

## ΔΟΜΗ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΕΣΟΣΠΟΝΔΥΛΙΟΥ ΔΙΣΚΟΥ

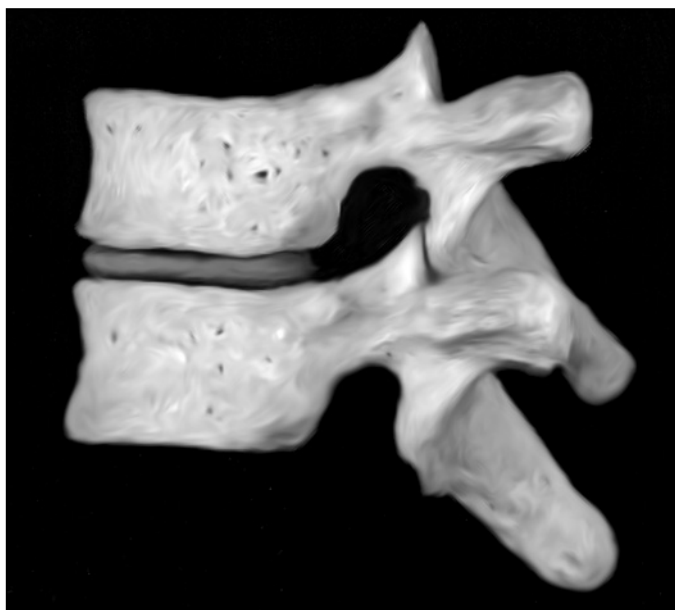
**N. ΖΕΡΒΑΚΗΣ  
Γ. ΣΑΠΚΑΣ**

Αν απομονώσουμε μια σπονδυλική μονάδα, θα διαπιστώσουμε ότι η δυνατότητα κίνησης είναι ιδιαίτερα περιορισμένη. Αντίθετα, η σπονδυλική στήλη ως σύνολο εμφανίζει την ικανότητα να εκτελεί ένα ευρύ φάσμα καμπικών, εκτατικών και στροφικών κινήσεων. Η δυνατότητα αυτή οφείλεται κυρίως στη δομή, την κατασκευή και τις εμβιομηχανικές ιδιότητες που διαθέτουν οι μεσοσπονδύλιοι δίσκοι. Προσδίδουν ελαστικότητα, απορροφούν ενέργεια και διαμοιράζουν τα φορτία που ασκούνται στη ΣΣ. Οι ιδιότητες αυτές αποδίδονται στη δομή του μεσοσπονδύλιου δίσκου, ο οποίος αποτελείται περιφερικά από έναν ινοχόνδρινο δακτύλιο, που καλείται “ινώδης δακτύλιος” και περιβάλλει μια λεπτόρευστη ζελατινώδη μάζα που καλείται “πγκτοειδής πυρήνας”. Παρά το γεγονός ότι και τα δύο αποτελούν τμήματα του μεσοσπονδύλιου δίσκου, η κατασκευή και οι εμβιομηχανικές τους ιδιότητες διαφέρουν.

Οι 23 μεσοσπονδύλιοι δίσκοι της ανθρώπινης ΣΣ αυξάνουν σε ύψος και διάμετρο με κατεύθυνση από την ΑΜΣΣ προς την ΟΜΣΣ. Παραταύτα, όλοι εμφανίζουν την ίδια βασική δομή και εμβιομηχανική σύνθεση. Όπως και οι άλλοι συνδετικοί ιστοί, αποτελούνται από ένα διάχυτο πληθυσμό κυττάρων και άφθονη μεσοκυττάρια ουσία, που δομούνται σε ένα περίπλοκο σκελετό από μακρομόρια γεμάτα νερό. Η δομική ακεραιότητα και οι μηχανικές ιδιότητες του δίσκου βασίζονται στα μακρομόρια και την αλληλεπίδρασή τους με το νερό. Επειδή η αιμάτωση του δίσκου είναι περιφερική, η θρέψη του πραγματώνεται με διάχυση και ενεργητική μεταφορά διατροφικών παραγόντων και αποβλήτων διαμέσου πόρων της κυτταρικής ουσίας. Η διακίνηση αυτών των στοιχείων εξαρτάται από τη σύνθεση και την οργάνωση του μακρομοριακού σκελετού και την περιεκτικότητά του σε διάμεσο υγρό, η οποία με τη σειρά της καθορίζεται από τη συγκέντρωση των ηλεκτρικά φορτισμένων πρωτεογλυκανών.

