



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
**Εθνικόν και Καποδιστριακόν**  
**Πανεπιστήμιον Αθηνών**  
—ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837—

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΙΑΤΡΟΔΙΚΑΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΟΞΙΚΟΛΟΓΙΑΣ  
Διευθύντρια: Καθηγήτρια Χ. Σπηλιοπούλου

ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΜΙΚΗΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ  
ΤΩΝ ΑΡΘΡΙΚΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΩΝ ΔΙΑΡΘΡΩΣΕΩΝ ΤΟΥ  
ΣΚΕΛΕΤΟΥ ΤΩΝ ΑΚΡΩΝ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ  
ΑΝΘΡΩΠΟΛΟΓΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΣΤΩΝ ΚΑΤ' ΑΤΟΜΟ

**ΙΩΑΝΝΑ Π. ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΥ**

ΒΙΟΛΟΓΟΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΘΗΝΑ 2019

«Η έγκριση διδακτορικής διατριβής από την Ιατρική Σχολή του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών δεν υποδηλώνει την αποδοχή γνώμων του συγγραφέα» (Νόμος 55634/32, άρθρο 202, παρ. 2).

Ημερομηνία κατάθεσης αίτησης εκπόνησης διατριβής: 1/2/2013

Ημερομηνία ορισμού θέματος και τριμελούς επιτροπής: 24/4/2013

Ημερομηνία κατάθεσης διδακτορικής διατριβής: 15/2/2019

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Κ. Μωραΐτης, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων)
2. Κ. Ηλιόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής
3. Ε. Βαλάκος, Καθηγητής

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Κ. Μωραΐτης, Αναπληρωτής Καθηγητής
2. Κ. Ηλιόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής
3. Ε. Βαλάκος, Καθηγητής
4. Χ. Σπηλιοπούλου, Καθηγήτρια
5. Δ. Βλαχοδημητρόπουλος, Αναπληρωτής Καθηγητής
6. Χ. Παπαγεωργοπούλου, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια
7. Μ. Πιάγκου, Επίκουρη Καθηγήτρια

