος.

Ο Kulur et al. σε μελέτη του διαπίστωσε, ότι η διαφραγματική αναπνοή βελτιώνει σημαντικά την μεταβλητότητα του καρδιακού ρυθμού (HRV) με ευνοϊκή πρόγνωση σε

ασθενείς με ισχαιμική καρδιακή νόσο.(111) Ο Lee et al. στην μελέτη του για την επίδραση της διαφραγματικής αναπνοής στην αρτηριακή πίεση και τον καρδιακό ρυθμό, διαπιστώνει, ότι η διαφραγματική αναπνοή συνδέεται με στατιστικά σημαντική μείωση της συστολικής και διαστολικής αρτηριακής πίεσης.(112) Επιπλέον, οι περισσότερες παράμετροι της καρδιακής λειτουργίας (κλάσμα εξώθησης, αορτική πίεση, πνευμονική αρτηριακή πίεση) και η ομοιόμορφη οξυγόνωση των ιστών, βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με την αναπνοή.(113) Οι D'Alonzo & Krachman αναφέρουν, ότι η κακή βιομηχανική του διαφράγματος, είναι δυνατόν, να οδηγήσει σε μειωμένη καρδιακή απόδοση. (114) Επιπλέον, κατά την εισπνοή, η διάμετρος της κάτω κοίλης φλέβας μειώνεται(115), ενώ η αποτελεσματικότητα της φλεβικής αποστράγγισης φτάνει στο μέγιστο σε αργή και βαθιά αναπνοή.(116)

Επιπροσθέτως, ο κύκλος της αναπνοής αντανακλά την ισορροπία μεταξύ του συμπαθητικού και του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος. Σε κάθε αναπνοή, η αυτόνομη κατάσταση μεταβάλλεται από παρασυμπαθητικό σε συμπαθητικό (εισπνοή) και από συμπαθητικό σε παρασυμπαθητικό (εκπνοή). Η αύξηση του καρδιακού ρυθμού είναι αποτέλεσμα της δράσης του συμπαθητικού κατά την εισπνοή και η μείωση του καρδιακού ρυθμού κατά την εκπνοή είναι αποτέλεσμα της δράσης του παρασυμπαθητικού νευρικού συστήματος.(117) Η αργή βαθιά αναπνοή μειώνει την απόκριση του αντανακλαστικού των χημειούποδοχέων στην υποξία και στην υπερκαπνία και μπορεί να είναι επωφελής σε καταστάσεις όπως η χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια.(118)

#### **4.2.6. Διάφραγμα και λεμφική παροχέτευση**

Η περιτοναϊκή επιφάνεια του διαφράγματος καλύπτεται από ένα στρώμα συνδετικού ιστού πλούσιο σε λεμφικά αγγεία, που την καθιστά σημαντική θέση λεμφικής αποστράγγισης.(119) Αυτή η καλά ανεπτυγμένη λεμφική δομή, που αποτελείται από δύο στρώματα, εντοπίζεται στο μυϊκό τμήμα. Στον κεντρικό τένοντα υπάρχει ένα στρώμα λεμφικού δικτύου πυκνότερου, όμως, από εκείνο του μυϊκού τμήματος.

Στο διαφραγματικό λεμφικό δίκτυο του μυϊκού τμήματος σχηματίζονται οι λεμφικές σχισμές (lymphatic lacunae). Έχουν διάμετρο 4-22  $\mu\text{m}$  και είναι περισσότερες στο δεξιό ημιδιάφραγμα. Μέσω των περιτοναϊκών στομάτων η λέμφος της περιτοναϊκής κοιλότητας ρέει στα υποπεριτοναϊκά κανάλια και από εκεί στις λεμφικές σχισμές, ο αριθμός των οποίων μειώνεται κατά την εισπνοή και αυξάνεται κατά την εκπνοή. Η λέμφος μέσω του λεμφικού πλέγματος κάτω από τον διαφραγματικό υπεζωκότα (diaphragmatic pleura) συγκεντρώνεται στο μείζονα (δεξιό) θωρακικό πόρο και τέλος εκχέεται στην αιματική κυκλοφορία.

Το διάφραγμα λειτουργεί ως λεμφική αντλία, αφού περίπου το 60% όλων των λεμφαδένων στο ανθρώπινο σώμα βρίσκονται ακριβώς κάτω από το διάφραγμα. Συμβάλλει στον καθαρισμό των λεμφοαγγείων δημιουργώντας αρνητική πίεση.(120) Η λεμφική απορρόφηση εξαρτάται καταρχήν από τη ρυθμικότητα και την διάταση του διαφράγματος και, κατά δεύτερο λόγο, από την ενδοπεριτοναϊκή πίεση και τη στάση του ατόμου.(119) Επομένως, δυσλειτουργία του διαφράγματος μπορεί να επηρεάσει αρνητικά το λεμφικό σύστημα.

Επίσης, είναι σημαντικό να θυμόμαστε, ότι λεμφαγγεία από το κάτω ημιμόριο του σώματος (μεσεντέρια, πυέλου, κάτω άκρων) σχηματίζουν τη χυλοφόρο δεξαμενή (cisterna chyli) που εντοπίζεται στην υποδιαφραγματική περιοχή μεταξύ αορτής και κάτω κοίλης φλέβας, στο επίπεδο των O1-O2.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

### ΠΑΘΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

#### 5.1. Αίτια δυσλειτουργίας του διαφράγματος

Οι παθήσεις του διαφράγματος σχετίζονται συνήθως με ανατομικά ή νευρολογικά προβλήματα του ίδιου του μυός ή είναι απόρροια παθήσεων άλλων δομών ή οργάνων, που όμως επηρεάζουν την λειτουργία του.(121) Οι δυσλειτουργίες αναφέρονται στην εννεύρωση του διαφράγματος, στις συσταλτές του ιδιότητες, στην μηχανική του σύνδεση με το θωρακικό τοίχωμα, οδηγούν σε δύσπνοια, μειωμένη απόδοση κατά την άσκηση, αναπνευστικές υπνικές διαταραχές, γενικά σωματικά συμπτώματα, υπερυπνία, ατελεκτασίες και, τελικά, κακή ποιότητα ζωής. (121)

Αίτιες διαφραγματικής δυσλειτουργίας:

- Συγγενείς ανωμαλίες.
- Επίκτητες ανωμαλίες λόγω τραυματισμού ή χειρουργικής επέμβασης.
- Νευρολογικές - Νευρομυϊκές διαταραχές.
- Διαταραχές του θυρεοειδούς (π.χ. σύνδρομο Hoffmann).
- Συστηματικός ερυθματώδης λύκος (διαφραγματική δυσλειτουργία λόγω αδυναμίας ή υπεζωκοτικών συμφύσεων).
- Ηπατική κίρρωση.
- Κεντρική άπνοια.
- Λοιμώξεις.
- Νεοπλασίες.

Διάγνωση: Η ακρόαση της καρδιάς και της αναπνοής παρέχει σημαντικές πληροφορίες. Εργαστηριακές και απεικονιστικές εξετάσεις: έλεγχος των αερίων του αίματος, ακτινογραφία θώρακος, CT, MRI, ενδοσκόπηση, PFT (Pulmonary Function Test), μέτρηση της διαδιαφραγματικής πίεσης, μελέτη αγωγιμότητας των νεύρων, σπιρομέτρηση, προσδιορισμός μυϊκής ισχύος.

Θεραπεία: Φαρμακευτική, υποστηρικτική - διαφραγματική βηματοδότηση, χειρουργική, λαπαροσκοπική.

## 5.2. Παθήσεις του διαφράγματος

### 5.2.1. Συγγενείς ανωμαλίες

Οι κυριότερες συγγενείς παθήσεις του διαφράγματος είναι:

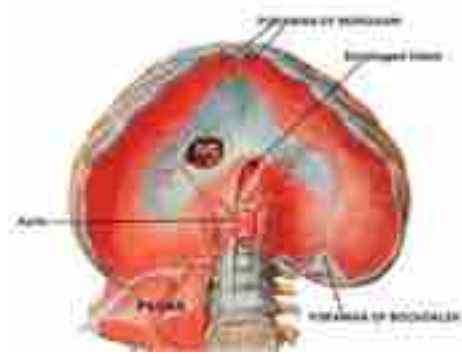
1. Διαφραγματοκήλη Bochdalek.
2. Διαφραγματοκήλη Morgani.
3. Χάλαση του διαφράγματος.
4. Πλήρης απουσία διαφράγματος, σπάνια περίπτωση.

#### 5.2.1.1. Διαφραγματοκήλη Bochdalek (CDH)

Ως διαφραγματοκήλη ορίζεται η πρόπτωση του κοιλιακού περιεχομένου, κυρίως της γαστροοισοφαγικής συμβολής και του στομάχου, στο μεσοθωράκιο, ως επί τω πλείστον διά μέσου του οισοφαγικού τρήματος.(122)

Η διαφραγματοκήλη Bochdalek συναντάται στο 85% των περιπτώσεων με συχνότητα 1:3000 γεννήσεις,(123) εντοπίζεται οπισθοπλάγια στο οσφυοπυελικό τρίγωνο, συχνότερα αριστερά (78%) και σπάνια είναι διμερής,(124) με συχνότητα άνδρες: γυναίκες 1:1,8.(125) Η αποτυχία σύγκλεισης του πλευροπεριτοναϊκού πόρου κατά την 8η-10η εβδομάδα κύησης,(124) έχει ως συνέπεια τον σχηματισμό ευένδοτων ή ατελών

περιοχών,(123) μέσω των οποίων το κοιλιακό περιεχόμενο εισέρχεται στην θωρακική κοιλότητα, με αποτέλεσμα πνευμονική υποπλασία, πνευμονική υπέρταση.(126) Η Bochdalek στους ενήλικες είναι σπάνια και οφείλεται σε μικρά ελλείμματα της πλευροσφυϊκής σχισμής.



*Κλινική εικόνα:* Σκαφοειδή κοιλία, *Εικόνα 23 Τα τρήματα Bochdalek και Morgani. Πηγή: <https://www.laparoscopyindia.com>*

αναπνευστική δυσχέρεια, πνευμονική υποπλασία, μετατόπιση μεσοθωρακίου προς τον υγιή πνεύμονα, κυάνωση, παράδοξη αναπνοή, απουσία αναπνευστικού ψιθυρίσματος, περισταλτικοί ήχοι, ειλεός, ετερόπλευρος πνευμοθώρακας, καταπληξία. Ασυμπτωματική: Κοιλιακό άλγος, εμετοί, ειλεός, λοιμώξεις του αναπνευστικού, έκτακτες καρδιακές συστολές, φύσημα.

#### **5.2.1.2. Διαφραγματοκήλη Morgani**

Εντοπίζεται στο στερνοπλευρικό τρίγωνο (σχισμή του Larrey) οπισθοστερνικά,. Αναπτύσσεται μέσω του τρήματος Morgani. Αντιπροσωπεύει το 21% των συγγενών διαφραγματοκηλών.(127) Σε νεογέννητα εμφανίζεται αναπνευστική δυσχέρεια, για τους ενήλικες είναι αιτία αναπνευστικών λοιμώξεων και συμπτωμάτων από τον γαστρεντερικό σωλήνα, ωστόσο γενικά είναι ασυμπτωματική.(127)

#### **5.2.1.3. Ύβωση ημιδιαφράγματος**

«Μη παραλυτική εξασθένηση και λέπτυνση του πρόσθιου τμήματος και του θόλου του ημιδιαφράγματος που προκαλεί προβολική ανύψωσή του»,(128) ωστόσο το διάφραγμα διατηρεί την ανατομική του συνέχεια.(129) Συνήθως αναφέρεται στο δεξιό ημιδιάφραγμα και συνοδεύεται από παράδοξη κίνηση. (130) Όταν η μερική ατροφία αφορά στο οπίσθιο τμήμα του ημιδιαφράγματος, τότε αναφερόμαστε στο Dromedary Diaphragm, σοβαρότερη μορφή ύβωσης.(128)

#### **5.2.1.4. Φυσιολογικές παραλλαγές του διαφράγματος (128):**

Κυματοειδές διάφραγμα: εμφανίζεται συχνότερα δεξιά, αναφέρεται σε μικρές κυρτώσεις στις απολήξεις του διαφράγματος με το κυρτό προς τα επάνω.

Μυϊκές δέσμες: μικρές κυρτώσεις με το κοίλο προς τα κάτω, συνήθως στο δεξιό ημιδιάφραγμα, εμφανίζεται σε ασθενείς με εμφύσημα και σε άτομα ψηλά και λεπτά.

Υπεράριθμο Διάφραγμα: σπάνια περίπτωση, συνήθως στο δεξιό ημιδιάφραγμα. Είναι παράλληλο προς την μείζονα μεσολόβιο σχισμή, προσφύεται κατά μήκος της 5ης πλευράς και το έσω περικάρδιο και διαμερισματοποιεί το ημιθωράκιο.

### **5.2.2. Επίκτητες διαφραγματοκήλες**

#### **5.2.2.1. Κήλη του οισοφαγικού τρήματος**

Ο οισοφάγος εισέρχεται στην κοιλιακή χώρα μέσω του οισοφαγικού τρήματος στο δεξιό σκέλος του διαφράγματος, το οποίο είναι ευάλωτο, διότι υφίσταται ισχυρές πιέσεις,(131) που μπορεί να οδηγήσουν σε χαλάρωση του τρήματος, όταν η ενδοκοιλιακή πίεση είναι αυξημένη (παχυσαρκία, εγκυμοσύνη, δυσκοιλιότητα κ.ά.).

Προδιαθεσικοί παράγοντες είναι οι συγγενείς δυσπλασίες και οι σκελετικές παραμορφώσεις (κύφωση, σκολίωση, σκαφοειδές στέρνο), που επηρεάζουν την ανατομία του διαφράγματος. (122)

#### **5.2.2.2. Τραυματική διαφραγματοκήλη**

Η τραυματική ρήξη του διαφράγματος, είναι συνέπεια τυφλού ή διατιτραίνοντος τραύματος στον θώρακα ή στην κοιλιά.(132) Η οξεία αναπνευστική ανεπάρκεια προκαλείται από τα κοιλιακά όργανα που εισέρχονται στον θώρακα.

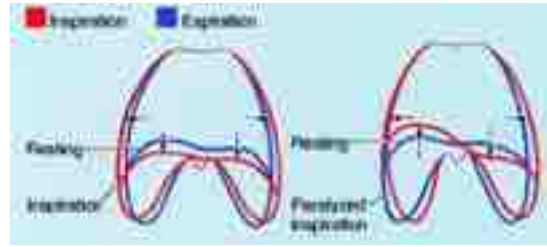


### 5.2.3. Παράλυση του διαφράγματος

Η παράλυση του διαφράγματος μπορεί να είναι(133):

Ετερόπλευρη: συνήθως είναι ασυμπτωματική, επειδή αντισταθμίζει ο άλλος πνεύμονας.(134)

Εάν υπάρχουν συμπτώματα αυτά είναι αναπνευστική δυσχέρεια, πονοκέφαλος, κόπωση, αϋπνία.