Τρία ομόκεντρα τοποθετημένα ιστικά στοιχεία σχηματίζουν το φυσιολογικό ανθρώπινο μεσοσπονδύλιο δίσκο: 1) ο εξωτερικός ινώδης δακτύλιος, 2) ο εσωτερικός ινώδης δακτύλιος, 3) ο πγκτοειδής πυρήνας.

Ο εξωτερικός ινώδης δακτύλιος σχηματίζεται από υψηλού προσανατολισμού, πυκνά τοποθετημένα ινώδη πετάλια, που αποτελούνται από κολλαγόνο τύπου I. Μερικές ίνες δε, εισέρχονται μέσα στα σπονδυλικά σώματα. Ο εσωτερικός ινώδης δακτύλιος, μεγαλύτερος σε μέγεθος, σχηματίζεται από ινοχόνδρινα πετάλια λιγότερο πυκνά τοποθετημένα, που αποτελούνται κυρίως από κολλαγόνο τύπου II. Οι τελικές πλάκες στα παιδιά και τους εφήβους αποτελούνται από υαλοειδή χόνδρο, ενώ στους ενήλικες από αποπιτανωμένο χόνδρο και οστό και αποτελούν τα άνω και κάτω όρια του δίσκου. Τα κύτταρα που κυρίως απαντώνται στον εξωτερικό ινώδη δακτύλιο, προσομοιάζουν με ινοβλάστες ή ινοκύτταρα, ενώ στον εσωτερικό ινώδη δακτύλιο με χονδροκύτταρα, όπως και στις τελικές κινητικές

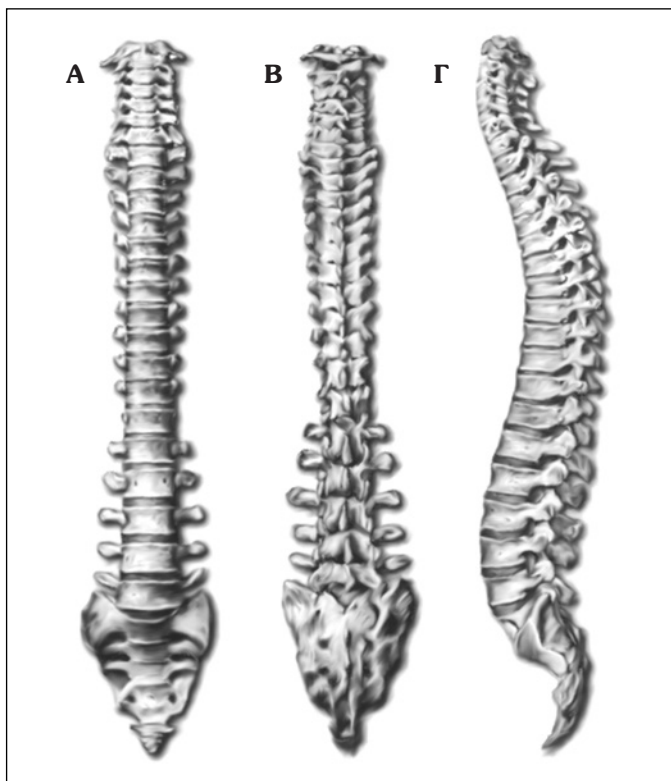


**Εικόνα 1.** Δύο θωρακικοί σπόνδυλοι, αριστερή πλάγια όψη.

πλάκες. Ο ηκτοειδής πυρήνας κατά τη διάρκεια της γέννησης περιλαμβάνει μια μάζα από αλληλοσυνδεόμενα κύτταρα νωτιαίας χορδής, ενώ κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης αυτά σταδιακά εξαφανίζονται, αφήνοντας στη θέση τους κάποια μορφή χονδροκύτταρα. Ο μηχανισμός αυτής της διαφοροποίησης δεν έχει ακόμη διευκρινιστεί.