## ΙΠΠΟΚΡΑΤΙΚΟΣ ΟΡΚΟΣ ΚΕΙΜΕΝΟ

ΟΜΝΥΜΙ ΑΠΟΛΛΩΝΑ ΙΗΤΡΟΝ ΚΑΙ ΑΣΚΛΗΠΙΟΝ ΚΑΙ ΥΓΙΕΙΑΝ ΚΑΙ ΠΑΝΑΚΕΙΑΝ ΚΑΙ ΘΕΟΥΣ ΠΑΝΤΑΣ ΤΕ ΚΑΙ ΠΑΣΑΣ ΙΣΤΟΡΑΣ ΠΟΙΕΥΜΕΝΟΣ, ΕΠΙΤΕΛΕΑ ΠΟΙΗΣΕΙΝ ΚΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΝ ΕΜΗΝ ΟΡΚΟΝ ΤΟΝΔΕ ΚΑΙ ΕΥΓΓΡΑΦΗΝ ΤΗΝΔΕ. ΗΓΗΣΕΣΘΑΙ ΜΕΝ ΤΟΝ ΔΙΔΑΞΑΝΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΝ ΤΑΥΤΗΝ ΙΣΑ ΓΕΝΕΤΗΣΙΝ ΕΜΟΙΣΙ, ΚΑΙ ΒΙΟΥ ΚΟΙΝΩΣΕΣΘΑΙ ΚΑΙ ΧΡΕΩΝ ΧΡΗΖΟΝΤΙ ΜΕΤΑΔΟΣΙΝ ΠΟΗΣΕΣΘΑΙ ΚΑΙ ΓΕΝΟΣ ΤΟ ΕΞ ΑΥΤΟΥ ΑΔΕΛΦΕΥΣΙΣΟΝ ΕΠΙΚΡΙΝΕΕΙΝ ΑΡΡΕΣΙ ΚΑΙ ΔΙΔΑΞΕΙΝ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗΝ ΤΑΥΤΗΝ, ΗΝ ΧΡΗΖΩΣΙ ΜΑΝΘΑΝΕΙΝ, ΑΝΕΥ ΜΙΣΘΟΥ ΚΑΙ ΕΥΓΓΡΑΦΗΣ, ΠΑΡΑΓΓΕΛΙΗΣ ΤΕ ΚΑΙ ΑΚΡΟΗΣΙΟΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΛΟΙΠΗΣ ΑΠΑΣΗΣ ΜΑΘΗΣΙΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΙΝ ΠΟΗΣΕΣΘΑΙ ΥΙΟΙΣΙ ΤΕ ΕΜΟΙΣΙ ΚΑΙ ΤΟΙΣΙ ΤΟΥ ΕΜΕ ΔΙΔΑΞΑΝΤΟΣ ΚΑΙ ΜΑΘΗΤΑΙΣΙ ΕΥΓΓΕΓΡΑΜΜΕΝΟΙΣ ΤΕ ΚΑΙ ΟΡΚΙΣΜΕΝΟΙΣ ΝΟΜΩ ΙΗΤΡΙΚΩ, ΑΛΛΩ ΔΕ ΟΥΔΕΝΙ ΔΙΑΙΤΗΜΑΣΙ ΤΕ ΧΡΗΣΟΜΑΙ ΕΠ' ΩΦΕΛΕΙΗ ΚΑΜΝΟΝΤΩΝ ΚΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΝ ΚΑΙ ΚΡΙΣΙΝ ΕΜΗΝ, ΕΠΙ ΔΗΛΗΣΕΙ ΔΕ ΚΑΙ ΑΔΙΚΗ ΕΙΡΕΕΙΝ, ΟΥ ΔΩΣΩ ΔΕ ΟΥΔΕ ΦΑΡΜΑΚΟΝ ΟΥΔΕΝΙ ΑΙΤΗΘΕΙΣ ΘΑΝΑΣΙΜΟΝ, ΟΥΔΕ ΥΦΗΓΗΣΟΜΑΙ ΕΥΜΒΟΥΛΙΗΝ ΤΟΙΗΝΔΕ ΟΜΟΙΩΣ ΔΕ ΟΥΔΕ ΓΥΝΑΙΚΙ ΠΕΣΣΟΝ ΦΘΟΡΙΟΝ ΔΩΣΩ, ΑΓΝΩΣ ΔΕ ΚΑΙ ΟΣΙΩΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΩ ΒΙΟΝ ΤΟΝ ΕΜΟΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΝ ΤΗΝ ΕΜΗΝ, ΟΥ ΤΕΜΕΩ ΔΕ ΟΥΔΕ ΜΗΝ ΛΙΘΙΩΝΤΑΣ, ΕΚΧΩΡΗΣΩ ΔΕ ΕΡΓΑΤΗΣΙΝ ΑΝΔΡΑΣΙΝ ΠΡΗΕΙΟΣ ΤΗΣΔΕ, ΕΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΕ ΟΚΟΣΑΣ ΑΝ ΕΣΙΩ, ΕΣΕΛΕΥΣΟΜΑΙ ΕΠ' ΩΦΕΛΕΙΗ ΚΑΜΝΟΝΤΩΝ, ΕΚΤΟΣ ΕΩΝ ΠΑΣΗΣ ΑΔΙΚΗΣ ΕΚΟΥΣΙΗΣ ΚΑΙ ΦΘΟΡΙΗΣ ΤΗΣ ΤΕ ΑΛΛΗΣ ΚΑΙ ΑΦΡΟΔΙΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ ΕΠΙ ΤΕ ΓΥΝΑΙΚΕΙΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΝΔΡΕΙΩΝ, ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΤΕ ΚΑΙ ΔΟΥΛΩΝ, Α Δ' ΑΝ ΕΝ ΘΕΡΑΠΕΙΗ Η ΙΔΩ Η ΑΚΟΥΣΩ, Η ΚΑΙ ΑΝΕΥ ΘΕΡΑΠΕΙΗΣ ΚΑΤΑ ΒΙΟΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ, Α ΜΗ ΧΡΗ ΠΟΤΕ ΕΚΛΑΛΕΕΣΘΑΙ ΕΞΩ, ΣΙΓΗΣΟΜΑΙ, ΑΡΡΗΤΑ ΗΓΕΥΜΕΝΟΣ ΕΙΝΑΙ ΤΑ ΤΟΙΑΥΤΑ. ΟΡΚΟΝ ΜΕΝ ΟΥΝ ΜΟΙ ΤΟΝΔΕ ΕΠΙΤΕΛΕΑ ΠΟΙΕΟΝΤΙ ΚΑΙ ΜΗ ΕΥΓΧΕΟΝΤΙ ΕΙΗ ΕΠΑΥΡΑΣΘΑΙ ΚΑΙ ΒΙΟΥ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΣ, ΔΟΞΑΖΟΜΕΝΩ ΠΑΡΑ ΠΑΣΙΝ ΑΝΘΡΩΠΟΙΣ ΕΣ ΤΟΝ ΑΙΕΙ ΧΡΟΝΟΝ· ΠΑΡΑΒΑΙΝΟΝΤΙ ΔΕ ΚΑΙ ΕΒΙΟΡΚΕΟΝΤΙ, ΠΑΝΑΝΤΙΑ ΤΟΥΤΕΩΝ.

