

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ Ι.ΧΑΝΙΩΤΗΣ

# ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ



ιατρικές εκδόσεις Λίτσας

1994  
1995

ΕΥΔΟΞΟΣ 2013

Τ.Ε.Ι. ΑΘΗΝΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
Αρ. εισ. 81518

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ Ι. ΧΑΝΙΩΤΗΣ

# ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ



ιατρικές εκδόσεις Λίτσας

ISBN 978-960-3721161

Copyright © 2008 ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΛΙΤΣΑΣ

ΜΙΚΡΑΣ ΑΣΙΑΣ 70 – ΓΟΥΔΙ – 11527 ΑΘΗΝΑ – 210 7789753 – 210 7706549

Τα δικαιώματα της ελληνικής έκδοσης του παρόντος βιβλίου ανήκουν στον εκδοτικό οίκο «Λίτσας». ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ η αναδημοσίευση, η αναπαραγωγή, ολική, μερική ή περιληπτική, η κατά παράφραση, ή διασκευή, απόδοση του περιεχομένου του βιβλίου με οποιονδήποτε τρόπο, μηχανικό, ηλεκτρονικό, φωτοτυπικό, ηχογράφησης ή άλλο, χωρίς προηγούμενη γραπτή άδεια του εκδότη. Νόμοι 238/1970, 4301/1979, Ν. 100/1975, Ν.Δ. 3565/1956 και 4254/1962 και κανόνες του Διεθνούς Δικαίου.

---

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγγραφή του παρόντος πονήματος “ΕΡΓΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ” με βάση το ισχύον Πρόγραμμα Σπουδών, υπαγορεύθηκε από την ανάγκη ύπαρξης περιεκτικού διδακτικού βοηθήματος στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση, υψηλού επιπέδου.

Με γνώμονα την αποφυγή περιττολογιών, ξεπερασμένων αντιλήψεων, αλληλοεπικαλύψεων με γνώσεις από άλλα μαθήματα και υπό το φως της σύγχρονης διεθνούς επιστημονικής βιβλιογραφίας, δόθηκε έμφαση από τους δύο συγγραφείς στις επίκαιρες και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες πλευρές της σύγχρονης Εργοφυσιολογίας.

Από τους συγγραφείς, ο Επικ. Καθηγητής Δρ. **Δημήτριος Χανιώτης** με την εμπειρία του και τη συγγραφική του συνεισφορά στήριξε αποφασιστικά την προσπάθεια άρτιας ολοκλήρωσης του όλου έργου, προς όφελος της διδακτικής διαδικασίας και των διδασκομένων ιδιαίτερα.

Με την αφιέρωση στον αναγνώστη

Δρ. **ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ ΧΑΝΙΩΤΗΣ**  
Καθηγητής

Δρ. **ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΧΑΝΙΩΤΗΣ**  
Επίκουρος Καθηγητής

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	vii
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	
<b>1.1. ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Καρδιακή παροχή .....	1
1.1.2. Περιφερικές αντιστάσεις .....	2
1.1.3. Αρτηριακή πίεση .....	3
1.1.4. Αρτηριοφλεβώδης διαφορά οξυγόνου .....	3
1.1.5. Πνευμονικός αερισμός .....	4
1.1.6. Ενεργειακό - Μεταβολικό ισοδύναμο .....	4
1.1.7. Ευεργετικές επιδράσεις της άσκησης .....	5
1.1.8. Κατανάλωση ενέργειας στον άνθρωπο .....	6
Μέθοδοι μέτρησης .....	6
Δαπάνη ενέργειας σε καταστάσεις ηρεμίας .....	7
Βασικός μεταβολισμός .....	8
Κατανάλωση ενέργειας και μυϊκή δραστηριότητα – περπάτημα - τρέξιμο - ποδηλασία - σκι .....	9
Κυτταρικοί μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας .....	12
Μηχανική απόδοση .....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	
<b>2.1. ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....</b>	<b>21</b>
2.1.1. Χρονική εξέλιξη της κατανάλωσης του οξυγόνου κατά την άσκηση .....	21
2.1.2. Χρέος σε οξυγόνο .....	22
2.1.3. Αναερόβια αγαλακτική πηγή ενέργειας .....	24
2.1.4. Αναερόβια γαλακτική πηγή ενέργειας .....	25
2.1.5. Αερόβια πηγή ενέργειας .....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	
<b>3.1. ΜΥΪΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ - ΚΙΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ .....</b>	<b>39</b>
3.1.1. Η μυϊκή ίνα .....	39
Μορφολογία και φυσιολογία .....	39
Μηχανισμός της σύσπασης (συστολής) .....	42
Κινητική μονάδα .....	44
Χαρακτηριστικές απαντήσεις των κινητικών μονάδων .....	45
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	
<b>4.1. ΤΟ ΝΕΥΡΟΜΥΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ .....</b>	<b>49</b>
Το νευρικό σύστημα .....	49
Νωτιαίος μυελός .....	51
Εγκέφαλος .....	52
Αυτόνομο νευρικό σύστημα .....	53