Εικόνα 24 Αριστερά: φυσιολογικό διάφραγμα. Δεξιά: παράλυση δεξιού ημιδιαφράγματος. Πηγή: Keith L. Moore, Arthur F. Dalley, Anne M. R. Agur. *Clinically Oriented Anatomy*, 6th ed. © Lippincott Williams and Wilkins 2010.

Αμφοτερόπλευρη: συνοδεύεται από δύσπνοια, που επιτείνεται σε ύπτια θέση με εμφανή παράδοξη κίνηση (εισολική της κοιλιάς κατά την εισπνοή). Η ζωτική χωρητικότητα, οι περισσότεροι πνευμονικοί όγκοι και οι εκπνευστικές ροές ελαττώνονται, αλλά παρά τη δύσπνοια οι ασθενείς δεν εμφανίζουν αναπνευστική ανεπάρκεια.(135)

Αιτιολογία(133):

- ιδιοπαθής: αντιπροσωπεύει το ~ 70% των περιπτώσεων,
- παράλυση του φρενικού νεύρου,
- μυοπάθειες (π.χ. μυασθένεια, πολυμυοσίτιδα, μυϊκές δυστροφίες),
- έρπης ζωστής, πνευμονία, πνευμονική εμβολή, ιατρογενή αίτια,
- σύνδρομο συγγενούς κεντρικού υποαερισμού.

### 5.2.4. Λόξιγκας

Ο λόξιγκας είναι σύνθετο ακούσιο αντανακλαστικό, προκαλείται από διαλείπουσες συσπάσεις του διαφράγματος (στο 80% των περιπτώσεων συσπάται το αριστερό ημιδιάφραγμα), που διακόπτονται από την αιφνίδια σύγκλιση της γλωττίδας, εξ ου και ο χαρακτηριστικός ήχος.(45)

Ο περυνγισμός του διαφράγματος είναι σύνδρομο, που χαρακτηρίζεται από επεισόδια μετεωρισμού της κοιλιάς και ερυγών και οφείλεται σε περυνγοειδείς συσπάσεις του διαφράγματος.(135)

### 5.2.5. Κάματος του διαφράγματος

Ο κάματος των αναπνευστικών μυών είναι αναστρέψιμη κατάσταση, η οποία χαρακτηρίζεται από έκπτωση της συσταλτικής απόκρισης και αδυναμία παραγωγής δύναμης για την διατήρηση του απαιτούμενου αερισμού, όταν το έργο της αναπνοής αυξάνεται λόγω μεταβολών των μηχανικών ιδιοτήτων των πνευμόνων και των αεραγωγών (αποφρακτικές ή περιοριστικές αναπνευστικές νόσοι) (44) ή ύστερα από έντονη καταπόνηση των αναπνευστικών μυών π.χ. λόγω άσκησης.(135) Διακρίνεται σε «κάματο υψηλής συχνότητας» μικρής διάρκειας και σε «κάματο χαμηλής συχνότητας» παρατεταμένο.(136) Ο κάματος των αναπνευστικών μυών αποτελεί αιτία υποαερισμού.

Καθοριστικοί παράγοντες της κόπωσης του διαφράγματος είναι η δύναμη και η διάρκεια της διαφραγματικής συστολής.(137) Η δύναμη της μυϊκής συστολής εξαρτάται από:

- ↳ α) το μήκος ηρεμίας του μυός
- ↳ β) την συστολική ικανότητα (βράχυνση)
- ↳ γ) την ένταση και την συχνότητα του ερεθίσματος και
- ↳ δ) την δομική και λειτουργική του ακεραιότητα.

Η δύναμη εκφράζεται από το λόγο της μέσης διαδιαφραγματικής πίεσης που αναπτύχθηκε σε μία αναπνοή προς τη μέγιστη διαδιαφραγματική πίεση που αναπτύχθηκε σε μια εκούσια προσπάθεια έναντι κλειστού αεραγωγού ( $P_{di\ breath}/P_{dimax}$ ) και η διάρκεια εκφράζεται από το λόγο της εισπνοής προς τη συνολική διάρκεια της αναπνοής ( $T_i/T_{tot}$ ). Το γινόμενο  $(P_{di\ breath}/P_{dimax}) \times (T_i/T_{tot})$  αναφέρεται ως δείκτης τάσης χρόνου ( $TT_{di}$ ) και καθορίζει τον χρόνο αντοχής. Κατά την ήρεμη αναπνοή, ο  $TT_{di}$  είναι περίπου 0,015. Όταν ο  $TT_{di}$  υπερβαίνει το 0,15 επέρχεται κάματος.(44)

Η απόκριση των αναπνευστικών μυών σε αυξημένο φορτίο διακρίνεται σε δύο φάσεις(40):

α) Οξεία απόκριση: Το αυξημένο αναπνευστικό φορτίο προκαλεί μορφολογικές ανωμαλίες στις μυϊκές ίνες του διαφράγματος, τόσο σε ασθενείς με αποφρακτικές ασθένειες όσο και σε υγιή άτομα.(40)

Το οξειδωτικό στρες επιτείνει την μυϊκή κόπωση.(138)

Παράγοντες όπως η έντονη άσκηση, λοιμώξεις, φλεγμονές, οι αποφρακτικές πνευμονικές παθήσεις, αυξάνουν την έκθεση του διαφράγματος στις δραστικές μορφές οξυγόνου, οι οποίες σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι τοξικές για τα κύτταρα και μεταβάλλουν την απόκριση του μυός κυρίως σε χαμηλής συχνότητας διέγερση.(138)

Η απόκριση του διαφράγματος επηρεάζεται από το βαθμό του οξειδωτικού στρες, την κατάσταση κόπωσης, τα επίπεδα της γλουταθειόνης και την ηλικία.(138)

β) Χρόνια προσαρμογή: Το διάφραγμα προκειμένου να ανταποκριθεί σε χρόνιες καταστάσεις αυξημένου αναπνευστικού φορτίου υφίσταται δομικές αλλαγές:

- αύξηση των μυϊκών ινών τύπου I,
- μείωση των μυϊκών ινών τύπου Ια,

έτσι αυξάνεται η αντοχή του μυός αλλά μειώνεται η συστολική του δύναμη.(40)

γ) Προσαρμογή στην αχρησία: Ο παρατεταμένος μηχανικός αερισμός προκαλεί στο διάφραγμα δομική βλάβη, μυϊκή ατροφία και οξειδωτικό stress, το οποίο επέρχεται μέσα στις 6 πρώτες ώρες.(139)

Ο κάματος των αναπνευστικών μυών χαρακτηρίζεται από(135):

- ↳ ταχύπνοια,
- ↳ περιοδική απουσία διαφραγματικών συστολών,
- ↳ ελαττωμένες στοματικές πιέσεις.

Προδιαθεσικούς παράγοντες αποτελούν(136):

- ↳ Οι εισπνευστικές πιέσεις: διαδιαφραγματικές πιέσεις < 40% της μέγιστης διαδιαφραγματικής πίεσης δεν προκαλούν κάματο.
- ↳ Η αναπνευστική ροή: μεγάλες εισπνευστικές ροές προκαλούν κάματο.
- ↳ Ο όγκος του πνεύμονα: σε αυξημένο πνευμονικό όγκο μειώνεται το μήκος των αναπνευστικών μυών, που τους καθιστά ευαίσθητους σε κάματο.
- ↳ Η κακή διατροφή, η έλλειψη καλίου και μαγνησίου.
- ↳ Η ελάττωση της αιμάτωση του διαφράγματος.

Η λειτουργία των αναπνευστικών μυών εκτιμάται από:

- ↳ Την δύναμη συστολής των αναπνευστικών μυών.(47)

- ↳ Την μέγιστη στοματική πίεση(136): Για να παραχθεί η μέγιστη εισπνευστική πίεση ( $P_i \max$ ) εκτελείται μία εκπνοή μέχρι τον RV που ακολουθείται από μέγιστη εισπνοή έναντι αποφραγμένου αεραγωγού με ανελαστικά τοιχώματα. Η μέγιστη εκπνευστική πίεση ( $P_e \max$ ) μετράται από την TLC. Για τον υπολογισμό της  $P_i \max$  γίνεται αναγωγή των όγκων σε % τιμές της προβλεπόμενης TLC.
- ↳ Την μέγιστη διαδιαφραγματική πίεση ( $P_{di}$ )(136): Εκφράζει την δύναμη συστολής του διαφράγματος. Υπολογίζεται από την σχέση  $P_{di}=P_g-P_{es}$ , όπου το άτομο εκτελεί μέγιστες εισπνευστικές και εκπνευστικές προσπάθειες έναντι κλειστού αεραγωγού.

Δοκιμασίες διάγνωσης καμάτου αναπνευστικών μυών(136):

- ↳ Δείκτης τάσης-χρόνου.
- ↳ Ταχύτητα χάλασης του διαφράγματος (επιβράδυνση σε κάματο).
- ↳ Ηλεκτρομυογράφημα (αύξηση των δυναμικών στις χαμηλές συχνότητες και ελάττωση στις υψηλές).
- ↳ Παράδοξη κινητικότητα, η οποία χαρακτηρίζεται από εισολκή της κοιλιάς κατά την εισπνοή (σημείο επερχόμενου καμάτου).

Ο κάματος των αναπνευστικών μυών αποτελεί μεν ουσιαστικό αιτιολογικό παράγοντα της υπερκαπνικής αναπνευστικής ανεπάρκειας, αλλά είναι αναστρέψιμη κατάσταση. Ένα πλάνο αντιμετώπισης του θα μπορούσε να περιλαμβάνει:

- ↳ Προσαρμοσμένη άσκηση: επιτυγχάνεται ρύθμιση των αντιοξειδωτικών ενζύμων και πρόσθετη προστασία έναντι του οξειδωτικού στρες.(140)
- ↳ Βελτίωση της αιμάτωσης του διαφράγματος (135) σε συνδυασμό με κατάλληλη διατροφή.
- ↳ Βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων των πνευμόνων (ελάττωση φορτίου αναπνευστικών μυών).(135)
- ↳ Χρήση μηχανικής υποστήριξης της αναπνοής (ανάπαυση των μυών).(135)

## 5.2.6. Σύνδεση του διαφράγματος με άλλες παθήσεις

### 5.2.6.1. Αναπνευστικές διαταραχές

Οι αναπνευστικές διαταραχές είναι κοινές στον γενικό πληθυσμό. Οι παθοφυσιολογικές βιοχημικές, ψυχολογικές και εμβιομηχανικές αλλαγές που προκύπτουν, προκαλούν πόνο και κόπωση, οσφυαλγία και δυσλειτουργικότητα.(141) Ο πόνος και η δυσλειτουργικότητα με την σειρά τους προκαλούν λανθασμένα μοτίβα αναπνοής με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας αλυσίδας αρνητικών προσαρμογών, όπου ο πόνος μεταβάλλει την αναπνοή και αυτή με τη σειρά της ενισχύει τον πόνο.(141)

Η αναπνευστική διαταραχή ή δυσλειτουργική αναπνοή, περιλαμβάνει χρόνιες ή επαναλαμβανόμενες αλλαγές στο πρότυπο αναπνοής, που οδηγούν σε αναπνευστικά ή/και μη αναπνευστικά προβλήματα. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν δύσπνοια, αίσθημα σφιξίματος στο θώρακα, πόνο στο στήθος, μυοσκελετικό πόνο, αίσθημα ασφυξία κατά την άσκηση, υπεραερισμό. Η αλλοιωμένη νευρωνική διέγερση που ακολουθεί τις αναπνευστικές διαταραχές επηρεάζει την αντίληψη του πόνου και τον κινητικό έλεγχο. Οι διαταραχές της αναπνοής αυξάνουν τα επίπεδα άγχους, γεγονός που επαρκεί από μόνο του για να αλλάξει ο κινητικός έλεγχος.(141)

Ο τόνος του διαφράγματος και των εγκάρσιων κοιλιακών μυών είναι παράγοντας διασφάλισης της σταθερότητας του κορμού. Ωστόσο μετά από περίπου 60 sec υπερκαπνίας, οι τονικές και οι φασικές λειτουργίες του διαφράγματος και των εγκάρσιων κοιλιακών μυών μειώνονται.(141)

Στη χρόνια καρδιακή ανεπάρκεια, το διάφραγμα είναι ασθενέστερο, πιο συχνά τοποθετημένο σε κατάσταση εκπνοής, με πιο γρήγορες κινήσεις.(142)

Σε ασθενείς με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (COPD) παρατηρούνται παθολογικές προσαρμογές του διαφράγματος,(143) όπως η κάθοδος του θόλου σε θέση εισπνοής, που επηρεάζουν δυσμενώς την ανοχή στην άσκηση.(144) Η συστολική δύναμη μειώνεται, το πάχος των μυϊκών ινών αυξάνεται, ιδιαίτερα αριστερά, με μειωμένη μηχανική εκτροπή, πιθανόν λόγω της μείωσης των ινών.(145) Η μείωση των ινών αναερόβιου τύπου (τύπου II) και η αύξηση των αερόβιων ινών (τύπου I), που παρατηρείται,

αυξάνεται προοδευτικά με την επιδείνωση της παθολογίας.(146) Η αύξηση της οξειδωτικής διαδικασίας, ωστόσο, δεν αντιστοιχεί σε βελτίωση της διαφραγματικής λειτουργίας. Η συχνότητα της ανιχνεύσιμης μυοσίνης μειώνεται, η σαρκομερική οργάνωση μεταβάλλεται και η αντοχή του μυός μειώνεται περαιτέρω.

Η διαφραγματική λειτουργία επηρεάζει και την συναισθηματική κατάσταση. Σε ασθενείς με ΧΑΠ, τα επεισόδια κατάθλιψης κυμαίνονται από 8% έως 80%.(147) Η κατάθλιψη επηρεάζει τη σωματική κατάσταση ιδιαίτερα κατά την διάρκεια της νοσηλείας για οξέα αναπνευστικά προβλήματα.(148) Η κατάθλιψη και το άγχος σε ασθενείς με ΧΑΠ αυξάνει το ποσοστό θνησιμότητας.(149)

Η βελτίωση της αναπνευστικής λειτουργίας με άσκηση και φυσικοθεραπεία βελτιώνει τα ψυχιατρικά συμπτώματα.(150)

#### **5.2.6.2. Διάφραγμα και οσφυαλγία (low back pain – LBP)**

Σύμφωνα με τον Panjabi (1992), τρία συστήματα συνεργάζονται για να διατηρήσουν τη σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης και την μεσοσπονδύλια κίνηση(151):

1. Το κεντρικό νευρικό σύστημα (έλεγχος).
2. Το σύστημα της οστεοσύνδεσης (παθητικό): σπόνδυλοι, μεσοσπονδύλιοι δίσκοι, σύνδεσμοι, ζυγοαποφυσιακές αρθρώσεις, παθητικά στοιχεία των συσχετιζόμενων μυοτενόντιων δομών.
3. Το μυϊκό σύστημα (ενεργητικό): μυοτενόντιες μονάδες που συνδέονται ή επηρεάζουν τη σπονδυλική στήλη

Τα τροποποιημένα μοντέλα αναπνοής επηρεάζουν αρνητικά τόσο το κεντρικό νευρικό σύστημα όσο και τους μύες, οδηγώντας σε επιδείνωση ή παραμονή ενός μη παθολογικής αιτιολογίας οσφυοπυελικού πόνου και δυσλειτουργίας.