Κολλαγόνο και πρωτεογλυκάνες είναι τα κύρια δομικά συστατικά του μακρομοριακού σκελετού του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Το κολλαγόνο προσφέρει στα ιστικά στοιχεία το σχήμα και την ελαστική αντοχή, ενώ οι πρωτεογλυκάνες διαμέσου της αλληλεπίδρασης με το νερό προσφέρουν τη σκληρότητα, την αντοχή στη συμπίεση και τη γλοιοελαστικότητα. Η ποσοστιαία αναλογία των ανωτέρω στοιχείων διαφέρει σημαντικά στα διάφορα τμήματα του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Οι κολλαγόνες ίνες αποτελούν περίπου το 70% του βάρους του εξωτερικού ινώδους δακτυλίου σε ένα νεαρό ενήλικα, αλλά μόνο το 20% του βάρους του ηκτοειδή πυρήνα. Οι πρωτεογλυκάνες, αντίστοιχα, αποτελούν μόνο ένα μικρό ποσοστό του βάρους του εξωτερικού ινώδους δακτυλίου, αλλά περίπου το 50% του βάρους του ηκτοειδή πυρήνα.

Όσον αφορά στο *profil* των κολλαγονικών στοιχείων στο σύνολο του δίσκου, κολλαγονικές ίνες τύπου I και II υπερτερούν, αλλά υπάρχει και ένα μικρό ποσό ελικοειδών ινών. Η συγκέντρωση των τύπου II σε σχέση με τις τύπου I ίνες βαίνει αυξανόμενη όσο προχωρούμε προς τον ηκτοειδή πυρήνα, με μία, κατά μέσο όρο, αναλογία των τύπου II προς τύπου I 60:40% περίπου στο σύνολο του δίσκου. Η συγκέντρωση των πρωτεογλυκανών αυξάνει παράλληλα με τις τύπου II κολλαγονικές ίνες. Στον ηκτοειδή πυρήνα η συγκέντρωση των τύπου II κολλαγονι-



**Εικόνα 2.** Η ΣΣ από εμπρός (Α), πλάγια (Β) και πίσω (Γ).

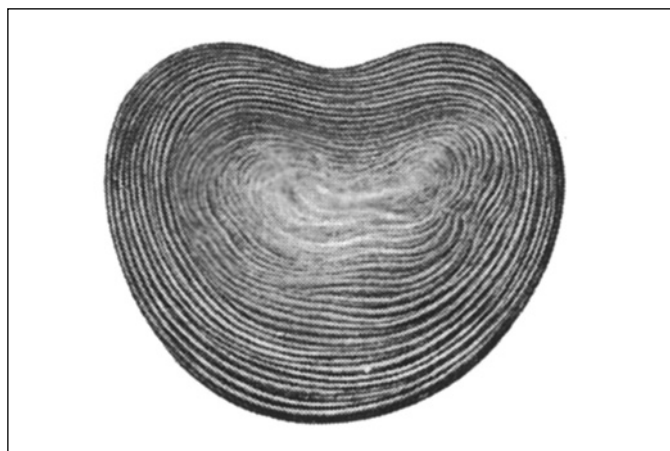
κών ινών προσεγγίζει το 80% του συνολικού κολλαγόνου και οι τύπου I ίνες είναι απύσες. Συναντάται επίσης ένα μικρό ποσοστό, περίπου 3%, τύπου V και XI κολλαγόνου (πίνακας 1).

Ο δίσκος, επίσης, περιέχει αξιοσημείωτα υψηλές συγκεντρώσεις τύπου VI κολλαγόνου, περίπου 10% του συνολικού κολλαγόνου στο δακτύλιο και 15% στον πυρήνα. Τα ινίδια του σχηματίζουν ένα είδος δικτυωτού σχηματισμού και η ιδιαίτερα υψηλή συγκέντρωσή τους στο δίσκο - σε σχέση με άλλου είδους συνδετικούς ιστούς - πιθανότατα σχετίζεται με τις ιδιότητες του δίσκου. Στο δακτύλιο και στον πυρήνα οι τύπου I και II κολλαγόνες ίνες διασταυρώνονται με παράγωγα πυριδολίνης. Αυτού του είδους οι σχηματισμοί απαντώνται στο κολλαγόνο πολλών ιστών, αλλά εμφανίζουν τα υψηλότερα επίπεδα στο μεσοσπονδύλιο δίσκο.

Υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτού του είδους οι δικτυωτοί σχηματισμοί είναι ιδιαίτερος ανεπτυγμένοι σε ιστούς που δέχονται μεγάλα μηχανικά φορτία και είναι απαραίτητο να διατηρούν τη συνοχή τους. Μία ποικιλία μη κολλαγονικών πρωτεϊνών και μικρά ποσά ελαστίνης έχουν βρεθεί μέσα στα συστατικά του δίσκου. Αυτά φαίνεται ότι συμβάλλουν στη σταθερότητα και την οργάνωση της δομής του δίσκου - παρά το ότι δεν έχουν μελετηθεί επαρκώς - αλλά η μικρή τους συγκέντρωση υπονοεί ότι ο ρόλος τους είναι ασήμαντος.

## Πίνακας 1. Κολλαγόνα μεσοσπονδύλιου δίσκου.

Τύπος	Επικρατούσα περιοχή	Ποσοστό ολικού κολλαγόνου (%)
<i>Κολλαγόνα που σχηματίζουν ινίδια</i>		
I	Δακτύλιος	0-80
II	Δακτύλιος και πυρήνας	0-80
III	Δακτύλιος	<5
V	Δακτύλιος και πυρήνας	1-2
XI	Δακτύλιος και πυρήνας	1-2
<i>Κολλαγόνα βραχείας έλικας</i>		
VI	Δακτύλιος και πυρήνας	5-20
IX	Δακτύλιος και πυρήνας	1-2
XII	Δακτύλιος	<1



**Εικόνα 3.** Επιφανειακή όψη ενός μεσοσπονδύλιου δίσκου (ΟΜΣΣ).

## ΑΓΓΕΙΩΣΗ – ΝΕΥΡΩΣΗ

Στα ενήλικα άτομα η αγγείωση και η νευρώση του δίσκου είναι περιορισμένη. Αιμοφόρα αγγεία διέρχονται από την επιφάνεια του δακτυλίου και μπορεί να διατηρούν σε μια μικρή απόσταση στον εξωτερικό ινώδη δακτύλιο. Τα αγγεία των σπονδυλικών σωμάτων διέρχονται παράλληλα με τις αποφυσιακές πλάκες, αλλά δεν εισέρχονται στις κεντρικές περιοχές του δίσκου. Απλές και αμύελες νευρικές ίνες έχουν βρεθεί στην επιφάνεια του δακτυλίου και μικρές νευρικές απολήξεις εισέρχονται στα εξωτερικά στρώματα του δακτυλίου, ενώ νευρικές ίνες δεν έχουν βρεθεί σε κεντρικά σημεία του ανθρώπινου δίσκου.

## ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Η μοναδική δομή και σύνθεση του μεσοσπονδύλιου δίσκου κάνουν δυνατή την ιδιόμορφη μηχανική του λειτουργία. Ο ινώδης δακτύλιος περικλείει τον ημικτοειδή πυρήνα ανάμεσα στον εσωτερικό ινώδη δακτύλιο και την επιφυσιακή πλάκα. Κολλαγόνες ίνες από το δακτύλιο διαπερνούν τα σπονδυλικά σώματα, συμμετέχοντας στη σταθερότητα της σπονδυλικής στήλης και συνδέοντας τον ινώδη δακτύλιο με τα σπονδυλικά σώματα. Τα παχιά ινοχόνδρινα πετάλια του εξωτερικού ινώδους δακτυλίου αντιστέκονται στις μεγάλες διαταπικές δυνάμεις, ελαχιστοποιούν την παραμόρφωση και ελαττώνουν τα φορτία που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια της αξονικής συμπίεσης, των στροφικών φορτίσεων και της οβελιαίας και πλάγιας κάμψης. Όταν οι δίσκοι υπόκεινται σε παρατεταμένη και συνεχή αξονική φόρτιση, όπως λ.χ. κατά την παρατεταμένη ορθοστασία, η ιστική αντίδραση οδηγεί σε έξοδο ύδατος από το διάμεσο ιστό και εκδηλώνεται με ελάττωση του

ύψους και εμφάνιση παραμόρφωσης (bulging). Όταν ο δίσκος αποφορτίζεται, όπως λ.χ. κατά τη διάρκεια του ύπνου, το νερό επιστρέφει και ο όγκος αποκαθίσταται. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην οσμωτική πίεση του Donnan, στα ηλεκτρικά φορτία των πρωτεογλυκανών και στην ελαστικότητα των διαπερατών πόρων που σχηματίζονται από τις συνδέσεις κολλαγόνου – πρωτεογλυκανών.