## ΙΠΠΟΚΡΑΤΙΚΟΣ ΟΡΚΟΣ

### ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ

ΟΡΚΙΖΟΜΑΙ ΣΤΟΝ ΑΠΟΛΛΩΝΑ ΤΟΝ ΙΑΤΡΟ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΣΚΛΗΠΙΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΝΑΚΕΙΑ ΚΑΙ Σ' ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΘΕΟΥΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΘΕΕΣ, ΠΟΥ ΒΑΖΩ ΜΑΡΤΥΡΕΣ, ΟΤΙ ΘΑ ΕΚΠΛΗΡΩΣΩ ΤΟΝ ΟΡΚΟ ΜΟΥ ΑΥΤΟ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟ ΑΥΤΟ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΜΟΥ. ΟΤΙ ΘΑ ΘΕΩΡΩ ΕΚΕΙΝΟΝ ΠΟΥ ΜΟΥ ΔΙΔΑΞΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗ ΑΥΤΗ ΙΣΟΝ ΜΕ ΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΟΥ, ΚΑΙ ΘΑ ΤΟΝ ΚΑΝΩ ΚΟΙΝΩΝΟ ΤΟΥ ΒΙΟΥ ΜΟΥ. ΚΑΙ ΘΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΦΕΡΩ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΚΑ ΜΟΥ ΟΤΙ ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ. ΤΟΥΣ ΑΠΟΓΟΝΟΥΣ ΤΟΥ ΘΑ ΘΕΩΡΩ ΩΣ ΑΔΕΛΦΟΥΣ ΜΟΥ ΚΑΙ ΘΑ ΤΟΥΣ ΔΙΔΑΞΩ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗ ΑΥΤΗ, ΑΝ ΕΠΙΘΥΜΟΥΝ ΝΑ ΜΑΘΟΥΝ, ΧΩΡΙΣ ΜΙΣΘΟ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΣΥΜΦΩΝΙΑ. ΟΤΙ ΘΑ ΜΕΤΑΔΩΣΩ ΤΟΥΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΕΣ, ΤΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΙΣ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΓΙΟΥΣ ΜΟΥ, ΣΤΟΥΣ ΓΙΟΥΣ ΤΟΥ ΔΙΔΑΣΚΑΛΟΥ ΜΟΥ. ΚΑΙ ΣΕ ΜΑΘΗΤΕΣ ΠΟΥ ΘΑ ΕΧΟΥΝ ΣΥΝΔΕΘΗ ΜΑΖΙ ΜΟΥ ΜΕ ΟΡΚΟ ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΛΑΙΟ, ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΗΘΕΙΑ ΤΩΝ ΙΑΤΡΩΝ, ΚΑΙ ΣΕ ΚΑΝΕΝΑ ΑΛΛΟ.

ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΩ ΤΗ ΘΕΡΑΠΕΥΤΙΚΗ ΔΙΑΙΤΑ ΜΟΝΟ ΓΙΑ ΩΦΕΛΕΙΑ ΤΩΝ ΑΡΡΩΣΤΩΝ, ΟΣΟ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΜΟΥ, ΚΑΙ (ΥΠΟΣΧΟΜΑΙ ΟΤΙ) ΘΑ ΤΟΥΣ ΠΡΟΦΥΛΑΞΩ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΒΛΑΒΗ ΚΑΙ ΑΔΙΚΙΑ.

ΔΕΝ ΘΑ ΧΟΡΗΓΗΣΩ ΘΑΝΑΤΗΦΟΡΟ ΦΑΡΜΑΚΟ ΣΕ ΚΑΝΕΝΑ, ΟΣΟ ΚΑΙ ΑΝ ΠΑΡΑΚΛΗΘΩ, ΟΥΤΕ ΘΑ ΥΠΟΔΕΙΩ ΤΕΤΟΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΗ. ΕΠΙΣΗΣ ΔΕΝ ΘΑ ΔΩΣΩ ΣΕ ΓΥΝΑΙΚΑ ΦΑΡΜΑΚΟ ΕΚΤΡΩΤΙΚΟ. ΑΓΝΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΗ ΘΑ ΔΙΑΤΗΡΗΣΩ ΤΗ ΖΩΗ ΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΝ ΤΕΧΝΗ ΜΟΥ. ΔΕΝ ΘΑ ΧΕΙΡΟΥΡΓΗΣΩ ΟΠΩΣΔΗΠΟΤΕ ΑΥΤΟΥΣ ΠΟΥ ΠΑΣΧΟΥΝ ΑΠΟ ΠΕΤΡΑ, ΑΛΛΑ ΘΑ ΑΦΗΣΩ ΤΗΝ ΠΡΑΞΗ ΑΥΤΗ ΣΤΟΥΣ ΕΞΑΣΚΗΜΕΝΟΥΣ. ΣΕ ΟΣΑ ΣΠΙΤΙΑ ΠΡΟΣΚΑΛΟΥΜΑΙ, ΘΑ ΜΠΑΙΝΩ ΓΙΑ ΤΟ ΚΑΛΟ ΤΩΝ ΑΡΡΩΣΤΩΝ, ΚΡΑΤΩΝΤΑΣ ΤΟΝ ΕΑΥΤΟ ΜΟΥ ΜΑΚΡΙΑ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΘΕΛΗΜΑΤΙΚΗ ΑΔΙΚΙΑ Η ΑΛΛΗ ΔΙΑΦΘΟΡΑ ΚΑΙ ΠΡΟ ΠΑΝΤΩΝ ΜΑΚΡΙΑ ΑΠΟ ΚΑΘΕ ΑΦΡΟΔΙΣΙΑΚΗ ΠΡΑΞΗ ΣΕ ΣΩΜΑΤΑ ΓΥΝΑΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΔΡΩΝ, ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ Η ΔΟΥΛΩΝ.