Ο Paillard αναφέρει, ότι ο υπεραερισμός, μειώνει το επίπεδο του CO<sub>2</sub> και αυξάνει το pH στα σωματικά υγρά και στους ιστούς προκαλώντας αγγειακές μεταβολές, ενδεχομένως υπεύθυνες για αυξημένη αστάθεια.(152)

Έχουν αναφερθεί εκτεταμένα προβλήματα στον στατικό και κινητικό έλεγχο σε ασθενείς με χρόνια οσφυαλγία (low back pain), που περιλαμβάνουν κακό συντονισμό των λειτουργιών της στάσης και της αναπνοής.(153)(154)

Κατά τον Janssens et al η κόπωση των εισπνευστικών μυών (IMF) οδηγεί σε μειωμένο στατικό έλεγχο και σταθερότητα.(83) Αυτά υποδεικνύουν ότι η IMF μπορεί να είναι ένας παράγοντας που οδηγεί σε υψηλό ποσοστό επανεμφάνισης οσφυαλγίας. Σε κόπωση των αναπνευστικών μυών, η ιδιοδεκτική τροφοδοσία από την περιοχή της οσφύος καθίσταται λιγότερο αξιόπιστη, διαταράσσεται η αισθητηριακή ολοκλήρωση και συνεπώς ο ορθοστατικός έλεγχος.(83) Φαίνεται ότι ο υπεραερισμός επηρεάζει τα ενδοδεκτικά αισθητήρια και τα κινητικά συστήματα του μηχανισμού του ορθοστατικού ελέγχου.

Οι Hodges et al., 2005 (87), σημειώνουν ότι μετά από περίπου 60 sec έντονης αναπνοής, μειώνονται ή απουσιάζουν τόσο οι ορθοστατικές (τονικές) όσο και οι φασικές λειτουργίες του διαφράγματος και του εγκάρσιου κοιλιακού.(81) Άρα, η σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης μπορεί να υπονομευθεί σε καταστάσεις όπου η αναπνευστική ζήτηση αυξάνεται, όπως η άσκηση και η αναπνευστική νόσος.(81) Σε συνθήκες έντονης άσκησης, όταν η φυσική καταπόνηση είναι μεγαλύτερη, η ευπάθεια της σπονδυλικής στήλης σε τραυματισμό είναι πιθανό να αυξηθεί. Μειωμένη στήριξη της σπονδυλικής στήλης παρατηρείται και κατά τη διάρκεια συνδυασμένης πρόκλησης φορτίου στην οσφυϊκή περιοχή και αναπνοής (π.χ. σκάψιμο ή εκκαθάριση χιονιού).

Οι O'Sullivan & Beales παρατηρούν συνδυασμό της δυσλειτουργίας των αρθρώσεων του ιερολαγόνιου οστού με αποκλίνον πυελικό έδαφος και διαφραγματική δυσλειτουργία. Ένα πρόγραμμα που βελτιώνει τον κινητικό έλεγχο, μέσω της αποκατάστασης του ελέγχου του πυελικού εδάφους, σε συνδυασμό με ένα λειτουργικό αναπνευστικό μοτίβο μειώνει τον πόνο και την αναπηρία.(104)

Οι Roussel et al αναφέρονται σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 50% των ασθενών με χρόνια μη εντοπισμένο οσφυϊκό πόνο, που παρουσιάζει τροποποιημένα αναπνευστικά μοτίβα σε λειτουργίες κατά τις οποίες ενεργοποιούνται έντονα οι σταθεροποιητές μύες του κορμού.(155)

### 5.2.6.3. Νευρομυϊκές διαταραχές

Οι αναπνευστικοί μύες εμπλέκονται σε νευρομυϊκές διαταραχές, οδηγώντας σε περιοριστικό αναπνευστικό πρότυπο.(156) Η αναπνευστική ανεπάρκεια είναι μία από τις κύριες αιτίες νοσηρότητας και θνησιμότητας σε ασθενείς με νευρομυϊκές παθήσεις.(157)

Συνοπτικά, η συσταλτική δύναμη και η κινητικότητα του διαφράγματος μπορούν να επηρεαστούν από παθολογικές μεταβολές των παρακάτω ανατομικών δομών:

- Κεντρικό νευρικό σύστημα
- Φρενικό νεύρο
- Νευρομυϊκή σύνδεση
- Διαφραγματικό μυ
- Θωρακικό κλωβό
- Άνω κοιλιακή χώρα

Οι νευρολογικές αιτίες μπορεί να συνδέονται με: διατομή του νωτιαίου μυελού, σκλήρυνση κατά πλάκας, αμυοτροφική πλευρική σκλήρυνση, αυχενική σπονδύλωση, πολιομυελίτιδα, σύνδρομο Guillain-Barre, καρδιοχειρουργική επέμβαση, αμβλύ τραύμα στο στήθος, όγκους μεσοθωρακίου, υπεζωκοτική λοίμωξη, ακτινοθεραπεία, ιδιοπαθή νευροπάθεια και ιδιοπαθή φλεγμονώδη βραχιόνια πλεγματοπάθεια (σύνδρομο Parsonage-Turner).

Τα μυοπαθητικά αίτια είναι ιδιοπαθή ή προέρχονται από: ζωνιαίες μυϊκές δυστροφίες (limb-girdle dystrophy), υπερθυρεοειδισμός ή υποθυρεοειδισμός. Άλλες αιτίες μπορεί να είναι η ανεπάρκεια όξινης μαλτάσης, η αμυλοείδωση, ή νόσοι του συνδετικού ιστού, όπως ο συστηματικός ερυθματώδης λύκος, η δερματομυοσίτιδα, και μικτή νόσος του συνδετικού ιστού.

Συνήθως συνοδεύονται με διαταραχές στη ροή του λόγου, που χαρακτηρίζονται από διακεκομμένη ομιλία με απότομες παύσεις, λόγω ασυντόνιστης αναπνοής, σπασμών του διαφράγματος ή διακυμάνσεων του μυϊκού τόνου.



#### 5.2.6.4. Ημιπληγία

Το αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα, ανάλογα με την έκταση και τον εντοπισμό του. Ένα φλοϊϊκό έμφρακτο ίσως έχει μικρές συνέπειες στη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος.(158) Αντίθετα, ακόμη και μικρή βλάβη στην εσωτερική κάψα, μπορεί να συνοδεύεται από σοβαρές επιπλοκές του αναπνευστικού και διαφραγματική δυσλειτουργία.(159)(160)

Ηλεκτρομυογραφικές μελέτες σε ημιπληγικούς ασθενείς, καταγράφουν εκτεταμένες λειτουργικές διαταραχές στους έξω μεσοπλεύριους μύες (μεγαλύτερες) και στο διάφραγμα (μικρότερες), της ημιπληγικής πλευράς.(161)

Οι εκούσιες κινήσεις βλάπτονται περισσότερο, σε σχέση με τις ακούσιες, που υπόκεινται σε μεταβολικό έλεγχο.(162) Έτσι, ενώ η ήρεμη αναπνοή πραγματοποιείται με συμμετρική σύσπαση των δύο ημιδιαφραγμάτων, στην εκούσια βαθεία εισπνοή, υπολείπεται το ημιδιάφραγμα της πάσχουσας πλευράς. Στην δεξιά ημιπληγία παρατηρείται μεγαλύτερη εξασθένηση του αναπνευστικού συστήματος σε σύγκριση με την αριστερή ημιπληγία.(163)

Η ανατομική της περιοχής είναι παράγοντας καθοριστικός για τις διαφορές μεταξύ δεξιάς και αριστερής ημιπληγίας όσον αφορά στο διάφραγμα. Σε ασθενείς με ήπια αριστερή ημιπάρεση (και πιθανόν ήπια διαφραγματική πάρεση) η θέση της καρδιάς μπορεί να αποτρέψει την υπερβολική ανύψωση του αριστερού ημιδιαφράγματος, περιορισμός που απουσιάζει σε ασθενείς με δεξιά ημιπάρεση.(160) Οι Santamaria et Ruiz θεωρούν, ότι η κλινική σημασία αυτής της κεντρικού τύπου διαφραγματικής πάρεσης είναι, ίσως, λιγότερο σημαντική από την περιφερική, αλλά σε συνδυασμό με την ομόπλευρη πάρεση των μεσοπλεύριων μυών, αυξάνεται η συχνότητα εμφάνισης πνευμονίας στην παράλυτη πλευρά.(160)

Οι Voyvoda et al παρατηρούν, ότι η διαφραγματική κίνηση μπορεί να επηρεαστεί όχι μόνο στην ημιπληγική αλλά και στην υγιή πλευρά, με διαφορές από άτομο σε άτομο.(158) Ωστόσο το αναπνευστικό σύστημα είναι σε θέση να αντισταθμίσει μικρές αλλαγές στη διαφραγματική κινητικότητα προκειμένου να διατηρηθεί ο αερισμός.

Ημιπληγικοί ασθενείς παρουσιάζουν χαμηλές τιμές στην μέγιστη εισπνευστική (PI<sub>max</sub>) και στην μέγιστη εκπνευστική πίεση (PE<sub>max</sub>), πράγμα που σημαίνει μειωμένη δύναμη των αναπνευστικών μυών.(158) Οι χαμηλές τιμές PEF (μέγιστη εκπνευστική ροή, Φ.Τ. >80%) και FEF 25-75% (ταχύτητα εκπνευστικής ροής, Φ.Τ. >70%) αντανακλούν την δυσλειτουργία των μυών του κορμού· οι ημιπληγικοί ασθενείς υποφέρουν από μειωμένη αποτελεσματικότητα του βήχα, με συνέπεια μειωμένη ικανότητα αποβολής των εκκρίσεων, μεγάλη συχνότητα αναπνευστικών λοιμώξεων, δυσκολία του αναπνευστικού συστήματος, να ανταποκριθεί στο υψηλό αναπνευστικό φορτίο, που συνεπάγεται η λοίμωξη, αυξημένη νοσηρότητα και θνησιμότητα.(163)

Στην ημιπληγία παρατηρείται, επίσης, περιορισμός στην κίνησης του θωρακικού τοιχώματος σύστοιχα, πράγμα που οδηγεί σε ανύψωση του ημιδιαφράγματος και ελάττωση του αερισμού με παρουσία υποξαιμίας σε πλάγια κατάκλιση.

Στο πλαίσιο μιας νευρολογικής πάθησης, όπως η ημιπληγία, η θέση και η κινητικότητα του ημιδιαφράγματος επηρεάζονται και από παράγοντες ανεξάρτητους από την πάθηση όπως π.χ. ατελεκτασίες ή πνευμονική εμβολή.(159)

#### **5.2.6.5. Παθήσεις του νωτιαίου μυελού**

##### *5.2.6.5i. Τετραπληγία*

Διατομή ή βλάβη στο A1–A2 νευροτόμιο λόγω διατομής των κατιουσών οδών προκαλεί παράλυση όλων των κύριων αναπνευστικών μυών με απόληξη τον θάνατο εκτός αν μπορεί να δεχθεί ο ασθενής αναπνευστική υποστήριξη. Βλάβη ή διατομή στο ύψος A3–A5 έχει άμεση επίπτωση στο φρενικό νεύρο με μερική ή πλήρη διαφραγματική παράλυση.

##### *5.2.6.5ii. Βλάβη της κατώτερης Α.Μ.Σ.Σ.*

Τα φρενικά νεύρα διατηρούν την ακεραιότητά τους, αλλά όχι και τα μεσοπλεύρια. Έτσι, υπάρχει απώλεια της λειτουργίας των έξω μεσοπλεύριων και των περισσότερων

εκπνευστικών μυών, επειδή η λειτουργία τους βρίσκεται σε συνάρτηση με την ακεραιότητα της λειτουργίας των κοιλιακών μυών.

Η απώλεια ισχύος των αναπνευστικών μυών ακολουθείται από μείωση της έκπτυξης του θωρακικού κλωβού και των πνευμόνων. Το βάθος της αναπνοής και ο αναπνεόμενος όγκος (VT) μειώνονται, παρατηρείται αδυναμία εισπνοής στην ολική πνευμονική χωρητικότητα (TLC) και μείωση της ζωτικής χωρητικότητας (VC), κυρίως σε καθιστή θέση, μαζί με αδυναμία εκπνοής στον υπολειπόμενο όγκο (RV).

Η χρόνια αναπνοή σε χαμηλούς πνευμονικούς όγκους οδηγεί σε ατελεκτασίες και διαταραχές της σχέσης αερισμού-αιμάτωσης.

Η αδυναμία των εκπνευστικών μυών, επιπλέον, μειώνει την ικανότητα για ενεργητική βίαιη εκπνοή (βήχα), με συνέπεια αδυναμία απόχρεμψης, συχνές λοιμώξεις του αναπνευστικού και, τελικά, χρόνια πνευμονοπάθεια.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε στο σημείο αυτό ότι το έλλειμμα στη λειτουργία των εκπνευστικών μυών μπορεί κατά ένα μέρος να καλύψει ο μείζων θωρακικός μυς, ο οποίος παρουσιάζει σημαντική εκπνευστική δράση.(30)

Η πλήρης διαφραγματική παράλυση προκαλεί ορθόπνοια. Η φυσιολογική διαφραγματική λειτουργία, όταν δεν υποστηρίζεται από άλλους εισπνευστικούς μύες, εμφανίζεται παράδοξη κινητικότητα του άνω τμήματος του θωρακικού κλωβού, αλλά το κάτω μέρος του θώρακα κινείται ομαλά.(30)

Σε μερικούς ασθενείς η σταθερότητα του θωρακικού κλωβού διατηρείται μέσω αντανακλαστικής δράσης των παραστερνικών μεσοπλεύριων μυών ή των σκαληνών μυών.(30) Γενικά, όσο χαμηλότερα στον νωτιαίο μυελό εντοπίζεται η βλάβη, τόσο λιγότερο επηρεάζεται η αναπνευστική λειτουργία.

Σε χρόνιες βραδέως εξελισσόμενες νόσους του νωτιαίου μυελού, η αδυναμία του διαφράγματος οδηγεί σε ατελεκτασίες με επακόλουθο υποξαιμία, ελάττωση της πνευμονικής ευενδοτότητας, λοιμώξεις του αναπνευστικού, βλάβη του βλεννοκροσσώτου μηχανισμού (λόγω αδυναμίας απομάκρυνσης των ιξωδών εκκρίσεων) και πνευμονική ίνωση.

#### **5.2.6.6. Παθήσεις εξωγενούς αιτιολογίας**

Παθήσεις εξωγενούς αιτιολογίας είναι δυνατόν να επηρεάσουν την δομή και την λειτουργία του διαφράγματος. Τέτοιες μπορεί να είναι οι: σκολίωση, κύφωση, αγκυλοποιητική σπονδυλίτιδα, παχυσαρκία, υπεζωκοτικές συλλογές, παθήσεις του θωρακικού τοιχώματος, των θωρακικών και κοιλιακών οργάνων, νεοπλάσματα.