Ο ινώδης δακτύλιος και ο ημικτοειδής πυρήνας έχουν διαφορετικούς ρόλους στην εμβιομηχανική λειτουργία του δίσκου. Ο εξωτερικός ινώδης δακτύλιος ανθίσταται στις δυνάμεις διατάσεως και δημιουργεί έναν υδροστατικό φραγμό που περιορίζει την παραμόρφωση των εσωτερικών στοιχείων. Εξαιτίας της χόνδρινης φύσης του εσωτερικού ινώδη δακτυλίου και του ημικτοειδή πυρήνα και του υψηλού βαθμού ενυδάτωσης (70-80%), αυτά επίσης συμμετέχουν στη γλοιοελαστική συμπεριφορά του μεσοσπονδύλιου δίσκου. Αυτή η γλοιοελαστική συμπεριφορά είναι διφασική στη φύση και οφείλεται στην αλληλοδιαδοχή της αφυδάτωσης και της ενυδάτωσης του διαμέσου υγρού. Με άλλα λόγια, ο εξωτερικός ινώδης δακτύλιος, ο ημικτοειδής πυρήνας και η λιγότερο πυκνή κολλαγονώδης ουσία επιτρέπουν μεγαλύτερες παραμορφώσεις και ογκομετρικές μεταβολές. Οι περιστροφικές τμηματικές κινήσεις παραμορφώνουν το σχήμα του ινώδους δακτυλίου (χωρίς ογκομετρική αλλαγή του δίσκου), ενώ η κάμψη και η συμπίεση προκαλεί προβολή (bulging) του δίσκου, ογκομετρικές αλλαγές και παραμόρφωση των αποφυσιακών πλακών. Η μηχανική ανταπόκριση στα ασκούμενα φορτία μεταβάλλεται με την εκτομή λ.χ. στο οπισθοπλάγιο τμήμα του ινώδη δακτυλίου ή ενός τμήματος του ημικτοειδή πυρήνα. Εκλεκτική αφαίρεση του ημικτοειδή πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα αυξημένη κίνηση στο επίπεδο της βλάβης, ελάττωση του

ύψους του μεσοσπονδύλιου δίσκου, σκληρότητα και αυξημένη παραμόρφωση του δακτυλίου. Ενέσιμο διάλυμα φυσιολογικού ορού στον πυρήνα αυξάνει την ενδοδιασπαστική πίεση και ελαττώνει την τμηματική κίνηση, τουλάχιστον προσωρινά. Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η ελάττωση της ενδοδιασπαστικής πίεσης εμφανίζεται ως συνέπεια της εκτομής τμήματος του πυρήνα ή σε μεμονωμένη βλάβη του ινώδη δακτυλίου, με άμεσα αποτελέσματα στη σχέση φορτίου προς παραμόρφωση. Είναι προφανές ότι οποιαδήποτε διαφοροποίηση σε κάποιο από τα συστατικά του δίσκου μεταβάλλει τη μηχανική του συμπεριφορά.

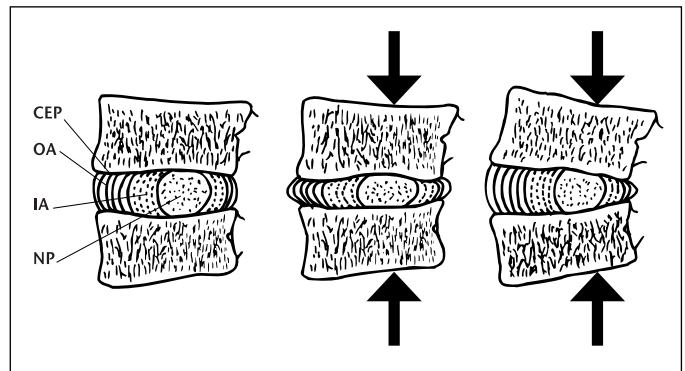
Η συμπεριφορά αυτή καθορίζεται από πολλούς παράγοντες. Η γνώση των ιδιοτήτων των στοιχείων και των συστατικών του δίσκου αποτελεί ουσιώδη παράμετρο για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης των ανταγωνιζόμενων δυνάμεων που ασκούνται στο δίσκο. Οι ιδιότητες αυτές είναι: 1) η πίεση εξοίδησης, 2) η υδραυλική διαπερατότητα και 3) οι συντελεστές συμπίεσης και διάτασης. Η προσέγγισή τους γίνεται με τη λεγόμενη «διφασική» θεωρία των υδροφίλων ιστών, η οποία προσεγγίζει τη γλοιοελαστική συμπεριφορά με βάση τη συνεχή μετακίνηση του διάμεσου κυτταρικού υγρού μέσα από υδραγωγούς που δομούν τη θεμέλια ουσία του ιστού, ως αποτέλεσμα ογκομετρικών αλλαγών.