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	
<b>5.1. ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ</b> .....	61
5.1.1. Πνευμονικός αερισμός - προσαρμογές - ρύθμιση .....	63
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
<b>6.1. ΜΙΚΡΟΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΣΚΕΛΕΤΙΚΩΝ ΜΥΩΝ</b> .....	75
6.1.1. Ανατομία - Φυσιολογία .....	75
6.1.2. Παράγοντες ρύθμισης αγγειοκινητικότητας .....	82
6.1.3. Άσκηση .....	83
6.1.4. Επίδραση της μακροχρόνιας εξάσκησης .....	85
6.1.5. Επίδραση του παρατεταμένου ηλεκτρικού ερεθισμού .....	85
6.1.6. Διαβήτης .....	85
6.1.7. Συμπέρασμα .....	85
6.1.8. Ρόλος του Μονοξειδίου του Αζώτου (NO) στη μικροκυκλοφορία .....	86
6.1.9. Μικροκυκλοφορία του λιπώδους ιστού .....	90
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	
<b>7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟ</b> .....	97
7.1.1. Γενικά .....	98
7.1.2. Οι τροφές .....	98
7.1.3. Η τύχη των τροφών στον ανθρώπινο οργανισμό .....	100
7.1.4. Κατανομή των μεταβολικών οδών στους διάφορους ιστούς .....	105
7.1.5. Ο κύκλος του Krebs .....	106
<b>7.2. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΛΙΠΙΔΙΩΝ</b> .....	107
7.2.1. Λιπίδια τροφών - Απορρόφηση από το έντερο .....	107
7.2.2. Καταβολισμός λιπαρών οξέων .....	108
7.2.3. Η βιοσύνθεση των λιπών .....	110
7.2.4. Η σχέση της γλυκόζης και των λιπών .....	113
7.2.5. Τα κετονοσώματα .....	114
7.2.6. Μετατροπή του πυροσταφυλικού σε γλυκόζη - Η γλυκονεογένεση .....	115
7.2.7. Η μετατροπή της G-6-P σε πεντόζες - Το παρακύκλωμα των πεντοζών .....	116
7.2.8. Η τύχη της γλυκόζης στους άλλους ιστούς .....	117
7.2.9. Τι είναι οι λιποπρωτεΐνες και σε τι χρησιμεύουν στον οργανισμό .....	118
<b>7.3. ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ</b> .....	119
<b>7.4. ΣΥΜΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ - ΒΙΤΑΜΙΝΕΣ</b> .....	122
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8</b>	
<b>8.1. ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ</b> .....	125
8.1.1. Ποιες είναι οι κύριες πηγές θρεπτικών συστατικών της τροφής και ποια η θερμιδική τους αξία; .....	125
8.1.2. Κυτταρικοί μηχανισμοί μεταφοράς ενέργειας .....	127
8.1.3. Ενεργές μορφές οξυγόνου .....	128
<b>8.2. ΟΡΜΟΝΕΣ - ΑΣΚΗΣΗ - ΓΕΥΜΑ</b> .....	129
8.2.1. Οξείες μεταβολικές και ορμονικές επιδράσεις της άσκησης στον οργανισμό .....	131
<b>8.3. ΔΙΑΒΗΤΗΣ - ΥΠΟΓΛΥΚΑΙΜΙΑ</b> .....	143
8.3.1. Επιδράσεις της υπογλυκαιμίας .....	144
<b>8.4. ΜΕΤΑΒΟΛΙΚΟ ΣΥΝΔΡΟΜΟ (ΜΣ) ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ</b> .....	149
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9</b>	
<b>9.1. ΑΣΚΗΣΗ - ΕΙΔΙΚΕΣ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ</b> .....	153
Άσκηση και μυοσκελετικό σύστημα .....	155
Τα είδη της σωματικής άσκησης .....	156
Τα μέρη ενός προγράμματος άσκησης .....	157
Άσκηση και καρδιακή συχνότητα .....	158
Άσκηση και κατανάλωση θερμίδων .....	159