Η ικανότητα αερισμού μειώνεται και η κατάσταση επιδεινώνεται αφού, λόγω του πόνου, υπολειπονται οι επικουρικοί αναπνευστικοί μύες.(164)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

### ΦΥΣΙΚΟΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ

Η λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος στηρίζεται, όπως αναφέρθηκε, στις διαβαθμίσεις πίεσης. Οι πιέσεις που αναπτύσσονται στο αναπνευστικό σύστημα εξαρτώνται από τις δυνάμεις που παράγονται από την σύσπαση των μυών και από τις ελαστικές ιδιότητες του πνεύμονα και του θωρακικού τοιχώματος. Ωστε, η συντονισμένη και ρυθμική λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος οφείλεται και στους αναπνευστικούς μύες, κυριότερος των οποίων θεωρείται το διάφραγμα.

Μείωση των συσταλτών ιδιοτήτων του διαφράγματος έχει επίπτωση στους όγκους και την ικανότητα των πνευμόνων. Αυτό συμβαίνει στα πνευμονικά νοσήματα, όταν ο παγιδευμένος στους πνεύμονες αέρας, πιέζει το διάφραγμα, το οποίο αποδυναμωμένο και πεπλατυσμένο λειτουργεί λιγότερο αποτελεσματικά ή όταν λόγω της δύσπνοιας και του αυξημένου αναπνευστικού ρυθμού επέρχεται κόπωση του μύος, η οποία προκαλεί αυξημένη δραστηριότητα των επικουρικών αναπνευστικών μυών, λανθασμένα αναπνευστικά πρότυπα, και όλα όσα αυτά συνεπάγονται για την στάση του σώματος, την λειτουργική ικανότητα και, τελικά, για την ψυχολογία του ασθενή και την ποιότητα ζωής.

Το μήκος των διαφραγματικών μυϊκών ινών του μπορεί βελτιωθεί με φυσικοθεραπευτικές τεχνικές και εξάσκηση που προάγουν τις ογκομετρικές μεταβολές. Άμεσες ενδείξεις αποτελούν αυτά τα ίδια τα αναπνευστικά προβλήματα.

Χρησιμοποιούνται μέσα όπως: ποδήλατο, εργομετρικό ποδήλατο, αναπνευστική διέγερση (με διαφορετικές αντιστάσεις που πρέπει να τις υπερβεί ο ασθενής κατά την αναπνοή).

Η εκπαίδευση του διαφράγματος εφαρμόζεται σε διάφορες παθολογίες, π.χ. καρδιοχειρουργικές επεμβάσεις, αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο, ενώ βελτιώνει

συμπτώματα όπως αυτά της γαστροοισοφαγικής παλλινδρομησης ή προάγει την ιδιοδεκτικότητα στην οσφυοϊερή περιοχή.(165)

Ακολούθως θα περιγράψουμε:

1. Μεθόδους δια χειρός αξιολόγησης της διαφραγματικής λειτουργίας
2. Την διδασκαλία της διαφραγματικής αναπνοής.
3. Από τις τεχνικές φυσικοθεραπευτικής παρέμβασης επιλέξαμε μεθόδους από: Manual Therapy, Ιδιοδέκτρια Νευρομυϊκή Διευκόλυνση (PNF) και Οστεοπαθητική, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την βελτίωση του εύρους κίνησης, την χαλάρωση και την ενδυνάμωση του μυός.

## 6.1. Τεχνικές ψηλάφησης

Η ανθρώπινη αφή μπορεί να διακρίνει οποιαδήποτε μικρή παραλλαγή, μετρήσιμη σε microns.(166) Με τεχνικές ψηλάφησης μπορούμε να ελέγξουμε την κινητικότητα και τη λειτουργία του μυός, προκειμένου να λάβουμε πρόσθετες κλινικές πληροφορίες πριν και μετά από την θεραπευτική προσέγγιση.

**Αξιολόγηση της κίνησης των πλευρών – Τεχνική 1<sup>η</sup>:** (167). Σε δυσλειτουργία του διαφράγματος, η πλευρική κίνηση είναι συνήθως περιορισμένη. Ο ασθενής βρίσκεται σε άνετη ύπτια θέση. Τα χέρια του θεραπευτή εφάπτονται με τα πλευρικά όρια, ώστε να υπάρξει ανατροφοδότηση με ψηλάφηση (palpatory feedback) της συμπεριφοράς των πλευρών κατά την αναπνοή (Εικόνα 25).

**Αξιολόγηση της κίνησης των πλευρών – Τεχνική 2<sup>η</sup>:** (167) Τα χέρια μπορούν να κρατηθούν στα πλευρικά όρια, πρόσθια, με τους αντίχειρες να βρίσκονται στο επίπεδο του ορίου και τα υπόλοιπα δάχτυλα στις άνω πλευρές. Δεδομένου ότι το διάφραγμα κατεβαίνει κατά την εισπνοή και ανεβαίνει κατά την εκπνοή, αυτή η θέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της διαφραγματικής μετατόπισης (Εικόνα 26).(38)



Εικόνα 25 Αξιολόγηση της κίνησης των πλευρών. Τεχνική 1ª.



Εικόνα 26 Αξιολόγηση της κίνησης των πλευρών. Τεχνική 2ª.

Οι παρακάτω θέσεις αφορούν στην αξιολόγηση μεμονωμένων τμημάτων του διαφράγματος: διαφραγματικό θόλο, οπισθοπλάγια περιοχή, περιοχή της ξιφοειδούς απόφυσης, μέσο και πλευρικό σύνδεσμο.

**Αξιολόγηση του διαφραγματικού θόλου:** (167) Για να εκτιμηθεί η κινητικότητα του θόλου, το αντιβράχιο του θεραπευτή βρίσκεται παράλληλα με την κοιλιά του ασθενούς, με το θέναρ και το υποθέναρ στο επίπεδο του πρόσθιου περιθωρίου του πλευρικού τόξου. Εφαρμόζεται μια ελαφρά ώθηση με κρανιακή κατεύθυνση, ώστε να γίνεται αισθητή η ελαστική απόκριση του ιστού, αμφοτερόπλευρα (Εικόνα 27). Η ελαστικότητα του ιστού είναι μειωμένη, όταν υπάρχει ελαττωμένη κίνηση ως απόκριση σε ένα ερέθισμα.



Εικόνα 27 Αξιολόγηση του διαφραγματικού θόλου.



Εικόνα 28 Αξιολόγηση της περιοχής της ξιφοειδούς απόφυσης.



Εικόνα 29 Αξιολόγηση των συνδέσμων.



Εικόνα 30 Αξιολόγηση των συνδέσμων.

**Αξιολόγηση της οπισθοπλάγιας περιοχής:** (167) Για να αξιολογηθεί η οπισθοπλάγια περιοχή, το χέρι διατηρεί την προηγούμενη θέση, αλλά με το αντιβράχιο να σχηματίζει γωνία  $45^\circ$  με την κοιλιά του ασθενούς. Ασκείται ελαφρά πίεση λοξά, ακολουθώντας τη γραμμή του αντιβραχίου. Το ίδιο επαναλαμβάνεται και στην άλλη πλευρά. Αυτό το τμήμα του διαφράγματος εμφανίζει μεγαλύτερη μετατόπιση κατά την αναπνοή και έχει πιο κάθετη κλίση σε σύγκριση με τους θόλους.(168)

**Αξιολόγηση της περιοχής της ξιφοειδούς απόφυσης:** (167) Με την αξιολόγηση της περιοχής της ξιφοειδούς απόφυσης εκτιμάται η ελαστικότητα του ιστού κατά την εισπνοή και την εκπνοή, η οποία είναι απαραίτητη για φυσιολογική αναπνοή. Η συγκεκριμένη περιοχή εμφανίζει συνήθως ακαμψία σε διαφραγματική δυσλειτουργία. Το χέρι και το αντιβράχιο τοποθετούνται όπως στην αξιολόγηση των θόλων, με την διαφορά ότι εφαρμόζεται μια ελαφριά ώθηση με κраниακή κατεύθυνση στην περιοχή κάτω από την ξιφοειδή απόφυση (Εικόνα 28).

**Αξιολόγηση των συνδέσμων:** (167) Αξιολογείται η ελαστικότητα της περιοχής Θ11-Ο4 της σπονδυλικής στήλης. Ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση. Ο θεραπευτής διατηρεί τις τελευταίες φάλαγγες των δακτύλων (του ενός ή και των δύο χεριών) στα μεσακάνθια διαστήματα των Θ11-Θ12. Με ελαφριά ώθηση προς τα άνω εξασφαλίζει μια παθητική έκταση του σπονδύλου, ώστε να εξαχθούν πληροφορίες για την ελαστικότητά του. Η ίδια τεχνική χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση των Ο1-Ο4.



Οι πλάγιοι σύνδεσμοι αξιολογούνται με έλξη της τελευταίας πλευράς. Στην αντίθετη πλευρά από αυτήν που αξιολογείται, το σώμα της πλευράς σταθεροποιείται με το ένα χέρι και εφαρμόζεται ήπια έλξη προς τον θεραπευτή.

Οι σύνδεσμοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη μηχανική της οσφυϊκής περιοχής, σε συνέργεια με τους μύες του κοιλιακού τοιχώματος και την θωρακοοσφυϊκή περιτονία.(169) Οι πλάγιοι σύνδεσμοι είναι επίσης σημαντικοί για τη διαχείριση της τάσης που επηρεάζει το διάφραγμα και την θωρακοοσφυϊκή περιτονία.(169)

**Δυσλειτουργία:** Ο θεραπευτής τοποθετεί τα χέρια του ραχιαία στις κατώτερες πλευρές με τους αντίχειρες δίπλα στη σπονδυλική στήλη και τα άλλα δάχτυλα σε κάθε πλευρά του θωρακικού κλωβού.(170) Στη συνέχεια ζητά από τον ασθενή μια βαθιά εισπνοή και παρατηρεί την συμμετρία στην κίνηση των χεριών του: σε σημαντική δυσλειτουργία του διαφράγματος, το ένα χέρι θα απομακρυνθεί από τη σπονδυλική στήλη περισσότερο από το άλλο (Εικόνα 31).(170)



Εικόνα 31 Διαπίστωση δυσλειτουργίας.

Άλλες ενδείξεις ανισοροπίας του διαφράγματος είναι (170):

- ο ασθενής παρουσιάζει μεγαλύτερη έξω στροφή στο ένα πόδι κατά την βάρδιση ή την στάση (υποδεικνύοντας πιθανή δυσλειτουργία του ψοίτη) και/ή
- περπατάει ή στέκεται με τον κορμό να κλίνει περισσότερο προς τη μία πλευρά (υποδεικνύοντας πιθανή ανισοροπία του τετράγωνου οσφυϊκού),
- επιπλέον, ίσως αναστενάζει συχνά, παρουσιάζει αναπνευστική δυσχέρεια ή/και δύσπνοια.

Η δομική θεραπεία απαιτεί μία ολιστική αξιολόγηση που ξεκινά από ανάλυση της στάσης και της βάρδισης. Ο υπερπηνητισμός του άκρου ποδός, όταν υπάρχει, είναι πιθανόν να προκαλέσει δυσλειτουργία του ψοίτη με επιπτώσεις στο διάφραγμα λόγω των συνδέσεών τους.(170) Επιπλέον, ο ψοίτης και ο τετράγωνος οσφυϊκός είναι καλό, να εξετάζονται για ενδογενή δυσλειτουργία. Το διάφραγμα συνδέεται επίσης με τον θωρακικό

κλωβό, οπότε οποιαδήποτε δυσλειτουργία της κίνησης των πλευρών πρέπει να αντιμετωπιστεί.(170)

Λόγω της εξόδου του φρενικού νεύρου από τα A3-A5 νευροτόμια, είναι σκόπιμο να ελέγχονται οι αντίστοιχοι αυχενικοί σπόνδυλοι και να ρυθμίζεται οποιαδήποτε δυσλειτουργία.(170) Παρόμοιος έλεγχος περιλαμβάνει και τους οσφυϊκούς σπονδύλους λόγω της σύνδεσής τους με το διάφραγμα, όπως και την σύνδεση της θωρακικής και της οσφυϊκής μοίρας της σπονδυλικής στήλης (Θ12-O1), περιοχή όπου συχνά η κίνηση είναι περιορισμένη με αντίκτυπο στο διάφραγμα.(170) Μία ολοκληρωμένη αξιολόγηση περιλαμβάνει και την λεκάνη, η οποία λειτουργεί ως βάση της σπονδυλικής στήλης και αν το θεμέλιο είναι "ραγισμένο", είναι πολύ δύσκολο για τα "πατώματα" να είναι σταθερά.(170)

Το διάφραγμα όπως κάθε σκελετικός μυς αντιμετωπίζεται άμεσα με μασάζ, ή με χειρισμούς.(170)

Ο κύριος σκοπός της δια χειρός αξιολόγησης είναι, να διαπιστωθεί τυχόν περιορισμός της κίνησης, προκειμένου να οργανωθεί ένα πλάνο θεραπείας επικεντρωμένης στην δυσλειτουργική περιοχή συνδυάζοντας την φυσικοθεραπευτική προσέγγιση με τη ιατρική διαδικασία αποκατάστασης.(167)

## **6.2. Φυσικοθεραπευτική διευκόλυνσης της διαφραγματικής λειτουργίας**

Η αναπνευστική αποκατάσταση βελτιώνει τη διαφραγματική κίνηση αμφοτερόπλευρα (ακτινοσκόπηση) σε ασθενείς με ΧΑΠ και βελτιώνει την απόδοση, τα δομικά και μεταβολικά χαρακτηριστικά του αναπνευστικού μυός (muscle strength [PI {max}, cm H<sub>2</sub>O]), την αντοχή στη φόρτιση (inspiratory threshold loading, kPa) την ικανότητα άσκησης (Borg scale for respiratory effort, modified Borg scale, work rate maximum, W), την δύσπνοια (transition dyspnea index).(171)(172)

### 6.2.1. Διδασκαλία διαφραγματικής αναπνοής

Η διδασκαλία της διαφραγματικής αναπνοής βοηθά τον ασθενή, να χρησιμοποιεί σωστά το διάφραγμα, ώστε να επιτευχθούν οι παρακάτω στόχοι(173):

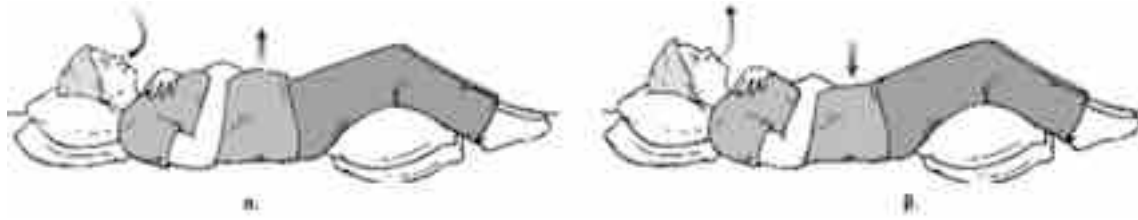
- ↳ Ενίσχυση του διαφράγματος.
- ↳ Εξάλειψη της δραστηριότητας των επικουρικών αναπνευστικών μυών.
- ↳ Αύξηση του αναπνεόμενου όγκου.
- ↳ Βελτίωση της κατανομής αερισμού των πνευμόνων.
- ↳ Βελτίωση του αερισμού.
- ↳ Βελτίωση της δύσπνοιας.
- ↳ Μείωση του αναπνευστικού ρυθμού.
- ↳ Μείωση του έργου της αναπνοής.
- ↳ Μείωση των επιπτώσεων των πνευμονικών επιπλοκών.