ΟΣΑ ΔΕ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΘΑ ΔΩ Η ΘΑ ΑΚΟΥΣΩ, Η ΚΑΙ ΠΕΡΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΣΧΟΛΙΕΣ ΜΟΥ ΣΤΗΝ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ ΖΩΗ, ΟΣΑ ΔΕΝ ΠΡΕΠΕΙ ΠΟΤΕ ΝΑ ΚΟΙΝΟΛΟΓΟΥΝΤΑΙ ΣΤΟΥΣ ΕΞΩ, ΘΑ ΤΑ ΑΠΟΣΙΩΠΩ, ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΟΤΙ ΑΥΤΑ ΕΙΝΑΙ ΙΕΡΑ ΜΥΣΤΙΚΑ. ΟΣΟ ΛΟΙΠΟΝ ΘΑ ΤΗΡΩ ΤΟΝ ΟΡΚΟ ΜΟΥ ΑΥΤΟ, ΚΑΙ ΔΕΝ ΘΑ ΤΟΝ ΠΑΡΑΒΙΑΣΩ, ΕΙΘΕ ΝΑ ΠΕΤΥΧΑΙΝΩ ΣΤΗ ΖΩΗ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΗ ΜΟΥ, ΕΧΟΝΤΑΣ ΚΑΛΟ ΟΝΟΜΑ ΠΑΝΤΟΤΕ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΟΥΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥΣ· ΕΑΝ ΟΜΩΣ ΤΟΝ ΠΑΡΑΒΩ ΚΑΙ ΓΙΝΩ ΕΠΙΟΡΚΟΣ, ΝΑ ΠΑΘΩ ΤΑ ΑΝΤΙΘΕΤΑ.

ΙΠΠΟΚΡΑΤΗΣ

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

---

Με την ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής, η οποία πραγματοποιήθηκε στη Μονάδα Δικαστικής Ανθρωπολογίας του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της. Αρχικά, το προσωπικό του Εργαστηρίου και ιδιαίτερα την Κοσμήτορα της Σχολής Επιστημών Υγείας ΕΚΠΑ και Διευθύντρια του Εργαστηρίου Καθηγήτρια Χαρά Σπηλιοπούλου για την ευκαιρία που μου έδωσε να βρεθώ σε αυτόν τον τόσο ιδιαίτερο χώρο.

Περισσότερο από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της παρούσας διδακτορικής διατριβής, Αναπληρωτή Καθηγητή Κωνσταντίνο Μωραΐτη, για το ενδιαφέρον θέμα που μου ανάθεσε, το οποίο έχει γίνει πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μου. Τον ευχαριστώ επίσης για την υποστήριξη, την καθοδήγηση και την άμεση ανταπόκριση για κάθε θέμα που προέκυπτε με τη διατριβή και όχι μόνο.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής για τα εποικοδομητικά σχόλια. Τον Καθηγητή Ευστράτιο Βαλάκο και τον Επίκουρο Καθηγητή Κωνσταντίνο Ηλιόπουλο ο οποίος, με μία μόνο διάλεξη, έστρεψε άθελά του το ενδιαφέρον μου στην Ανθρωπολογία όταν ακόμα ήμουν δευτεροετής προπτυχιακή φοιτήτρια.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω από καρδιάς το συνάδελφο και φίλο Δρ Αλέξανδρο Καρακωστή για τις πολύτιμες συμβουλές ως προς το στατιστικό κομμάτι της διατριβής. Μπορεί οι επαγγελματικές του υποχρεώσεις να τον οδήγησαν εκτός Ελλάδος, αλλά ήταν πάντα κοντά μου κάθε φορά που τον χρειαζόμουν.

Τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους δικούς μου ανθρώπους, που χωρίς την αγάπη και τη συμπαράστασή τους, η εκπόνηση και η ολοκλήρωση της διατριβής μου δε θα ήταν ποτέ δυνατή: τους γονείς μου Παναγιώτη και Βασιλική, τον αδερφό μου Σταύρο και τους κουμπάρους μου Κλειώ και Αλέξανδρο. Σας ευχαριστώ που πιστεύετε σε εμένα ακόμα και τις στιγμές που ούτε εγώ η ίδια δεν μπορώ.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

	Σελίδα
<b>ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ</b>	10
<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	16
<b>ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
<b>1 Εισαγωγή</b>	19
<b>2 Ανθρωπολογική διερεύνηση συμφурμένου σκελετικού υλικού</b>	
2.1 Διάκριση ανθρώπινων οστών από ζωικά και οστεόμορφα υλικά	22
2.2 Τοποθέτηση οστών σε ανατομική διάταξη	23
2.3 Εκτίμηση του αριθμού ατόμων	25
<b>3 Υπάρχουσες μέθοδοι ταξινόμησης των οστών κατ' άτομο</b>	
3.1 Οπτική επισκόπηση - Ταξινόμηση σε ζεύγη	27
3.2 Συμπλησίαση αρθρικών επιφανειών	28
3.3 Ηλικία θανάτου / Βαθμός συνοστέωσης επιφύσεων	29
3.4 Διαδικασία αποκλεισμού	30
3.5 Ταφονομία	30
3.6 Ταξινόμηση με μοριακές μεθόδους (DNA)	31
3.7 Οστεομετρική ταξινόμηση	32
<b>ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
<b>4 Σκοπός</b>	36
<b>5 Υλικό και Μεθοδολογία</b>	
5.1 Υλικό	38
5.2 Μεθοδολογία	39
5.2.1 Τύποι αρθρώσεων και μελετηθείσες διαρθρώσεις	39