Μπορεί η άσκηση να είναι επικίνδυνη; .....	160
Άσκηση - Κόπωση και οξειδωτικό στρες .....	162
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10</b>	
<b>10.1. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΚΗΣΗΣ</b> .....	165
10.1.1. Stretching: αξία και χρησιμότητα .....	167
<b>10.2. ΘΑΛΑΣΣΑ ΚΑΙ ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - ΚΟΛΥΜΒΗΣΗ</b> .....	171
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11</b>	
<b>11.1. ΣΩΜΑΤΙΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΧΡΟΝΙΑ ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΑΝΕΠΑΡΚΕΙΑ (ΧΚΑ) - Η «ΜΥΪΚΗ ΥΠΟΘΕΣΗ» ΚΑΙ ΤΑ ΝΕΑ ΕΙΔΗ ΑΣΚΗΣΗΣ</b> .....	175
11.1.1. Άσκηση και αιμοδυναμικές παράμετροι στη ΧΚΑ .....	176
11.1.2. Άσκηση και σκελετικοί μύες στη ΧΚΑ .....	176
11.1.3. Άσκηση και ανοσοφλεγμονώδης διέγερση στη ΧΚΑ .....	177
11.1.4. Άσκηση και αυτόνομο νευρικό σύστημα στη ΧΚΑ .....	179
11.1.5. Άσκηση και αναπνευστική λειτουργία στη ΧΚΑ .....	179
11.1.6. Άσκηση και ποιότητα ζωής στη ΧΚΑ .....	180
11.1.7. Ανοχή στην άσκηση σε άτομα με ή χωρίς ΚΑ .....	182
11.1.8. Ρυθμιστικοί παράγοντες ανοχής στην κόπωση σε ΚΑ .....	183
11.1.9. Αερόβιος άσκηση στην ΚΑ .....	185
11.1.10. Νεότερες μορφές άσκησης στην ΚΑ .....	186
11.1.11. Διαλειμματική άσκηση .....	187
11.1.12. Έκκεντρη άσκηση .....	188
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12</b>	
<b>12.1. ΚΑΡΔΙΑΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ</b> .....	191
12.1.1. Προγράμματα άσκησης σε στεφανιαία νόσο .....	193
12.1.2. Καρδιακή αποκατάσταση και καρδιακή ανεπάρκεια .....	197
12.1.3. Η δοκιμασία κόπωσης .....	201
12.1.4. Είδη δοκιμασίας κόπωσης και πότε γίνονται .....	203
12.1.5. Καρδιοαναπνευστική δοκιμασία κόπωσης (εργοσπιρομετρία) .....	206
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13</b>	
<b>13.1. ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b> .....	211
<b>13.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</b> .....	214
<b>13.3. ΚΑΡΔΙΟΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ ΚΟΠΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΑΘΛΗΤΩΝ</b> .....	217
13.3.1. Η άσκηση ως θεραπεία στην καρδιοπάθεια (ιστορικά στοιχεία) .....	224
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14</b>	
<b>14. ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ</b> .....	229
14.1. Η «ΤΡΙΑΔΑ ΤΩΝ ΑΘΛΗΤΡΙΩΝ» .....	229
14.2. ΑΣΚΗΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΕΓΚΥΜΟΣΥΝΗΣ .....	230
14.3. ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΕΜΜΗΝΟΠΑΥΣΗ .....	234
14.4. ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΧΥΣΑΡΚΟ .....	241
14.5. <u>ΑΣΚΗΣΗ ΚΑΙ ΝΟΗΤΙΚΗ ΥΣΤΕΡΗΣΗ</u> .....	246
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15</b>	
<b>15.1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ</b> .....	257
15.1.1. Βασικά υγρά του σώματος και άσκηση .....	257
<b>15.2. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΑΣΚΗΣΗ</b> .....	262
<b>15.3. ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΔΙΑΙΤΗΤΙΚΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΑ</b> .....	275
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	291
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	293

---

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Εργοφυσιολογία μελετά τη λειτουργία των διαφόρων συστημάτων του οργανισμού κατά την άσκηση και τις βιολογικές προσαρμογές που προκαλεί το μυϊκό έργο. Οι παραπάνω προσαρμογές διακρίνονται σε άμεσες (οξείες) και απώτερες (χρόνιες). Τέτοιες προσαρμογές είναι μεταβολικές, καρδιοαναπνευστικές, νευρομυϊκές ή συνδυασμός αυτών και συνοδεύονται από μορφολειτουργικές αλλαγές (αύξηση μιτοχονδρίων, ενζυμική υπερδραστηριότητα στις μυϊκές ίνες κ.ά.). Οι άμεσες προσαρμογές είναι παροδικές, διαρκούν όσο και η προσπάθεια και όσο πιο έντονη είναι η προσπάθεια τόσο μεγαλύτερη και η προσαρμογή. Οι απώτερες ή χρόνιες προσαρμογές έχουν μόνιμο χαρακτήρα και είναι αποτέλεσμα τακτικής και συστηματικής άσκησης, όπως συμβαίνει και με τους αθλητές. Αυτές επηρεάζονται από τη βιολογική κατάσταση του αθλούμενου, τους χαρακτήρες της άσκησης (*είδος, ένταση, διάρκεια, συχνότητα*) και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Υπάρχει έντονη επίδραση στη μορφολογική, βιοχημική και φυσιολογική συμπεριφορά των σκελετικών μυών και στη σύζευξη της λειτουργίας τους με το καρδιοαναπνευστικό σύστημα.