Οι διαφραγματικές ασκήσεις εφαρμόζονται έτσι ώστε να ενισχύουν τη διαφραγματική κάθοδο κατά την εισπνοή και την διαφραγματική άνοδο κατά τη λήξη της. Η διαφραγματική κάθοδος υποβοηθείται, όταν ο ασθενής κατευθύνεται προς τη σταδιακή πρόταση της κοιλιάς κατά την εισπνοή, ενώ η διαφραγματική άνοδος ενισχύεται κατευθύνοντας τον ασθενή να επιτρέψει την σταδιακή εισολκή της κοιλιάς ή να συστέλλει ενεργά τους κοιλιακούς μύες κατά την εκπνοή.(174)

Ο ασθενής παίρνει μια άνετη θέση, συνήθως  $\frac{1}{2}$  έως  $\frac{3}{4}$  ως προς την εδραία θέση(174) ή ύπτια. Οι γοφοί και τα γόνατα βρίσκονται σε ελαφριά κάμψη ώστε να χαλαρώσουν οι κοιλιακοί και οι ισchioκνημιαίοι μύες αντίστοιχα. Μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα roller ή ένα μαξιλάρι κάτω από τα γόνατα του ασθενή.

Τοποθετούμε το επικρατούν άκρο του ασθενούς στην περιοχή της άνω κοιλιακής χώρας κάτω από την ξιφοειδή απόφυση και το άλλο στο μέσο του στέρνου.

Ο θεραπευτής δίνει λεκτικές οδηγίες στον ασθενή, να εισπνεύσει αργά από την μύτη και να κατευθύνει τον αέρα στην κοιλιά, έτσι ώστε το κυρίαρχο χέρι να υψώνεται σταδιακά, καθώς η εισπνοή συνεχίζεται, επιστώντας την προσοχή να αποφύγει την υπερβολική κίνηση κάτω από το άλλο χέρι (Εικόνα 32).



Εικόνα 32 Πηγή: <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/9445-diaphragmatic-breathing>

Στην αρχή μπορεί να εφαρμοστεί απτική καθοδήγηση, με σταθερή πίεση πάνω στο κυρίαρχο χέρι του ασθενούς πριν την εισπνοή. Κατά την διάρκεια της εισπνοής μειώνεται σταδιακά η πίεση. Η απτική καθοδήγηση συνεχίζεται μέχρις ότου ο ασθενής εκτελέσει σωστά την άσκηση.

Ο θεραπευτής αυξάνει το επίπεδο δυσκολίας με τη διαδοχική αφαίρεση οπτικών, απτικών και ακουστικών οδηγιών και με την εκτέλεση της άσκησης σε εδραία θέση.

Κατά την εκπνοή εφαρμόζεται η «τεχνική της αναπνοής με σφιγμένα χείλη» και ενεργητική σύσπαση των κοιλιακών μυών. Καλούμε τον ασθενή να «ρουφήξει» προς τα μέσα την κοιλιά καθώς εκπνέει αργά μέσα από τα σφιγμένα του χείλη (Εικόνα 33).



Εικόνα 33 Πηγή: <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/9445-diaphragmatic-breathing>

Οδηγίες προς τον ασθενή:

- Πάρτε μια άνετη θέση, με τα γόνατά σας λυγισμένα και το κεφάλι, τον λαιμό και τους ώμους χαλαρά.
- Τοποθετήστε το κυρίαρχο χέρι πάνω στο στομάχι ακριβώς κάτω από το στήρνο και το άλλο χέρι στο κέντρο του στέρνου.
- Αναπνεύστε αργά με την μύτη σας (2 χρόνοι), ώστε το στομάχι σας να κινεί ήρεμα προς χέρι σας. Το χέρι στο στήθος πρέπει να ανασηκωθεί όσο το δυνατόν λιγότερο.
- Εκπνεύστε αργά μέσα από τα σφιγμένα σας χείλη (4 χρόνοι).

Ο ασθενής στην αρχή πιθανόν να παρουσιάσει κόπωση. Όταν εξοικειωθεί με την διαφραγματική αναπνοή και σε ύπτια και εδραία θέση, μπορούμε να εφαρμόσουμε την άσκηση στην όρθια θέση και κατά την βάδιση.

Η άσκηση εφαρμόζεται στην αρχή για 5-10 min με συχνά διαλείμματα, 3-4 φορές την ημέρα, αυξάνοντας σταδιακά τον χρόνο ή/και την προσπάθεια της άσκησης τοποθετώντας βάρος στην κοιλιά π.χ. ένα βιβλίο.(173)

Υπάρχει ασυμφωνία μεταξύ των δημοσιευμένων μελετών σχετικά με τις τεχνικές που πρέπει να χρησιμοποιούνται για τη διδασκαλία διαφραγματικής αναπνοής.

Αντένδειξη αποτελεί η παρουσίας παράδοξης αναπνοής, η επιδείνωση της δύσπνοιας και της κόπωσης κατά ή μετά την εξάσκηση, οπότε επιβάλλεται διακοπή ή τροποποίηση της άσκησης, π.χ. πιο όρθια θέση του σώματος ή κάμψη του κορμού.(175)

Οι διαφραγματικές ασκήσεις αναπνοής συνήθως συνδυάζονται με ασκήσεις χαλάρωσης, ώστε να περιοριστεί η περιττή μυϊκή δραστηριότητα, ιδιαίτερα αυτή των επικουρικών αναπνευστικών μυών.

Ως τεχνική χαλάρωσης προτείνεται η τεχνική Jacobson, ωστόσο αν και η χαλάρωση μπορεί να επιδρά θετικά στην γενική εικόνα ασθενούς, δεν έχουν αποδειχθεί τα αποτελέσματά της στην πνευμονική φυσιολογία.(176)

Η σύγχρονη φυσικοθεραπευτική προσέγγιση ωστόσο δεν αναφέρεται ειδικά στο διάφραγμα, αλλά αντιμετωπίζει τους εισπνευστικούς μύες ως λειτουργική ομάδα.

## 6.2.2. Manual Therapy

Το Manual Therapy περιλαμβάνει τεχνικές μυοπεριτονιακής απελευθέρωσης σε συνδυασμό με τα άλλα διαφράγματα του σώματος (cranial–cervical–pelvic diaphragm).(9)

Η τεχνική εφαρμόζεται με συνεχή αναδραστική ψηλάφηση για την απελευθέρωση των μυοπεριτονιακών ιστών, που επιτυγχάνεται με τη χαλάρωση των συσταλμένων μυών, αυξάνοντας την αιματική κυκλοφορία, βελτιώνοντας την λεμφική παροχέτευση και τονώνοντας την διαστολή τους.(167) Εφαρμόζεται ήπια έλξη ή επιμήκυνση και ελάχιστη σταθερή πίεση ή κινητοποίηση του κολλώδους ιστού. Ο θεραπευτής εφαρμόζει την τεχνική αργά σε όλα τα στρώματα της δυσλειτουργικής περιτονίας μέχρις ότου αποκατασταθεί στο βέλτιστο μήκος της.(177)

Σε ασθενείς με ΧΑΠ η θεραπευτική προσέγγιση ποικίλλει: κινητοποίηση της θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης, λεμφική αποστράγγιση ή αντλία, σημεία ενεργοποίησης διαφραγματικής απελευθέρωσης, μασάζ, τεχνικές κινητοποίηση των αρθρώσεων των πλευρών, μυϊκή επιμήκυνση.(178)

Από το Manual Therapy θα περιγράψουμε δύο τεχνικές (179).

**Η πρώτη τεχνική, «lift diaphragm»**, στόχο έχει να παράγει διάταση των περιφερειακών ινών του διαφράγματος: Ο ασθενής διατηρεί ύπτια άνετη θέση (Εικόνα 34). Ο θεραπευτής στέκεται πάνω από την κεφαλή του ασθενούς, εφαρμόζει κράτημα στο πλευρικό τόξο με τις άκρες των δακτύλων να σχηματίζουν καμπύλη. Ζητά από τον ασθενή να



Εικόνα 34 Lift diaphragm.

πάρει μια ελαφρώς ενισχυμένη αναπνοή και, κατά τη φάση της εισπνοής, ασκεί έλξη με κρανιακή κατεύθυνση. Στη φάση της εκπνοής διατηρεί αυτή την έλξη χωρίς να την αυξάνει και ούτω καθεξής, μέχρι να αντιληφθεί, ότι δεν είναι πλέον σε θέση να έλξει τους ιστούς. Στη συνέχεια ζητά μια απνευστική αναπνοή και συστολή της κοιλιάς, προς το τέλος της χαλαρώνει απαλά το πλευρικό τόξο. Η τεχνική εκτελείται δύο φορές σε κάθε πλευρά.

**Η δεύτερη** είναι τεχνική χαλάρωσης του διαφράγματος (180): Εκτελείται με τον ασθενή στην πρηνή θέση. Ο θεραπευτής στέκεται δίπλα του με το χέρι σε πρηνισμό στις τελευταίες πλευρές. Ακολουθώντας τον αναπνευστικό ρυθμό του ασθενούς, ο θεραπευτής εφαρμόζει πίεση με τα χέρια, τα οποία απομακρύνονται χωρίς ολίσθηση κατά την εκπνοή και χαλαρώνει την πίεση στη φάση της εισπνοής. Η τεχνική εκτελείται για ένα λεπτό σε κάθε πλευρά.

### **6.2.3. Τεχνικές Ιδιοδέκτριας Νευρομυϊκής Επανεκπαίδευσης-PNF**

Οι τεχνικές της μεθόδου PNF αφορούν στις περιοχές του στέρνου, των πλευρών και του διαφράγματος για την βελτίωση της εισπνοής, όπως και στους κοιλιακούς μύες για την ενίσχυση της αναγκαστικής εκπνοής. Στόχος είναι η κινητοποίηση του θώρακα, η κινητικότητα του κορμού και των ώμων, η ανακούφιση του πόνου, η χαλάρωση και η μείωση της σπαστικότητας.

- Η ευθυγράμμιση των χεριών είναι ιδιαίτερα σημαντική για την καθοδήγηση της δύναμης σύμφωνα με τη φυσιολογική κίνηση του θώρακα.
- Με την επιμήκυνση διευκολύνεται η έναρξη της εισπνοής.
- Εφαρμόζεται repeated stretch through range (Repeated Contraction) ως διευκόλυνση με στόχο την αύξηση του εισπνευστικού όγκου.
- Η κατάλληλη αντίσταση ενισχύει τους μύες και καθοδηγεί την κίνηση του θώρακα.
- Η παρεμπόδιση της κίνησης στην ισχυρότερη ή πιο κινητή πλευρά θα διευκολύνει τη δραστηριότητα στην περιορισμένη πλευρά.
- Η συμμετοχή του ασθενούς είναι χρήσιμη, όταν ο θεραπευτής εργάζεται στον έλεγχο της αναπνοής. Ο ασθενής εκτελεί τις αναπνευστικές ασκήσεις σε όλες τις θέσεις, με έμφαση στις λειτουργικές θέσεις.

Η περιγραφή των τεχνικών έγινε με οδηγό το βιβλίο των Susan S. Adler, Dominiek Beckers, Math Buck. PNF in Practice. (181)



Εικόνα 35 Ύπτια θέση. Τα χέρια του θεραπευτή στο στέρνο.



Εικόνα 36 Ύπτια θέση. Τα χέρια του θεραπευτή στις πλευρές.

### Ύπτια θέση

Ο θεραπευτής τοποθετεί τα δύο χέρια στο στέρνο και εφαρμόζει πίεση με κατεύθυνση προς τα κάτω (ουραία-ραχιαία, προς τον ιερό οστό) (Εικόνα 35).

Τα χέρια βρίσκονται στις κατώτερες πλευρές, τα δάχτυλα ακολουθούν τη γραμμή των πλευρών (Εικόνα 36). Εφαρμόζει πίεση με κατεύθυνση ουραία προς το μέσο.

Άσκηση των άνω πλευρών με τον ίδιο τρόπο, τοποθετώντας τα χέρια αμφοτερόπλευρα στον μείζονα θωρακικό μυ.

### Πλάγια θέση

Ο θεραπευτής τοποθετεί το ένα χέρι στο στέρνο, το άλλο πίσω για σταθεροποίηση. Ασκει πίεση.

Πλευρές: Τα χέρια είναι τοποθετημένα στην περιοχή του θώρακα που θα ασκηθεί. Εφαρμόζεται πίεση διαγώνια με ουραία-μέση κατεύθυνση ακολουθώντας την γραμμή των πλευρών, με τα δάχτυλα προς την ίδια κατεύθυνση (Εικόνα 37). Στην πλάγια θέση, η επιφάνεια στήριξης θα αντισταθεί στην κίνηση της κάτω πλευράς του θώρακα.



Εικόνα 37 Πλάγια θέση.



### Πρηγής θέση

Ο θεραπευτής τοποθετεί τα χέρια σε κάθε πλευρά του θώρακα πάνω από την περιοχή που θα ασκηθεί. Τα δάχτυλα ακολουθούν τη γραμμή των πλευρών (Εικόνα 38). Ασκεί πίεση ουραία κατά μήκος της γραμμής των πλευρών.



Εικόνα 38 Πρηγής θέση.

### Στήριξη στους αγκώνες

Ο θεραπευτής τοποθετεί το ένα χέρι στο στήρνο, το άλλο χέρι στη θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης στο ίδιο επίπεδο για σταθεροποίηση και εφαρμόζει πίεση με κατεύθυνση ραχιαία-ουραία (Εικόνα 39).



Εικόνα 39 Στήριξη στους αγκώνες.

### Διευκόλυνση του διαφράγματος

*Άμεση διευκόλυνση:* Ο θεραπευτής τοποθετεί τους αντίχειρες ή τα δάχτυλα κάτω από τον θωρακικό κλωβό, στο πλευρικό τόξο και ασκεί πίεση με κατεύθυνση πλάγια/κεφαλικά (Εικόνα 40α,β). Εφαρμόζει επιμήκυνση και αντίσταση στην κάθοδο του συσπασμένου διαφράγματος.

Οι κοιλιακοί μύες πρέπει να είναι χαλαροί ώστε να φθάσει ο θεραπευτής το διάφραγμα. Για τον λόγο αυτό ο ασθενής κάμπει τα ισχία, έτσι χαλαρώνουν και οι καμπτήρες του ισχίου.

*Έμμεση διευκόλυνση:* Ο θεραπευτής τοποθετεί τα χέρια πάνω από την κοιλιά και ζητάει από τον ασθενή να εισπνεύσει, ενώ ασκεί ήπια πίεση προς τα επάνω (Εικόνα 41).