Η πίεση εξοίδησης του μεσοσπονδύλιου δίσκου προέρχεται από διαφορές στην οσμωτική πίεση ανάμεσα στα ενδοδιασπαστικά και εξωδιασπαστικά υγρά. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στη διαφορετική συγκέντρωση ιόντων ως αποτέλεσμα του νόμου της ηλεκτρικής ουδετερότητας, που καθορίζει πως τα αρνητικά φορτία των πρωτεογλυκανών αντισταθμίζονται από μία ανάλογη συγκέντρωση ( $\text{Na}^+$ ). Παραμορφώσεις που προκαλούνται από αυτή την πίεση διόγκωσης, περιορίζονται από τις δυνάμεις που αντιπάζουν το κολλαγόνως δίκτυο του ινώδη δακτυλίου.

Η οσμωτική πίεση μέσα στο δίσκο έχει μετρηθεί τόσο με ειδικούς υποδοχείς μέσα στο δίσκο όσο και με τη χρήση πολυαιθυλενικής γλυκόζης, και φαίνεται πως η πίεση διόγκωσης τόσο στον ινώδη δακτύλιο όσο και στον πηκτοειδή πυρήνα είναι περίπου ίσες, κυμαινόμενες από 0.05 έως 0.3 MPa.

Ο πυρήνας έχει μια αξιοσημείωτη δυνατότητα διόγκωσης έως και 200% του συνήθους όγκου του. Η υψηλή αυτή περιεκτικότητα σε νερό και πρωτεογλυκάνες του δίνει την ιδιότητα του γλοιοδούς υγρού, γεγονός που του προσδίδει μεγάλη αντοχή σε υψηλά υδροστατικά φορτία. Αντίθετα, μελέτες σε εκφυλισμένους δίσκους με ανάλογα φορτία δείχνουν πως ο δίσκος συμπεριφέρεται περισσότερο ως στερεό υλικό. Εν κατακλείδι, τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες αντοχής του δίσκου στις μηχανικές καταπονήσεις:

1) Η υδροστατική πίεση του διάμεσου υγρού.



**Εικόνα 4.** Ανταπόκριση του δίσκου στα μηχανικά φορτία.

2) Η οσμωτική πίεση.

3) Οι συνδέσεις κολλαγόνου - πρωτεογλυκανών.

Η συμπίεση αποτελεί το κυρίαρχο είδος φόρτισης για το δίσκο. Στη ΣΣ ασκούνται πολύ μεγάλα φορτία συμπίεσης (πολλές φορές το βάρος του σώματος) εξαιτίας της μυϊκής άσκησης. Για να αντεπεξέλθει σε αυτά τα φορτία, οι τρεις παραπάνω παράγοντες πρέπει να βρίσκονται σε συνέργεια. Κατά τη διάρκεια ελέγχου σε συνθήκες συμπίεσης ο συντελεστής συμπίεσης, η υδραυλική διαπερατότητα και η πίεση διογκώσεως τμημάτων ενός μη εκφυλισμένου ινώδη δακτυλίου εμφανίζουν ανομοιογένεια τμηματική, ακτινική και κυκλωτερή. Ο καθορισμός των ιδιοτήτων του ινώδους δακτυλίου σε τάση είναι ιδιαίτερα σημαντικός, επειδή ο ινώδης δακτύλιος δέχεται *in situ* πολύ μεγάλες διαστατικές δυνάμεις. Η αντοχή στο μέγεθος των δυνάμεων, η διάρκεια και η κατανομή της ενέργειας εξαρτώνται από τον προσανατολισμό των ινών και το τμηματικό πάχος.