5.2.2 Ληφθείσες μετρήσεις	43
5.2.3 Χρησιμοποιούμενες μεταβλητές	55
5.2.4 Εκτίμηση μεγέθους δείγματος	57
5.2.5 Έλεγχος επαναληψιμότητας μετρήσεων ( <i>intra-observer error</i> )	58
5.2.6 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα	61
5.2.7 Ανάλυση παλινδρόμησης	64
5.2.8 Υποθέσεις - Παραδοχές	66
5.2.9 Επίδραση του φύλου στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης	71
5.2.10 Επίδραση της ανατομικής πλευράς στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης	71
5.2.11 Τυφλή δοκιμασία ( <i>blind test</i> )	72
<b>6 Αποτελέσματα</b>	
6.1 Εκτίμηση μεγέθους δείγματος	73
6.2 Έλεγχος επαναληψιμότητας μετρήσεων	74
6.3 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα	78
6.4 Κανονική κατανομή	83
6.5 Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης	95
6.6 Γραμμικότητα	98
6.7 Κανονικότητα υπολοίπων	98
6.8 Ομοσκεδαστικότητα - Σταθερότητα διασποράς	109
6.9 Ανεξαρτησία	121
6.10 Πολυσυγγραμικότητα	124
6.11 Επίδραση του φύλου στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης	125
6.12 Επίδραση της ανατομικής πλευράς στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης	128
6.13 Τυφλή δοκιμασία ( <i>blind test</i> )	130
<b>7 Συζήτηση</b>	
7.1 Αξιολόγηση υπαρχόντων στατιστικών μεθόδων ταξινόμησης οστών κατ' άτομο	132



7.2 Αξιολόγηση παρούσας μεθόδου	136
7.3 Σύγκριση υπαρχόντων μεθόδων και παρούσας έρευνας	137
7.4 Μελλοντική έρευνα	139
<b>8 Συμπεράσματα</b>	<b>141</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b>	<b>143</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>145</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>147</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>154</b>

## ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

---

### Ιωάννα Π. Αναστοπούλου

Ημερομηνία γέννησης: 12/11/1988  
Τόπος γέννησης: Μαρούσι Αττικής  
Οικογενειακή κατάσταση: Έγγαμη, 1 παιδί  
Διεύθυνση κατοικίας: Μιχαήλ Νουάρου 6, Μαρούσι Τ.Κ. 15126  
E-mail: [ioanasto@med.uoa.gr](mailto:ioanasto@med.uoa.gr)  
Τηλέφωνο οικίας: 2108068982  
Κινητό: 6947404341

### Εκπαίδευση

---

**2012** Πτυχίο από το Τμήμα Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Λίαν Καλώς).

**2006** Απολυτήριο Λυκείου από το 2<sup>ο</sup> ΓΕΛ Αμαρουσίου (Άριστα).

### Επαγγελματική Εμπειρία

---

#### Εργαστηριακή εμπειρία

**2013-** Επιστημονική συνεργάτης (άμισθη εργασία)

Εργαστήριο Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Ανθρωπολογική εξέταση σκελετικού υλικού (εκτίμηση φύλου, ηλικίας, αναστήματος, φυλετικής καταγωγής), εξέταση σκελετικών κακώσεων και παθολογικών αλλοιώσεων.

Συμμετοχή σε ερευνητικές εργασίες (σχεδιασμός ερευνητικού πρωτοκόλλου, συλλογή και στατιστική επεξεργασία δεδομένων, συγγραφή ερευνητικής εργασίας).

**27/4-1/5/2015** Δικαστική Ανθρωπολόγος

Υπουργείο Εξωτερικών Κυπριακής Δημοκρατίας

Συμμετοχή στο πρόγραμμα ανασκαφής ομαδικών τάφων για τη διερεύνηση και ταυτοποίηση των Αγνοουμένων της Κύπρου από την Τουρκική εισβολή του 1974.

Κύρια καθήκοντα: ανασκαφή, περισυλλογή σκελετικού υλικού, ανθρωπολογική εξέταση.

### **Διδακτική εμπειρία στην Τριτοβάθμια Εκπαίδευση**

**7/6/2018** Διάλεξη με τίτλο «Τα οστά ως βιολογικό υλικό στη διερεύνηση ιατροδικαστικών υποθέσεων» σε μεταπτυχιακούς φοιτητές του προγράμματος «Εφαρμογές της Βιολογίας στην Ιατρική» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

**2015-** Εργαστηριακές ασκήσεις Δικαστικής Ανθρωπολογίας στο πλαίσιο του μαθήματος «Φαρμακολογία-Τοξικολογία» σε μεταπτυχιακούς φοιτητές του προγράμματος «Εφαρμογές της Βιολογίας στην Ιατρική» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

**2014-** Εργαστηριακές ασκήσεις Δικαστικής Ανθρωπολογίας στο πλαίσιο του κατ' επιλογήν υποχρεωτικού μαθήματος «Δικαστική Ανθρωπολογία» σε προπτυχιακούς φοιτητές της Ιατρικής Σχολής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Αντικείμενο: παρασκευή σκελετικού υλικού, κατ' άτομο διαχωρισμός των οστών, εκτίμηση βασικών βιολογικών γνωρισμάτων από τον σκελετό.