*Εικόνα 40 Άμεση διευκόλυνση του διαφράγματος.*

Ο θεραπευτής τοποθετεί τα χέρια του πάνω από την ηβική σύμφυση και πιέζει το κοιλιακό περιεχόμενο ενάντια στην κίνηση του διαφράγματος. Ο ασθενής αναπνέει ενάντια της διατηρούμενης πίεσης του θεραπευτή. Ο θεραπευτής διδάσκει τον ασθενή να εκτελεί μόνος του την διευκόλυνση.



*Εικόνα 41 Έμμεση διευκόλυνση του διαφράγματος.*

## 6.2.4. Οστεοπαθητική

### 6.2.4.1. Ομαλοποίηση των σκελών του διαφράγματος

Ο στόχος της τεχνικής ομαλοποίησης των διαφραγματικών σκελών είναι η χαλάρωση της τάσης και εφαρμόζεται ως εξής (182):

Ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση με τα ισχία σε κάμψη για να χαλαρώσει το κοιλιακό τοίχωμα και να διευκολυνθεί ο χειρισμός. Ο θεραπευτής στέκεται στο πλάι.

Το ένα χέρι του είναι τοποθετημένο οπίσθια και κάθετα προς τον άξονα της σπονδυλικής στήλης με τα δάχτυλα να αγκιστρώνουν τις ακανθώδεις αποφύσεις (δείκτης στον Θ12, μέσος στον Ο1, παράμεσος στον Ο2 και μικρό δάχτυλο στον Ο3).

Το άλλο χέρι προσεγγίζει το χονδροπλευρικό τόξο με τις άκρες των δακτύλων να δείχνουν πλευρικά και τον αντίχειρα στον διαφραγματικό θόλο (κάτω από το τόξο) και το πιέζει πλευρικά, ενώ ο αντίχειρας βαθαίνει κάτω από το τόξο, θέτοντας τον θόλο σε τάση (Εικόνα 42).

Το κάτω χέρι σταθεροποιεί τις ακανθώδεις αποφύσεις, για να μην περιστρέφονται. Ο θεραπευτής διατηρεί την τάση μέχρι να νοιώσει τους ιστούς χαλαρούς.

Επειδή τα σκέλη του διαφράγματος συνδέονται με τους Ο2/Ο3, τον μείζονα ψοΐτη και τον τετράγωνο οσφυϊκό και σχηματίζουν τους μυϊκούς βραχίονες που περιβάλλουν το οισοφαγικό τρήμα, η χαλάρωση τους βελτιώνει την μηχανική τους σχέση με τις παραπάνω δομές προάγοντας την καλή τους λειτουργία.



Εικόνα 42 Ομαλοποίηση των σκελών.

#### **6.2.4.2. Εξισορρόπηση των διαφραγμάτων**

Το διάφραγμα αντιμετωπίζεται ως μέρος ενός συστήματος τριών διαφραγμάτων: του θωρακοκοιλιακού, του πυελικού και του θωρακοτραχηλικού διαφράγματος. Έτσι, η τεχνική αυτή στοχεύει στην αποκατάσταση της κινητικότητάς τους και της μεταξύ τους αρμονικής λειτουργίας.

Η τεχνική εφαρμόζεται ως εξής (182):

Ο ασθενής βρίσκεται σε ύπτια θέση με τα άκρα χαλαρά. Ο θεραπευτής βρίσκεται δίπλα στον ασθενή:

1. πυελικό διάφραγμα: το ένα χέρι βρίσκεται κάτω από τον ιερό οστό και το άλλο χέρι ακριβώς πάνω από το ηβικό οστό,

2. θωρακοκοιλιακό διάφραγμα: το ένα χέρι βρίσκεται κάτω από τους σπονδύλους Θ12 - Ο2 και το άλλο χέρι βρίσκεται στο επιγάστριο,

3. το τραχηλοθωρακικό διάφραγμα: το ένα χέρι βρίσκεται κάτω από τους σπονδύλους Θ1-Θ3 και το άλλο χέρι βρίσκεται στην λαβή του στέρνου.

Για κάθε ένα από τα 3 διαφράγματα, ο θεραπευτής αισθάνεται τους ιστούς και, εάν είναι απαραίτητο, προάγει την ομαλοποίηση σύμφωνα με την κινητικότητα του ιστού.

Η αντίληψη της ομαλοποίησης των ιστών είναι προσωπική και μπορεί να γίνει αισθητή ως χαλάρωση των ιστών ή συγχρονισμός των κινήσεων μεταξύ των χεριών.

#### **6.2.4.3. Τεχνική για την διαφραγματοκλήση**

Ο στόχος της τεχνικής είναι η μείωση του σπασμού στον κατώτερο οισοφαγικό σφιγκτήρα και εφαρμόζεται ως εξής (182):

Ο ασθενής βρίσκεται σε εδραία θέση με την θωρακική μοίρα της σπονδυλικής στήλης σε ελαφρά κυφωτική θέση.

Ο θεραπευτής στέκεται πίσω από τον ασθενή, περνάει τα χέρια του κάτω από τους βραχίονες του ασθενούς και στηρίζει την πλάτη του ασθενούς με το στέρνο του στο ύψος των θωρακικών σπονδύλων T4 έως T8.



*Εικόνα 43 Τεχνική για την διαφραγματοκλήση*

Τοποθετεί τις άκρες του δεύτερου έως τέταρτου δακτύλου και των δύο χεριών στην επιγαστρία ζώνη, στραμμένα προς τα πάνω.

Κατά την εκπνοή, ο θεραπευτής ασκεί πίεση στους ιστούς κάτω από τα δάκτυλά του και ζητά από τον ασθενή να ισιώσει την πλάτη του και να κρατήσει το κεφάλι του σε κάμψη ενώ ο θεραπευτής αυξάνει τη στήριξη στην πλάτη του ασθενούς (Εικόνα 43).

Κατά την εισπνοή ο θεραπευτής χαλαρώνει ελαφρώς την πίεση και συνεχίζει τον χειρισμό στην επόμενη εκπνοή. Η τεχνική εφαρμόζεται 3 ή 4 φορές.

Η συγκεκριμένη τεχνική μειώνει τον σπασμό των λείων μυών, δρώντας στους μηχανικούς υποδοχείς μέσω μιας θεωρητικής οισοφαγικής διάτασης που προωθείται από τον ελιγμό, προκαλώντας χαλάρωση των μυών.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ομαλή και εύρυθμη διαφραγματική λειτουργία είναι κρίσιμη και σημαντική όχι μόνο για την αναπνοή και τους ασθενείς με αναπνευστικά νοσήματα, αλλά για άλλες λειτουργίες και συστήματα του οργανισμού.

1. Το διάφραγμα δεν είναι μόνο αναπνευστικός μυς αλλά ενεργοποιείται εκούσια ανεξάρτητα από την αναπνοή.
2. Βοηθά στην κινητοποίηση των πλευρών, της οσφυϊκής και της θωρακικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης.
3. Αποτελεί σημαντικό παράγοντα που συντελεί στην δυναμική σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης και στην κεντρική σταθερότητα (core stability).
4. Συνεργάζεται με τους κοιλιακούς, τους μύες του πυελικού εδάφους και τον πολυσχιδή, παρέχοντας προετοιμασία και υποστήριξη πριν από την έναρξη και κατά την διάρκεια της κίνησης των άνω ή/και κάτω άκρων και του κορμού.
5. Η εξάσκηση του διαφράγματος και η σωστή λειτουργία του μπορεί να συμβάλλει στην μείωση της ακράτειας και της οσφυαλγίας.
6. Η διαφραγματική αναπνοή προάγει την χαλάρωση του νευρικού και μειώνει την αντίληψη του πόνου, ιδιαίτερα του πυελικού άλγους.
7. Η διαφραγματική λειτουργία βελτιώνει την λειτουργία του κυκλοφορικού και λεμφικού συστήματος.

Μία δομική θεραπεία απαιτεί από τον φυσικοθεραπευτή ολιστική προσέγγιση του προβλήματος, και είναι καλό να λαμβάνεται υπόψιν το διάφραγμα, ως μέρος ενός συστήματος, αυτού του ίδιου του οργανισμού.

Η εκπαίδευση και εξάσκηση του διαφράγματος είναι ίσως σημαντικό να περιλαμβάνεται σε πολλά κλινικά σενάρια.

## ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bordoni B, Marelli F. Failed back surgery syndrome: Review and new hypotheses. *J Pain Res.* 2016;9:17–22.
2. Kitaoka H, Chihara K. The diaphragm: a hidden but essential organ for the mammal and the human. *Adv Exp Med Biol.* 2010;669:167–71.
3. Bordoni B, Marelli F, Bordoni G. A review of analgesic and emotive breathing: A multidisciplinary approach. *J Multidiscip Healthc.* 2016;9:97–102.
4. Kinsinger S. How Breathing Exercises Relieve Stress and Improve Digestive Health . December 15, 2017. <https://www.loyolamedicine.org/blog/breathing-stress-improve-digestive>
5. Rimensberger P. The diaphragm-arguably, our most important muscle! 2018. <http://osteopathywoolwich.com/news/looking-after-yourself/the-diaphragm-arguably-our-most-important-muscle/>
6. Pateman N. An osteopath speaks on the diaphragm . August 2. 2013. <https://www.naturmend.com/blog/2013/08/02/an-osteopath-speaks-on-the-diaphragm/>
7. Zelano C, Jiang H, Zhou G, Arora N, Schuele S, Rosenow J, et al. Nasal Respiration Entrain Human Limbic Oscillations and Modulates Cognitive Function. *J Neurosci* 2016;36(49):12448–67. <http://www.jneurosci.org/lookup/doi/10.1523/JNEUROSCI.2586-16.2016>
8. Perry P. How we breathe affects our thoughts and emotions, Northwestern researchers find . <https://bigthink.com>
9. Bordoni B, Zanier E. The continuity of the body: hypothesis of treatment of the five diaphragms. *J Altern Complement Med.* 2015 Apr;21(4):237–42.
10. Hellman D. The Four Diaphragms. Sep 3. 2014. <http://hellmanholistichealth.com/2014/09/03>.
11. Ikivesi.net. Acupuncture and Diaphragm . <https://ikivesi.net/acupuncture-and-diaphragm/>
12. Derenne -Ph. J, Debru A, Grassino AE, Whitelaw WA. History of diaphragm physiology: The achievements of Galen. *Eur Respir J.* 1995;8(1):154–60.
13. Ομήρου. Θ, 124. In: Monro, DB, Allen T, editor. *Ιλιάς* . Oxford; 1920. <http://www.mikrosapoplous.gr>
14. Ομήρου. Κ, 45. In: Monro, DB, Allen T, editor. *Ιλιάς* . Oxford; 1920. <http://www.mikrosapoplous.gr>
15. Ομήρου. Π 479-481. In: Monro, DB, Allen T, editor. *Ιλιάς* . Oxford; 1920. <http://www.mikrosapoplous.gr>
16. ΠΛΑΤΩΝ. ΤΙΜΑΙΟΣ 70a, Εισαγωγή-μετάφραση-σχόλια Κάλφρας Βασίλης. 3rd ed. Αθήνα: Βιβλιοπωλείον της «Εστίας» Ι.Δ. Κολλάρου & ΣΙΑ Α.Ε.; 2013. 84 p.
17. ΠΛΑΤΩΝ. ΤΙΜΑΙΟΣ 70d, Εισαγωγή-μετάφραση-σχόλια Κάλφρας Βασίλης. 3rd ed. Αθήνα: Βιβλιοπωλείον της «Εστίας» Ι.Δ. Κολλάρου & ΣΙΑ Α.Ε.; 2013. 84 p.
18. ΠΛΑΤΩΝ. ΤΙΜΑΙΟΣ 70d-e, Εισαγωγή-μετάφραση-σχόλια Κάλφρας Βασίλης. 3rd ed. Αθήνα: Βιβλιοπωλείον της «Εστίας» Ι.Δ. Κολλάρου & ΣΙΑ Α.Ε.; 2013. 84 p.
19. Αριστοτέλους. Περί άναπνοής, ΚΑ΄, 2. In: Μικρά φυσικά. elifrac; 2008. p. 194.
20. Γαληνός. Περί χρείας τών εν άνθρωπου σώματι μορίων, Λόγος Ε΄. In: Kühn KG, editor. *Claudii Galeni opera omnia*, Vol III. Lipsiae: C. Cnobloch; 1822. p. 398.
21. Sewall H, Pollard ME. On the Relations of Diaphragmatic and Costal Respiration, with particular reference to Phonation. *J Physiol* . 1890 Mar;11(3):159–264.1. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1514211/>
22. Lambertz M, Shelton CD, Spindler F, Perry SF. A caseian point for the evolution of a diaphragm homologue among the earliest synapsids. *Ann N Y Acad Sci.* 2016 Dec;1385(1):3–20.
23. Joyce W. An ancient origin for the diaphragm. *J Exp Biol.* 2017 Mar 1;220(5):737 LP-737. <http://jeb.biologists.org/content/220/5/737.abstract>
24. Hirasawa T, Kuratani S. A new scenario of the evolutionary derivation of the mammalian diaphragm from shoulder muscles. *J Anat.* 2013 May;222(5):504–17.
25. Brink AS. Speculations on some advanced mammalian characteristics in the higher mammal-like reptiles. *Palaeont afr Johannesbg.* 1956;4:77–96.
26. Moore LK. Κοιλότητες σώματος, Μεσεντέρια και Διάφραγμα: Διάπλαση του Διαφράγματος. In: Η ανθρώπινη διάπλαση Εμβρυολογία κλινικού προσανατολισμού. Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης; 2009. p. 632.
27. Pansky B. Review of MEDICAL EMBRYOLOGY, PART II, Chapter 48: Development of The Diaphragm . <https://discovery.lifemapsc.com/library/review-of-medical-embryology>
28. Μοκάλη-Βεντούρη, Μ ΝΒ. Αναισθησία στα Νεογνά. Θέματα αναισθησιολογίας και εντατικής ιατρικής . 2000;10.20:72–81. <https://anesthesia.gr/themata/teuxi/1020-2000/>
29. Macfarlane F. Paediatric anatomy and physiology and the basics of paediatric anaesthesia. *AneaesthesiaUk* . 2006;7. <http://www.frca.co.uk/article.aspx?articleid=100544>