Η ανομοιογένεια της σύνθεσης του ινώδους δακτυλίου, όσον αφορά στην περιεκτικότητα σε νερό, την ποσότητα και τον τύπο του κολλαγόνου και τη σύνθεση των πρωτεογλυκανών από το εσωτερικό προς το εξωτερικό κατά την ακτινική διεύθυνση και από εμπρός προς τα πίσω κατά την κυκλωτερή διεύθυνση, μας προσανατολίζουν σε μια διαφορετική μηχανική συμπεριφορά. Έτσι, φαίνεται ότι τα εσωτερικά στρώματα του ινώδη δακτυλίου δρουν ως απορροφητές κραδασμών, ενώ τα εξωτερικά στρώματα ως διατηρητές του σχήματος. Επίσης, τα προσθιο-εξωτερικά στρώματα είναι περισσότερο ανθεκτικά από τα οπισθιο-πλάγια στρώματα και αυτό φαίνεται να εξηγεί την προδιάθεση δημιουργίας οπισθοπλάγιων κηλών.

## ΕΠΙΦΥΣΙΑΚΗ ΠΛΑΚΑ

Η μηχανική συμπεριφορά του δίσκου εξαρτάται όχι μόνο από τον ινώδη δακτύλιο και τον πηκτοειδή πυρήνα, αλλά και από την επιφυσιακή πλάκα. Δεν είναι ιδιαίτερα μελετημένη η συμπεριφορά της στη συμπίεση, αλ-

λά φαίνεται ότι εμφανίζει σημαντική και γρήγορη παραμόρφωση. Αυτή η ιδιότητα, σε συνάρτηση με τη μεγάλη διαπερατότητα που εμφανίζει και η οποία επιτρέπει την ταχύτερη διακίνηση ύδατος, παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην άμβλυνση της πίεσης που ασκείται στο μεσοσπονδύλιο δίσκο.

Επιπρόσθετα, η μεγάλη διαπερατότητα επιτρέπει τη διάχυση διατροφικών στοιχείων και την αποβολή αποβλήτων από τον ινώδη δακτύλιο και τον πηκτοειδή πυρήνα.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Συμπερασματικά, η μηχανική λειτουργία του φυσιολογικού μεσοσπονδύλιου δίσκου μπορεί να περιγραφεί συνοπτικά ως εξής: Ο πηκτοειδής πυρήνας συμπεριφέρεται κυρίως ως υγρό κάτω από συνθήκες στατικής φόρτισης, αναπαύσσοντας υψηλές υδροστατικές πιέσεις. Η πίεση εξοίδησης, οφειλόμενη κυρίως σε μια υψηλή συγκέντρωση αρνητικά φορτισμένων πρωτεογλυκανών, είναι υπεύθυνη για τη διατήρηση του ύψους του δίσκου και συμμετέχει στο μηχανισμό διάχυσης και μεταφοράς των μηχανικών φορτίων. Η σχετικά υψηλή τιμή υδραυλικής διαπερατότητας επιτρέπει τη μεταφορά των φορτίων από τον πηκτοειδή πυρήνα στον ινώδη δακτύλιο με ομοιόμορφο τρόπο.