### **Διδακτική εμπειρία στη Μέση Εκπαίδευση**

**2017-** Διδασκαλία των μαθημάτων της Βιολογίας Β' και Γ' Λυκείου στο φροντιστήριο «Διακρότημα» στο Μαρούσι

**2014-2018** Διδασκαλία των μαθημάτων της Βιολογίας Γ' Λυκείου και καθημερινή μελέτη των μαθητών του Γυμνασίου στο φροντιστήριο «Διακρότημα» στο Χαλάνδρι

**2015-2017** Διδασκαλία των μαθημάτων της Βιολογίας γενικής παιδείας, της Βιολογίας ομάδας θετικού προσανατολισμού Γ' τάξης Ενιαίου Λυκείου και των

μαθημάτων Ανατομίας-Φυσιολογίας και Υγιεινής Γ' τάξης Επαγγελματικού Λυκείου στο φροντιστήριο «Διακρότημα» στο Νέο Ηράκλειο

**2014-2018** Διδασκαλία των μαθημάτων της Βιολογίας Β' και Γ' τάξης του Ενιαίου Λυκείου και των μαθημάτων Ανατομίας-Φυσιολογίας και Υγιεινής Γ' τάξης του Επαγγελματικού Λυκείου στο φροντιστήριο «Διακρότημα» στο Γαλάτσι

**2015-2016** Διδασκαλία του μαθήματος της Βιολογίας Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου και Χημείας Β' και Γ' Γυμνασίου στο φροντιστήριο «Άτομο» στο Περιστέρι

**2014-2016** Διδασκαλία του μαθήματος της Βιολογίας Γενικής Παιδείας και Θετικής Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου στο φροντιστήριο «Διακρότημα» στην Αγία Παρασκευή

**2013-2014** Διδασκαλία των μαθημάτων Βιολογίας Θετικής Κατεύθυνσης και Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου στο φροντιστήριο «Διαμαντής Ματθαίος» στο Ψυχικό

**2009-2014** Διδασκαλία των μαθημάτων Βιολογίας Θετικής Κατεύθυνσης και Γενικής Παιδείας Γ' Λυκείου στο φροντιστήριο «Σπουδή» στο Μαρούσι

### **Πρακτική άσκηση**

**13-30/6/2011** Εκπαίδευση σε θέματα διαχείρισης κρίσεων, ασκήσεων ετοιμότητας και μελέτες προσομοίωσης απειλών για τη δημόσια υγεία στο Εθνικό κέντρο Επιχειρήσεων Υγείας (ΕΚΕΠΥ)

**10-30/7/2011** Εκπαίδευση σε θέματα αποστολής ανθρωπιστικού υλικού μέσω του Ευρωπαϊκού Μηχανισμού Πολιτικής Προστασίας στο Κέντρο Επιχειρήσεων Πολιτικής Προστασίας (ΚΕΠΠ)

### **Δημοσιεύσεις σε ξενόγλωσσα περιοδικά με κριτές (peer-reviewed)**

**Anastopoulou I., Karakostis F.A., Moraitis K. (2018)** A reliable regression-based approach for reassociating human skeletal elements of the lower limbs from commingled assemblages. *Journal of Forensic Sciences*, doi: 10.1111/1556-4029.13884.

**Anastopoulou I.**, Karakostis F. A., Borrini M., Moraitis K. (2018). A statistical method for reassociating human tali and calcanei from a commingled context. *Journal of Forensic Sciences* 63(2):381-85.

**Anastopoulou I.**, Zorba E., Eliopoulos C., Moraitis K. (2017). Skeletal evidence of brucellosis in a medicolegal context: a report of two cases. *Romanian Journal of Legal Medicine* 25(1): 70-4.

**Anastopoulou I.**, Eliopoulos C., Valakos E.D., Manolis S.K. (2014) Application of Purkait's triangle method on a skeletal population from southern Europe. *Forensic Science International* 245: 203-e1.

#### **Ανακοινώσεις σε Διεθνή Συνέδρια**

---

Louka V., **Anastopoulou I.**, Moraitis K. A statistical method for the association of the occipital bone and the atlas vertebra in a commingled assemblage. 71<sup>st</sup> Annual Scientific Meeting of American Academy of Forensic Sciences (AAFS). Baltimore, Maryland. February 18-23, 2019.

**Anastopoulou I.**, Karakostis F.A., Borrini M. and Moraitis K. Osteometric sorting of commingled upper limb bones, 70<sup>th</sup> Annual Scientific Meeting of American Academy of Forensic Sciences (AAFS). Seattle, Washington. February 19-24, 2018.

**Anastopoulou I.**, Moraitis K. An osteometric method for reassociating the skeletal elements of the hip joint in commingled contexts. 19<sup>th</sup> Annual Conference of the British Association for Biological Anthropology and Osteoarchaeology (BABA0). Liverpool, UK. September 8-10, 2017.

**Anastopoulou I.**, Karakostis F.A., Borrini M. and Moraitis K. A statistical method for reassociating human tali and calcanei from a commingled context, 69<sup>th</sup> Annual Scientific Meeting of American Academy of Forensic Sciences (AAFS). New Orleans, Louisiana. February 13-18, 2017.

## **Ανακοινώσεις σε Ελληνικά Συνέδρια**

---

**Αναστοπούλου Ι.**, Μωραΐτης Κ. Ανθρωπολογική διερεύνηση των σκελετικών κακώσεων που προκαλούνται συνεπεία πτώσεως από ύψος, 37<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Βόλος, 21-23 Μαΐου, 2015.

Ζορμπά Ε., **Αναστοπούλου Ι.**, Μωραΐτης Κ. Η συμβολή των κυνοδόντων στην ιατροδικαστική ταυτοποίηση σκελετικού υλικού, 36<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Ιωάννινα, 8-10 Μαΐου, 2014.