30. Μαθιουδάκης ΑΓ. Θεματολόγιο Πνευμονολογίας: Αναπνεόμενος όγκος, tidal volume, VT . <http://respi-gam.net/node/3108>
31. Perry SF, Similowski T, Klein W, Codd JR. The evolutionary origin of the mammalian diaphragm. *Respir Physiol Neurobiol* . 2010;171(1):1–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resp.2010.01.004>
32. Kobesova A, Kolar P. Developmental kinesiology: Three levels of motor control in the assessment and treatment of the motor system. *J Bodyw Mov Ther* . 2014;18(1):23–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.04.002>
33. Frank C, Kobesova A, Kolar P. Dynamic neuromuscular stabilization & sports rehabilitation. *Int J Sports Phys Ther* 2013;8(1):62–73.
34. Devlieger H, Daniels H, Marchal G, Moerman P, Casaer P, Eggermont E. The diaphragm of the newborn infant: anatomical and ultrasonographic studies. *J Dev Physiol*. 1991 Dec;16(6):321–9.
35. Rimensberger P. *Pediatric and Neonatal Mechanical Ventilation: From Basics to Clinical Practice*. Springer; 2015.
36. Whitbourne, K S, Griffin JI. Diaphragmatic paralysis in the newborn. 2011. <https://somepomed.org/articulos/contents/mobipreview.htm?33/61/34783?source=HISTORY>
37. Rehan VK, Nakashima JM, Gutman A, Rubin LP, McCool FD. Effects of the supine and prone position on diaphragm thickness in healthy term infants. *Arch Dis Child*. 2000 Sep;83(3):234–8.
38. Bordoni B, Zanier E. Anatomic connections of the diaphragm: influences of respiration on the body system. *J Multidiscip Healthc*. 2013;6:281–91.
39. Platzer W. Εγχειρίδιο περιγραφικής ανατομικής, τόμ. Ι, Κινητικό σύστημα. ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π. Χ. ΠΑΣΧΑΛΙΔΗΣ; 2009. 476 p.
40. Σιγάλας, Ι, Βασιλακόπουλος, Θ, Ζακυνθινός Σ. Φυσιολογία των αναπνευστικών μυών. In: Φυσιολογία αναπνευστικού συστήματος. Αθήνα: ΕΠΕ; 2006. p. 81–96. <http://www.hts.org.gr>
41. Young RL, Page AJ, Cooper NJ, Frisby CL, Blackshaw LA. Sensory and motor innervation of the crural diaphragm by the vagus nerves. *Gastroenterology*. 2010 Mar;138(3):1091–5.
42. Niedringhaus M, Jackson PG, Evans SRT, Verbalis JG, Gillis RA, Sahibzada N. Dorsal motor nucleus of the vagus: a site for evoking simultaneous changes in crural diaphragm activity, lower esophageal sphincter pressure, and fundus tone. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2008 Jan;294(1):R121-31.
43. Μαυρουδής Ι. Το Εγκεφαλικό Στέλεχος, Γνωσιακή Βάση Νευρολογίας . Απρίλιος 30. 2015. <https://myneurology.eu/archives/574>
44. Rochester DF. The diaphragm: Contractile properties and fatigue. *J Clin Invest*. 1985;75(5):1397–402.
45. Lauralee S. Εισαγωγή στη Φυσιολογία του Ανθρώπου, από τα κύτταρα στα συστήματα. 8th ed. Αλεξανδρούπολη: Ακαδημαϊκές Εκδόσεις Ι. Μπάσδρα και ΣΙΑ Ο.Ε.; 2016. 1024 p.
46. Corda M, Von Euler C, Lennerstrand G. Proprioceptive innervation of the diaphragm. *J Physiol*. 1965;178(1):161–77.
47. Smith K, Laura, Weiss L, Elizabeth LLD. Brunnstrom’s Κλινική Κινησιολογία, Μετάφραση-Επιμέλεια Δρ Δημήτριος Μανδαλίδης. 5th ed. Αθήνα: Επιστημονικές Εκδόσεις ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ; 2005. 554 p.
48. Karanji ΙΑ. Λειτουργική ανατομική των αρθρώσεων - τόμ. ΙΙΙ: ο κορμός & η σπονδυλική στήλη. Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης; 2001. 260 p.
49. Σιαφάκας, ΝΜ, Γαβρηλίδης Π. Κινητικότητα του θωρακικού τοιχώματος. In: Φυσιολογία του αναπνευστικού συστήματος . Αθήνα: Ελληνική Πνευμονολογική Εταιρεία; 2006. p. 177–206. <http://www.hts.org.gr>
50. Moore, L K, Dalley, F A, Agur MRA. *Clinically Oriented Anatomy*. 6th ed. Philadelphia: Philadelphia Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins 2010; 2010. xxix, 1134.
51. Boriek AM. Shape and tension distribution of the active canine diaphragm. *AJP Regul Integr Comp Physiol* . 2004;288(4):R1021–7. <http://ajpregu.physiology.org/cgi/doi/10.1152/ajpregu.00499.2003>
52. Loring SH, Mead J. Action of the diaphragm on the rib cage inferred from a force-balance analysis. *J Appl Physiol*. 1982 Sep;53(3):756–60.
53. Estenne M, De Troyer A. Mechanism of the postural dependence of vital capacity in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1987 Feb;135(2):367–71.
54. Pettiaux N, Cassart M, Paiva M, Estenne M. Three-dimensional reconstruction of human diaphragm with the use of spiral computed tomography. *J Appl Physiol*. 1997 Mar;82(3):998–1002.
55. Petroll WM, Knight H, Rochester DF. Effect of lower rib cage expansion and diaphragm shortening on the zone of apposition. *J Appl Physiol*. 1990 Feb;68(2):484–8.
56. Cluzel P, Similowski T, Chartrand-Lefebvre C, Zelter M, Derenne JP, Grenier PA. Diaphragm and chest wall: assessment of the inspiratory pump with MR imaging-preliminary observations. *Radiology*. 2000 May;215(2):574–83.
57. Hamilton, N, Weimar, W, Luttgens K. Κινησιολογία: Επιστημονική Βάση της Ανθρώπινης Κίνησης (12η έκδοση). Γιόφτσος Γ, editor. ΠΑΡΙΣΙΑΝΟΥ Α.Ε.; 2013. 608 p.



58. Boyd W, Blincoe H, Hayner JC. Sequence of action of the diaphragm and quadratus lumborum during quiet breathing. *Anat Rec* . 151(4):579–81. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ar.1091510408>
59. Kocjan J, Adamek M, Gzik-Zroska B, Czyzewski D, Rydel M. Network of breathing. Multifunctional role of the diaphragm: a review. *Adv Respir Med*. 2017;85(4):224–32.
60. Stone C. *Science in the Art of Osteopathy* . 4th ed. Vol. 88. Cheltenham: Stanley Thornes (Publishers) Ltd; 2002. 378 p. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031940605607523>
61. Andrew ST. *Philosophy of osteopathy*. Kirksville: A. T. Still, Kirksville, Mo; 1899. 288 p.
62. Bary F, Beaudoin S, Barbet P. Fetal lung growth in congenital diaphragmatic hernia. *Fetal Diagn Ther*. 2006;21(1):39–44.
63. Takasaki Y, Arai T. Transient right phrenic nerve palsy associated with central venous catheterization. *Br J Anaesth* . 2001;87(3):510–1. <http://dx.doi.org/10.1093/bja/87.3.510>
64. Takeda R, Remmers JE, Baker JP, Madden KP, Farber JP. Postsynaptic potentials of bulbar respiratory neurons of the turtle. *Respir Physiol*. 1986 May;64(2):149–60.
65. Similowski T, Attali V, Bensimon G, Salachas F, Mehiri S, Arnulf I, et al. Diaphragmatic dysfunction and dyspnoea in amyotrophic lateral sclerosis. *Eur Respir J*. 2000;15(2):332–7.
66. Wilcox PG, Pardy RL. Diaphragmatic weakness and paralysis. *Lung*. 1989;167(6):323–41.
67. Schoenhofer B, Koehler D, Polkey MI. Influence of immersion in water on muscle function and breathing pattern in patients with severe diaphragm weakness. *Chest* 2004;125(6):2069–74.
68. Kolář P, Neuwirth J, Šanda J, Suchánek V, Svatá Z, Volejník J, et al. Analysis of diaphragm movement during tidal breathing and during its activation while breath holding using MRI synchronized with spirometry. *Physiol Res*. 2009;58(3):383–92.
69. Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol*. 2001;537(3):999–1008.
70. Vostatek P, Novák D, Rychnovský T, Rychnovská Š. Diaphragm Postural Function Analysis Using Magnetic Resonance Imaging. *PLoS One*. 2013;8(3).
71. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, Hermans G, Troosters T, Gayan-Ramirez G. Greater diaphragm fatigability in individuals with recurrent low back pain. *Respir Physiol Neurobiol*. 2013 Aug;188(2):119–23.
72. Skladal J, Skarvan K, Ruth C M V. A propos de l'activité posturale du diaphragme chez l'homme. *J Physiol*. 1969;61 (Suppl).
73. Hemborg B, Moritz U, Lowing H. Intra-abdominal pressure and trunk muscle activity during lifting. IV. The causal factors of the intra-abdominal pressure rise. *Scand J Rehabil Med*. 1985;17(1):25–38.
74. Hodges PW, Butler JE MD. Contraction of the human diaphragm during postural adjustments. *J Physiol*. 1997;505:239–48.
75. Ebenbichler GR, Oddsson LIE, Kollmitzer J, Erim Z. Sensory-motor control of the lower back: Implications for rehabilitation. *Med Sci Sports Exerc*. 2001 Nov;33(11):1889–98.
76. Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *J Physiol*. 2000;522(1):165–75.
77. Hodges PW, Sapsford R, Pengel LHM. Postural and respiratory functions of the pelvic floor muscles. *NeuroUrol Urodyn*. 2007;26(3):362–71.
78. Aruin AS, Latash ML. Directional specificity of postural muscles in feed-forward postural reactions during fast voluntary arm movements. *Exp Brain Res*. 1995;103(2):323–32.
79. Hodges P. Lumbopelvic stability: A functional model of the biomechanics and motor control. *Therapeutic Exercise for Lumbopelvic Stabilization*. 2004.
80. Chan CLH, Ponsford S, Swash M. The anal reflex elicited by cough and sniff: Validation of a neglected clinical sign. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2004;75(10):1449–51.
81. Hodges PW, Eriksson AEM, Shirley D, Gandevia SC. Intra-abdominal pressure increases stiffness of the lumbar spine. *J Biomech*. 2005 Sep;38(9):1873–80.
82. Hodges PW, Cresswell AG, Daggfeldt K, Thorstensson A. In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the human spine. *J Biomech* . 2001 Mar 1;34(3):347–53. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)00206-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)00206-2)
83. Janssens L, Brumagne S, Polspoel K, Troosters T, McConnell A. The effect of inspiratory muscles fatigue on postural control in people with and without recurrent low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010 May;35(10):1088–94.
84. Peeters, L, Lason G. *Diaphragm and Core Stability* . Jan 3. 2015. p. 7. <https://www.slideshare.net/AcademyOsteopathy/diaphragm-and-posture>
85. Kibler W Ben, Press J, Sciascia A. The role of core stability in athletic function. *Sports Med*. 2006;36(3):189–98.

86. Putnam CA. Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations. *J Biomech.* 1993;26(SUPPL. 1):125–35.
87. Cholewicki J, Juluru K, McGill SM. Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *J Biomech.* 1999 Jan;32(1):13–7.
88. Cresswell AG, Oddsson L, Thorstensson A. The influence of sudden perturbations on trunk muscle activity and intra-abdominal pressure while standing. *Exp Brain Res.* 1994;98(2):336–41.
89. Hodges PW. Core stability exercise in chronic low back pain. *Orthop Clin North Am.* 2003 Apr;34(2):245–54.
90. McGill, SM, Norman R. Reassessment of the role of intra-abdominal pressure in spinal compression. *Ergonomics.* 1987 Nov 1;30(11):1565–88. <https://doi.org/10.1080/00140138708966048>
91. Zattara M, Bouisset S. Posturo-kinetic organisation during the early phase of voluntary upper limb movement. 1 Normal subjects. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1988;51(7):956–65.
92. Jensen BR, Laursen B, Sjogaard G. Aspects of shoulder function in relation to exposure demands and fatigue - a mini review. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2000;15 Suppl 1:S17-20.
93. Young JL, Herring SA, Press JM, Casazza BA. The influence of the spine on the shoulder in the throwing athlete. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 1996 Jan;7(1):5–17.
94. Shirley D, Hodges PW, Eriksson AEM, Gandevia SC. Spinal stiffness changes throughout the respiratory cycle. *J Appl Physiol.* 2003;95(4):1467–75. <http://jap.physiology.org/lookup/doi/10.1152/jappphysiol.00939.2002>
95. Bartelink DL. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. *J Bone Joint Surg Br.* 1957 Nov;39-B(4):718–25.
96. Lee DG, Lee LJ, McLaughlin L. Stability, continence and breathing: the role of fascia following pregnancy and delivery. *J Bodyw Mov Ther.* 2008 Oct;12(4):333–48.
97. Gibbons S. Assessment and rehabilitation of the stability function of psoas major. Vol. 11, *manuelletherapie.* 2007. 177-187 p.
98. Haugstad GK, Haugstad TS, Kirste UM, Leganger S, Wojniusz S, Klemmetsen I, et al. Posture, movement patterns, and body awareness in women with chronic pelvic pain. *J Psychosom Res.* 2006 Nov;61(5):637–44.
99. FitzGordon J. On the level with the psoas and the diaphragm.
100. Τσιόκανος Α. Κινησιολογία Ενότητα 9: Κάτω άκρο - ισχίο . <http://eclass.uth.gr>
101. Perry SF, Carrier DR. The coupled evolution of breathing and locomotion as a game of leapfrog. *Physiol Biochem Zool.* 2006;79(6):997–9.
102. Ainsworth DM, Smith CA, Eicker SW, Ducharme NG, Henderson KS, Snedden K, et al. Pulmonary-locomotory interactions in exercising dogs and horses | Paper presented at the conference on 'Neural Control of Breathing: Molecular to Organismal Perspectives', Madison, WI, July 21–25, 1996.1. *Respir Physiol* 1997;110(2):287–94.
103. Carrier DR. Function of the intercostal muscles in trotting dogs: ventilation or locomotion? *J Exp Biol.* 1996;199(Pt 7):1455–65. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8699153>
104. O'Sullivan P, Beales D. Changes in pelvic floor and diaphragm kinematics and respiratory patterns in subjects with sacroiliac joint pain following a motor learning intervention: A case series. Vol. 12, *Manual therapy.* 2007. 209-218 p.
105. Fukuda H, Fukai K. Postural change and straining induced by distension of the rectum, vagina and urinary bladder of decerebrate dogs. *Brain Res.* 1986 Aug;380(2):276–86.
106. Abe T, Kieser TM, Tomita T, Easton PA. Respiratory muscle function during emesis in awake canines. *J Appl Physiol.* 1994;76(6):2552–60. <https://doi.org/10.1152/jappl.1994.76.6.2552>
107. Higuchi T, Uchide K, Honda K, Negoro H. Pelvic neurectomy abolishes the fetus-expulsion reflex and induces dystocia in the rat. *Exp Neurol.* 1987 May;96(2):443–55.
108. Iscoe S. Control of abdominal muscles. *Prog Neurobiol.* 1998 Nov;56(4):433–506.
109. Miller DA. Respiratory muscle control during vomiting.
110. Mittal RK, Sivri B, Schirmer BD, Heine KJ. Effect of crural myotomy on the incidence and mechanism of gastroesophageal reflux in cats. *Gastroenterology.* 1993 Sep;105(3):740–7.
111. Kulur AB, Haleagrahara N, Adhikary P, Jegannathan PS. Effect of diaphragmatic breathing on heart rate variability in ischemic heart disease with diabetes. *Arq Bras Cardiol.* 2009 Jun;92(6):423–9.
112. Lee JS, Lee MS, Lee JY, Cornelissen G, Otsuka K, Halberg F. Effects of diaphragmatic breathing on ambulatory blood pressure and heart rate. *Biomed Pharmacother.* 2003 Oct;57 Suppl 1:87s–91s.
113. Roos M, Kobza R, Jamshidi P, Bauer P, Resink T, Schlaepfer R, et al. Improved cardiac performance through pacing-induced diaphragmatic stimulation: A novel electrophysiological approach in heart failure management? *Europace.* 2009;11(2):191–9.
114. D'Alonzo, G E, Krachman SL. Pulmonology. In: *Foundations for osteopathic medicine.* D'Alonzo GE, Krachman SL Pulmonology Ward, R C Foundations for osteopathic medicine Philadelphia Lippincott Williams & Wilkins 2011; 2011. p. 1156.