Τέλος, ο ινώδης δακτύλιος μέσω του “διφασικού φαινομένου” δρα με το ενδότερο τμήμα του κυρίως ως απορροφητής κραδασμών, ενώ με το εξωτερικό τμήμα του, χάρη στον υψηλό βαθμό στις τιμές του συντελεστή σκληρότητας και τάσης, ελαχιστοποιεί την παραμόρφωση του δίσκου που γεννιέται κατά τη διάρκεια συμπίεσης, κάμψης ή παραμόρφωσης του δίσκου.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Buckwalter JA. The fine structure of human intervertebral disk. In: White AA III, Gordon SL (eds). American Academy of Orthopaedic Surgeons. Symposium on Idiopathic Low Back Pain. CV Mosby. St Louis, MO 1982:108-143.
2. Eyre D, Benya P, Buckwalter J et al. The intervertebral disk: Basic science perspectives. In: Frymoyer JW, Gordon SL (eds). New Perspectives on Low Back Pain. American Academy of Orthopaedic Surgeons II. Park Ridge 1989:147-207.
3. Eyre DR. Biochemistry of the intervertebral disc. *Int Rev Connect Tissue Res* 1979; 8:227-291.
4. Trout JJ, Buckwalter JA, Moore KC. Ultrastructure of the human intervertebral disk: II. Cells of the nucleus pulposus. *Anat Rec* 1982; 204:307-314.
5. Trout JJ, Buckwalter JA, Moore KC, Landas SK. Ultrastructure of the human intervertebral disk: I. Changes in notochordal cells with age. *Tissue Cell* 1982; 14:359-369.
6. Urban JPG. The effect of physical factors on disk metabolism. In: Buckwalter JA, Goldberg VM, Woo SL-Y (eds). *Musculoskeletal Soft-Tissue Aging: Impact on Mobility*. American Academy of Orthopaedic Surgeons II. Rosemont 1993:391-412.
7. Buckwalter JA, Pedrini-Mille A, Pedrini V, Tudisco C. Proteoglycans of human infant intervertebral disc: Electron microscopic and biochemical studies. *JBJS* 1985; 67A:284-294.
8. Buckwalter JA, Roughley PJ, Rosenberg LC. Age-related changes in cartilage proteoglycans: Quantitative electron microscopic studies. *Microsc Res Tech* 1984; 28:398-408.
9. Buckwalter JA, Smith KC, Kazarian LE, Rosenberg LC, Ungar R. Articular cartilage and intervertebral disc proteoglycans differ in structure: An electron microscopic study. *J Orthop Res* 1989; 7:146-151.
10. Jonstone B, Bayliss MT. Proteoglycans of the intervertebral disk. In: Weinstein JN, Gordon SL (eds). *Low Back Pain: A Scientific and Clinical Overview*. American Academy of Orthopaedic Surgeons II. Rosemont 1996:439-509.
11. Ayad S, Saandell LJ. Collagens of the intervertebral disk: Structure, function and changes during aging and disease. In: Weinstein JN, Gordon SL (eds). *Low Back Pain: A Scientific and Clinical Overview*. American Academy of Orthopaedic Surgeons II. Rosemont 1996:539-556.
12. Buckwalter JA, Maynard JA, Cooper RR. Banded structures in human nucleus pulposus. *Clin Orthop* 1979; 139:259-266.
13. Eyre DR, Muir H. Quantitative analysis of types I and II collagens in human intervertebral discs at various ages. *Biochim Biophys Acta* 1977; 492:29-42.
14. Acaroglou ER, Iatridis JC, Setton LA, Foster RJ, Mow VC, Weidenbaum M. Degeneration and aging affect the tensile behavior of human lumbar annulus fibrosus. *Spine* 1995; 26:90-2701.
15. Andersson GB, Schultz AB. Effects of fluid injection on mechanical properties of intervertebral discs. *J Biomech* 1979; 12:453-458.
16. Best BA, Guilak F, Setton LA et al. Compressive mechanical properties of the human annulus fibrosus and their relationship to biochemical composition. *Spine* 1994; 19:212-221.
17. Ebara S, Iatridis JC, Setton LA, Foster RJ, Mow VC, Weidenbaum M. Tensile properties of nongenerate human lumbar annulus fibrosus. *Spine* 1996; 21:452-461.
18. Goel VK, Nishiyama K, Weinstein JK, Liu YK. Mechanical properties of lumbar spinal motion segments as affected by partial disc removal. *Spine* 1986:1008-1012.
19. Iatridis JC, Weidenbaum M, Setton LA, Mow VC. Is the nucleus pulposus a solid or a fluid? Mechanical behaviors of the nucleus pulposus of the human intervertebral disc. *Spine* 1996; 21:1174-1184.
20. Setton LA, Zhu W, Weidenbaum M, Iatridis JC, Ratcliffe A, Mow VC. Regional variation in tensile properties and biomechanical composition of the human lumbar annulus fibrosus. *Spine* 1994; 19:1310-1319.
21. Urban JP, Maroydas A. Swelling of the intervertebral disc in vitro. *Connect Tissue Res* 1981; 9:1-10.
22. Weidenbaum M, Iatridis JC, Setton LA, Foster RJ, Mow VC. Mechanical behavior of the intervertebral disc and the effects of degeneration. In: Weinstein JN, Gordon SL (eds). *Low Back Pain: A Scientific and Clinical Overview*. American Academy of Orthopaedic Surgeons II. Rosemont 1996:557-582.