Μωραΐτης Κ., **Αναστοπούλου Ι.**, Ζορμπά Ε., Σπηλιοπούλου Χ., Παπαδόδημα Σ. Ο ρόλος του δικαστικού ανθρωπολόγου στην ιατροδικαστική διερεύνηση περιστατικών διαμελισμού, 36<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Ιωάννινα, 8-10 Μαΐου, 2014.

**Αναστοπούλου Ι.**, Ζορμπά Ε., Μωραΐτης Κ. Ενδείξεις βρουκέλλωσης σε σκελετικό υλικό δικαστικού ενδιαφέροντος, 35<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Ναύπλιο, 23-25 Μαΐου, 2013.

Ζορμπά Ε., **Αναστοπούλου Ι.**, Μωραΐτης Κ. Οδοντομετρική διερεύνηση της χρησιμότητας της ρίζας του κυνόδοντα στην εκτίμηση της ηλικίας, 35<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Ναύπλιο, 23-25 Μαΐου, 2013.

**Αναστοπούλου Ι.**, Ηλιόπουλος Κ., Μανώλης Σ.Κ. Προσδιορισμός φύλου με τη μέθοδο Purkait σε σύγχρονο σκελετικό υλικό (The Athens Collection), 33<sup>ο</sup> Επιστημονικό συνέδριο της Ελληνικής Εταιρείας Βιολογικών Επιστημών (ΕΕΒΕ), Έδεσσα, 19-21 Μαΐου, 2011.

## **Υποτροφία Erasmus+**

---

Συμμετοχή στο ευρωπαϊκό εκπαιδευτικό πρόγραμμα κινητικότητας νέων και εργαζόμενων στον τομέα της νεολαίας με τίτλο «YMCA: Youth Mix Culture Adventure», Sfântu Gheorghe, Ρουμανία, 3-9 Δεκεμβρίου, 2017.

## **Ξένες Γλώσσες**

---

Άριστη γνώση της αγγλικής γλώσσας (Certificate of Proficiency in English–University of Cambridge, Certificate of Proficiency in English–University of Michigan)

Καλή γνώση της γαλλικής γλώσσας (Diplôme d' Études en Langue Française II)

## **Γνώσεις Πληροφορικής**

---

Πολύ καλή γνώση χειρισμού ηλεκτρονικού υπολογιστή όσον αφορά σε βασικές έννοιες πληροφορικής, διαχείριση αρχείων, επεξεργασία κειμένου, υπολογιστικά φύλλα, βάσεις δεδομένων, παρουσιάσεις και υπηρεσίες διαδικτύου. (E.C.D.L Core Certificate)

Καλή γνώση χειρισμού του στατιστικού προγράμματος IBM SPSS Statistics

## **Πρόσθετες Πληροφορίες**

---

**2014-** Εθελόντρια στα Special Olympics Hellas

**2012** Ευρωπαϊκή πιστοποίηση πρώτων βοηθειών (EFAC)

**2011-** Εθελόντρια νοσηλεύτρια στο Κοργιαλένιο-Μπενάκειο Νοσοκομείο του Ελληνικού Ερυθρού Σταυρού

**2002** Δίπλωμα απόκτησης μαύρης ζώνης από την Ελληνική Ομοσπονδία Καράτε (ΕΛΟΚ)

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Ο όρος συμφυρμός (commingling) χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο οστών διαφορετικών προελεύσεων. Η συνήθης χρήση του όρου είναι για οστά που ανήκουν σε περισσότερα του ενός άτομα. Παρ' όλα αυτά, συχνά παρατηρούνται οστά ζωικής προέλευσης να έχουν παρεισφρήσει στο εξετασθέν σκελετικό σύνολο. Σε κάθε περίπτωση, ο ρόλος του δικαστικού ανθρωπολόγου μετά την απομάκρυνση των ζωικών οστών και των οστεόμορφων υλικών είναι να ταξινομήσει κατ' άτομο τα ανευρεθέντα ανθρώπινα οστά προκειμένου να εκτιμηθεί ο αριθμός των ατόμων και να ξεκινήσει η ανθρωπολογική διερεύνηση του σκελετικού υλικού.

Ο συμφυρμός των οστών παρατηρείται συχνά σε γεγονότα μαζικών καταστροφών, όπως σε φυσικές καταστροφές, αεροπορικά ατυχήματα ή τρομοκρατικές ενέργειες. Απαντάται επίσης σε περιπτώσεις πολεμικών συγκρούσεων, οδικών τροχαίων ατυχημάτων ή αρχαιολογικών ομαδικών ταφών. Όσο ο αριθμός των απωλειών ζωής μεγαλώνει, τόσο πιο σύνθετη γίνεται η ανθρωπολογική διαχείριση του συμβάντος. Ο κατακερματισμός των οστών δε, δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο το όλο εγχείρημα. Το κάθε οστικό τεμάχιο πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστή μονάδα έως ότου αποδοθεί σε κάποιο άτομο. Στις υποθέσεις δικαστικού ενδιαφέροντος το ζήτημα του συμφυρμού πρέπει να επιλύεται όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία της ταυτοποίησης και να επιστραφεί η σορός του κάθε ατόμου στους οικείους. Αλλά ακόμα και στις αρχαιολογικές ομαδικές ταφές όπου το ζητούμενο δεν είναι η ταυτοποίηση, η ακριβής ταξινόμηση κατ' άτομο είναι απαραίτητη διαδικασία προκειμένου να εκτιμηθεί ο αριθμός των ενταφιασθέντων και να πραγματοποιηθεί η παλαιοδημογραφική μελέτη του ανασκαφέντος σκελετικού υλικού.