115. Kimura BJ, Dalugdugan R, Gilcrease GW 3rd, Phan JN, Showalter BK, Wolfson T. The effect of breathing manner on inferior vena caval diameter. *Eur J Echocardiogr.* 2011 Feb;12(2):120–3.
116. Byeon K, Choi J-O, Yang JH, Sung J, Park SW, Oh JK, et al. The Response of the Vena Cava to Abdominal Breathing. *J Altern Complement Med.* 2012;18(2):153–7. <https://doi.org/10.1089/acm.2010.0656>
117. Stauss HM. Heart rate variability. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2003 Nov;285(5):R927-31.
118. Bernardi L, Gabutti A, Porta C, Spicuzza L. Slow breathing reduces chemoreflex response to hypoxia and hypercapnia, and increases baroreflex sensitivity. *J Hypertens.* 2001 Dec;19(12):2221–9.
119. Abu-Hijleh MF, Habbal OA, Moqattash ST. The role of the diaphragm in lymphatic absorption from the peritoneal cavity. *J Anat.* 1995;186 ( Pt 3):453–67.
120. Shields JW. Lymph, lymph glands, and homeostasis. *Lymphology.* 1992 Dec;25(4):147–53.
121. McCool FD, Tzelepis GE. Dysfunction of the diaphragm. *N Engl J Med.* 2012 Mar;366(10):932–42.
122. Hyun JJ, Bak Y-T. Clinical Significance of Hiatal Hernia. *Gut Liver.* 2011;5(3):267–77.
123. Merrell AJ, Kardon G. Development of the diaphragm, a skeletal muscle essential for mammalian respiration. *Febs J.* 2013;280(17):1–15.
124. Schumpelick V, Steinau G, Schluper I, Prescher A. Surgical embryology and anatomy of the diaphragm with surgical applications. *Surg Clin North Am.* 2000 Feb;80(1):213–39, xi.
125. Butler MW, Stolar CJ, Altman RP. Contemporary management of congenital diaphragmatic hernia. *World J Surg.* 1993;17(3):350–5.
126. RR R, Loukas M, LJ S, DA M, P M. Ricketts RR, Loukas M, Skandalakis LJ, McClusky DA, Mirilas P. Chapter 58: Surgical Anatomy of the Diaphragm. In: *Mastery of Surgery*, 6th ed. Fischer JE (ed). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, pp. 718-736. 2012. 2011. 718-736 p.
127. Smith J, Ghani A. Morgagni hernia: incidental repair during laparoscopic cholecystectomy. *J Laparoendosc Surg.* 1995 Apr;5(2):123–5.
128. Karapasias N. Ύβωση ημιδιαφράγματος. 28.3.2006. <http://www.radiologyarchives.com/2016/03/eventration-of-diaphragm.html>
129. Ghribi A, Bouden A, Braiki M, Jabloun A, Sghairoun N, Gasmi M, et al. Diaphragmatic eventration in children. *Tunis Med.* 2015 Feb;93(2):76–8.
130. Saha S, Singh Bal H, Sen S. Spontaneous rupture of a congenital diaphragmatic eventration in an infant. *BMJ Case Rep.* 2015;2015.
131. Roman S, Kahrilas PJ. The diagnosis and management of hiatus hernia. *BMJ Br Med J.* 2014 Oct 23;349. <http://www.bmj.com/content/349/bmj.g6154.abstract>
132. Hood RM. Traumatic Diaphragmatic Hernia. *Ann Thorac Surg.* 1971;12(3):311–24. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975\(10\)65131-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-4975(10)65131-4)
133. Owen Kang, Umamaheswara, Reddy, V et al. Diaphragmatic paralysis. <https://radiopaedia.org/articles/diaphragmatic-paralysis-1%0D%0A>
134. Celli BR. Respiratory Management of Diaphragm Paralysis. *Semin Respir Crit Care Med.* 2002;23(03):275–82.
135. Πατάκας ΑΔ. ΚΠΑΠ. ΕΠΙΤΟΜΗ Πνευμονολογία . 2η. Θεσσαλονίκη: University Studio Press; 2006. 419 p. <http://www.ethorax.gr>
136. Κακάβελα ΠΗ. Συσχέτιση της αναπνευστικής λειτουργίας με τις κινητικές διαταραχές και την ποιότητα ζωή σε ασθενείς με παρκινσονισμό. Μακροχρόνια μελέτη. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη; 2008.
137. Roussos CS, Macklem PT. Diaphragmatic fatigue in man. *J Appl Physiol.* 1977 Aug;43(2):189–97.
138. Barreiro E, De La Puente B, Minguella J, Corominas JM, Serrano S, Hussain SNA, et al. Oxidative stress and respiratory muscle dysfunction in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005;171(10):1116–24.
139. Zergeroglu MA et al. Mechanical ventilation-induced oxidative stress in the diaphragm. *J Appl Physiol Bethesda Md.* 1985;95:1116–1124.
140. Simioni C, Zauli G, Martelli AM, Vitale M, Sacchetti G, Gonelli A, et al. Oxidative stress: role of physical exercise and antioxidant nutraceuticals in adulthood and aging. *Oncotarget.* 2018;9(24):17181–98. <http://www.oncotarget.com/fulltext/24729>
141. Τγγινάγκας Χ. Διαταραχές του μοντέλου αναπνοής, κινητικός έλεγχος και οσφυαλγία . Παρασκευή, 23 Μαΐου. 2014. <http://physio.gr/index.php/skepseis/item/376-diataraxes-tou-montelou-anapnois>
142. Caruana L, Petrie MC, McMurray JJ, MacFarlane NG. Altered diaphragm position and function in patients with chronic heart failure. *Eur J Heart Fail.* 2001;3:183–7.
143. Salito C, Luoni E, Aliverti A. Alterations of diaphragm and rib cage morphometry in severe COPD patients by CT analysis. *Conf Proc . Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Conf.* 2015;2015:6390–3.

144. Hellebrandová L, Chlumský J, Vostatek P, Novák D, Rýznarová Z, Bunc V. Airflow limitation is accompanied by diaphragm dysfunction. *Physiol Res*. 2016;65(3):469–79.
145. Baria MR, Shahgholi L, Sorenson EJ, Harper CJ, Lim KG, Strommen JA, et al. B-mode ultrasound assessment of diaphragm structure and function in patients with COPD. *Chest*. 2014;146(3):680–5.
146. Ottenheijm CAC, Heunks LMA, Dekhuijzen PNR. Diaphragm muscle fiber dysfunction in chronic obstructive pulmonary disease: toward a pathophysiological concept. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007 Jun;175(12):1233–40.
147. Smith MC, Wrobel JP. Epidemiology and clinical impact of major comorbidities in patients with COPD. *Int J Chron Obs Pulmon Dis*. 2014;9:871–88.
148. Pooler A, Beech R. Examining the relationship between anxiety and depression and exacerbations of COPD which result in hospital admission: a systematic review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* . 2014;9(1):315–30. <https://www.dovepress.com/examining-the-relationship-between-anxiety-and-depression-and-exacerba-peer-reviewed-fulltext-article-COPD>
149. Smith SMS, Sonogo S, Ketcheson L, Larson JL. A review of the effectiveness of psychological interventions used for anxiety and depression in chronic obstructive pulmonary disease. *BMJ Open Respir Res* . 2014;1(1):e000042. <http://bmjopenrespres.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmjresp-2014-000042>
150. Wearing J, Beaumont S, Forbes D, Brown B, Engel R. The Use of Spinal Manipulative Therapy in the Management of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review. *J Altern Complement Med* . 2016;22(2):108–14. <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/acm.2015.0199>
151. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*. 1992 Dec;5(4):383–9; discussion 397.
152. Paillard T. Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2012 Jan;36(1):162–76.
153. Hodges PW, Moseley GL. Pain and motor control of the lumbopelvic region: Effect and possible mechanisms. *J Electromyogr Kinesiol*. 2003;13(4):361–70.
154. O’Sullivan P. Diagnosis and classification of chronic low back pain disorders: maladaptive movement and motor control impairments as underlying mechanism. *Man Ther*. 2005 Nov;10(4):242–55.
155. Roussel NA, Nijs J, Mottram S, Van Moorsel A, Truijzen S, Stassijns G. Altered lumbopelvic movement control but not generalized joint hypermobility is associated with increased injury in dancers. A prospective study. *Man Ther*. 2009 Dec;14(6):630–5.
156. Bushby K, Finkel R, Birnkrant DJ, Case LE, Clemens PR, Cripe L, et al. Diagnosis and management of Duchenne muscular dystrophy, part 2: implementation of multidisciplinary care. *Lancet Neurol* . 2010 Feb 1;9(2):177–89. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(09\)70272-8](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(09)70272-8)
157. Faysoil A, Behin A, Ognia A, Mompoin D, Amthor H, Clair B, et al. Diaphragm: Pathophysiology and Ultrasound Imaging in Neuromuscular Disorders. *J Neuromuscul Dis*. 2018;5(1):1–10.
158. N Voyvoda, C Yücel, G Karataş, İ Oğuzülgen SO. An evaluation of diaphragmatic movements in hemiplegic patients. *Br J Radiol*. 2012;85(1012):411–4.
159. Similowski T, Catala M, Rancurel G, Derenne J. Impairment of Central Motor Conduction to the Diaphragm in Stroke. 1996;154:436–41.
160. Santamaria J RC. Diaphragmatic elevation in stroke. *Eur Neurol*. 1988;28(2):81–3.
161. Laroche CM, Mier AK, Moxham J, Green M. Diaphragm strength in patients with recent hemidiaphragm paralysis. *Thorax*. 1988;43(3):170–4.
162. Jung J, Kim N. The effect of progressive high-intensity inspiratory muscle training and fixed high-intensity inspiratory muscle training on the asymmetry of diaphragm thickness in stroke patients. *J Phys Ther Sci* . 2015;27(10):3267–9. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/27/10/27\\_jpts-2015-495/\\_article](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jpts/27/10/27_jpts-2015-495/_article)
163. Cecilia I, Almeida L De, Carla A, Ribeiro C, Henrique E, Rocha T, et al. Effects of hemiplegia on pulmonary function and diaphragmatic dome displacement &. *Respir Physiol Neurobiol*. 2011;178:196–201.
164. DeBurgh D. Interactions between respiration and circulation. In: Cherniack, N S; Widdicombe JG, editor. *Handbook of Physiology, Section 3: The Respiratory System, Vol II: Control of Breathing, Part 2*. Bethesda: Society American Physiological; 1986. p. 529–594.
165. Janssens L, McConnell AK, Pijnenburg M, Claeys K, Goossens N, Lysens R, et al. Inspiratory muscle training affects proprioceptive use and low back pain. *Med Sci Sports Exerc*. 2015 Jan;47(1):12–9.
166. Bordoni B, Zanier E. Sutherland’s Legacy in the New Millennium: The Osteopathic Cranial Model and Modern Osteopathy. *Adv Mind Body Med*. 2015;29:15–21.
167. Bordoni B, Marelli F, Morabito B, Sacconi B. Manual evaluation of the diaphragm muscle. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* . 2016 Aug 18;11:1949–56. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4993263/>
168. Roberts HC. Imaging the diaphragm. *Thorac Surg Clin*. 2009 Nov;19(4):431–50, v.

169. Vleeming A, Schuenke MD, Danneels L, Willard FH. The functional coupling of the deep abdominal and paraspinal muscles: The effects of simulated paraspinal muscle contraction on force transfer to the middle and posterior layer of the thoracolumbar fascia. *J Anat.* 2014;225(4):447–62.
170. D'Aquila R. The Diaphragm: A Hidden “Cause” of Low Back Pain . October 29. 2011. <https://robdaquila.com>
171. Chun EM, Han SJ, Modi HN. Analysis of diaphragmatic movement before and after pulmonary rehabilitation using fluoroscopy imaging in patients with COPD. *Int J COPD.* 2015;10:193–9.
172. Geddes EL, Reid WD, Crowe J, O'Brien K, Brooks D. Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. *Respir Med.* 2005;99(11):1440–58.
173. Clinic C. Diaphragmatic Breathing . <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/9445-diaphragmatic-breathing>
174. Irwin, Scot, Tecklin J. *Cardiopulmonary Physical Therapy.* 4th ed. 9th April 2004. Mosby; 2004. 496 p.
175. Cahalin LP, Braga M, Matsuo Y, Hernandez ED. Efficacy of diaphragmatic breathing in persons with chronic obstructive pulmonary disease: a review of the literature. *J Cardiopulm Rehabil.* 2002;22(1):7–21.
176. Huntley A, White AR EE. Relaxation therapies for asthma: a systematic review (Structured abstract). *Thorax .* 2002;57(2):127–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/o/cochrane/cldare/articles/DARE-12002000493/frame.html>
177. Bordoni B, Zanier E. Understanding fibroblasts in order to comprehend the osteopathic treatment of the fascia. *Evidence-based Complement Altern Med.* 2015;2015.
178. Heneghan NR, Adab P, Balanos GM, Jordan RE. Manual therapy for chronic obstructive airways disease: a systematic review of current evidence. *Man Ther.* 2012 Dec;17(6):507–18.
179. Rocha T, Souza H, Brandão DC, Rattes C, Ribeiro L, Campos SL, et al. The Manual Diaphragm Release Technique improves diaphragmatic mobility, inspiratory capacity and exercise capacity in people with chronic obstructive pulmonary disease: A randomised trial. *J Physiother.* 2015;61(4):182–9.
180. Kescia D, Peixoto A, Marizeiro DF, Carolina A, Florêncio L, Teles MD, et al. Manual therapy in diaphragm muscle : effect on respiratory muscle strength and chest mobility. 2016;(October):1–5.
181. Stephens J. *PNF in Practice .* Vol. 88, *Physiotherapy.* 2002. 249-250 p.
182. Diniz L, Nesi J, Curi A, Martins W, Diniz, LR, Nesi, J, Curi, AC, Martins W. Qualitative Evaluation of Osteopathic Manipulative Therapy in a Patient With Gastroesophageal Reflux Disease: A Brief Report. *J Am Osteopath Assoc .* 2014 Mar;114(03):180–8. <http://jaoa.org/article.aspx?doi=10.7556%2Fjaoa.2014.036>