Είναι γνωστό από την αρχαιότητα ότι η άσκηση είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη, τη διάρκεια και την ποιότητα ζωής και προκαλεί προσαρμογές που θωρακίζουν την υγεία. Στα πλαίσια αυτά η εργοφυσιολογία ασχολείται με τους τρόπους μεγιστοποίησης της απόδοσης του ανθρώπινου οργανισμού και διερευνά τους τρόπους επίδρασης της άσκησης στην υγεία. Έτσι η εργοφυσιολογία χρησιμεύει στην πρόληψη, στη θεραπεία και αποκατάσταση σε συνδυασμό με τις σχετικές διατροφικές παραμέτρους κάθε περίπτωσης. Η σωματική άσκηση είναι ένας από τους ισχυρότερους τροποποιητές του μεταβολισμού ο οποίος προσαρμόζεται στην ανάγκη αυξημένης παροχής ενέργειας στους ασκούμενους μυς ενώ συγ-



χρόνως μεταβάλλεται και σε άλλους ιστούς και όργανα όπως το ήπαρ και ο λιπώδης ιστός. Η γνώση των παραπάνω μεταβολών και προσαρμογών του οργανισμού στη σωματική δραστηριότητα έχει θεωρητικό και πρακτικό ενδιαφέρον αφού επιτρέπει την οργανωμένη και συνειδητή παρέμβασή μας προς την κατεύθυνση συγκεκριμένου επιθυμητού αποτελέσματος όπως η αυξημένη αθλητική απόδοση, διατήρηση και βελτίωση της σωματικής και ψυχοκοινωνικής υγείας και η μακρόχρονη ποιοτική ζωή.

Σε κάθε ασχολούμενο με την Εργοφυσιολογία πρέπει να γίνει συνείδηση ότι δεν μπορεί να υπάρξει σωστή άσκηση χωρίς σωστή διατροφή και ότι η λειτουργία του καρδιοαναπνευστικού, του νευρομυϊκού και των άλλων συστημάτων του οργανισμού συνδέεται στενά με το μεταβολισμό.

Η σωστή διατροφή παρέχει στον οργανισμό όλα τα θρεπτικά στοιχεία (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, βιταμίνες, ιχνοστοιχεία, νερό) σε τέτοια ποσότητα, ποιότητα και αναλογία, στη βάση των *εξατομικευμένων* απαιτήσεων και αναγκών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται όχι μόνο η ύπαρξη και η υγεία του αλλά παράλληλα η μέγιστη προσαρμοστικότητα και αποδοτικότητά του που είναι αντικείμενα της Εργοφυσιολογίας.

Σημ.: Θρεπτικά συστατικά της τροφής που μπορούν να αποδώσουν ενέργεια είναι οι υδατάνθρακες, τα λιπίδια και οι πρωτεΐνες. Επίσης ενέργεια αποδίδει στον οργανισμό και το αλκοόλ.

Μονάδες μέτρησης ενέργειας:  $1 \text{ cal} = 1 \text{ θερμίδα}$  (ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να ανέλθει η θερμοκρασία  $1 \text{ cm}^3$  νερού από τους  $14,5^\circ\text{C}$  στους  $15,5^\circ\text{C}$ ). Η θερμίδα (μικρή) είναι κυρίως η μονάδα μέτρησης της ενέργειας που περιέχεται στα τρόφιμα, αλλά επειδή αυτά συνήθως αποδίδουν πολλές χιλιάδες θερμίδες ανά γραμμάριο, για ευκολία χρησιμοποιείται η χιλιοθερμίδα (Kcal) ή μεγάλη θερμίδα, γνωστή όμως απλώς ως θερμίδα. Παράλληλα έχει καθιερωθεί και η χρήση του Joule και του kjoule (κιλοτζάουλ) για τη μέτρηση της ενέργειας που παρέχει η τροφή:  $1 \text{ Kcal} = 4,2 \text{ kjoule}$ .