Στο γενικό μέρος της παρούσας διδακτορικής διατριβής γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή σχετικά με το πότε άρχισε να απασχολεί τους ανθρωπολόγους διεθνώς το ζήτημα του συμφυρμού σκελετικών συνόλων. Επιπλέον, γίνεται αναφορά



στις διαδικασίες που προηγούνται της ανθρωπολογικής εξέτασης κάθε σκελετού και βοηθούν στη διαπίστωση πιθανού συμφурμού, δηλαδή τη διάκριση των ανθρώπινων οστών από τα ζωικά και τα οστεόμορφα υλικά, την εκτίμηση του αριθμού των ατόμων που αντιπροσωπεύει το εξετασθέν σκελετικό υλικό και την τοποθέτηση του σκελετού σε ανατομική διάταξη. Τέλος, παρουσιάζονται οι υπάρχουσες μέθοδοι ταξινόμησης κατ' άτομο, έτσι ώστε να καταστεί σαφής ο στόχος της παρούσας διατριβής που είναι η ανάπτυξη μιας στατιστικής μεθόδου ταξινόμησης των συμφурμένων οστών κατ' άτομο, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε ανεξάρτητα, είτε σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές ανθρωπολογικές μορφοσκοπικές μεθόδους.

Στο ειδικό μέρος της διδακτορικής διατριβής, παρουσιάζεται το υλικό μελέτης καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, με αναφορά στις στατιστικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι εξισώσεις που αναπτύχθηκαν και έχουν ως στόχο την πρόβλεψη των μετρήσεων ενός οστού από μετρήσεις ενός άλλου ή άλλων οστών προκειμένου να αξιολογηθεί η ανατομική τους συνάφεια. Τέλος, αξιολογείται η χρησιμότητα και η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου μέσω προσομοιώσεων που έγιναν σε πραγματικά δικαστικά περιστατικά ανθρωπολογικού ενδιαφέροντος.

Η παρούσα διατριβή αποτελεί μία προσπάθεια συμβολής στην καθ' ημέρα δικαστική ανθρωπολογική διερεύνηση, όπου η επιτυχής ταξινόμηση ενός σκελετικού υλικού κατ' άτομο και η τοποθέτηση των οστών σε ανατομική διάταξη θα συμβάλλει καθοριστικά στη διαδικασία της ταυτοποίησης. Η ταυτοποίηση αποτελεί σημαντική πρόκληση για τον δικαστικό ανθρωπολόγο, αφού η έκθεση πραγματογνωμοσύνης που θα συντάξει θα βοηθήσει τόσο τις ανακριτικές αρχές να διαλευκάνουν μία υπόθεση, όσο και τους οικείους του θανόντα να λάβουν μια απάντηση σχετικά με τις συνθήκες και τα αίτια του θανάτου και να προχωρήσουν στην ταφή του σύμφωνα με τα ήθη και τις θρησκευτικές τους παραδόσεις.

# ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

# 1. Εισαγωγή

---

Το 1962 ο Wilton Marion Krogman εξέδωσε το πρώτο βιβλίο σχετικό με τη Δικαστική Ανθρωπολογία. Σήμερα, το “The Human Skeleton in Forensic Medicine” θεωρείται ιστορικής σημασίας σύγγραμμα. Στο εν λόγω σύγγραμμα, το ζήτημα του συμφυρμού των οστών αναφέρεται ακροθιγώς, χωρίς να παρέχονται συγκεκριμένες μέθοδοι για την επίλυσή του. Αργότερα, το 1979, ο Thomas Dale Stewart εκδίδει το βιβλίο “Essentials of Forensic Anthropology”. Αφιερώνει μόλις δύο σελίδες σε θέματα σχετικά με το συμφυρμό σκελετικού υλικού, καθώς θεωρεί πως ο μεγαλύτερος αριθμός των ανασκαφέντων σκελετών προέρχονται από μεμονωμένες ταφές. Επομένως, λόγω της μικρής συχνότητας εμφάνισης, ο συμφυρμός ενός σκελετικού συνόλου δε θεωρήθηκε ζήτημα μείζονος σημασίας, παρά το γεγονός ότι η βιβλιογραφία της περιόδου είχε ήδη ξεκινήσει να ασχολείται με θέματα που αφορούσαν στην ταυτοποίηση ατόμων από ομαδικές ταφές. Το 1957 οι Baker και Newman δημοσίευσαν μελέτη σχετικά με την ταυτοποίηση του ατόμου μέσω της ανάλυσης του βάρους των οστών (bone weight analysis), οι Eymann (1965) και McKern (1958) με τη βοήθεια μεθόδων υπεριώδους φθορισμού (ultraviolet fluorescence) και ο Guinn (1970) εφαρμόζοντας την μέθοδο της νετρονικής ενεργοποίησης (forensic neutron activation). Τέλος, το 1965 οι Snow και Folk πρότειναν έναν τρόπο υπολογισμού της πιθανότητας να ανήκουν στο ίδιο άτομο δύο οστά που βρέθηκαν σε μία ταφή μέσω ενός μαθηματικού τύπου. Συμπέραναν πως, εν απουσία οστών ίδιου τύπου, η πιθανότητα συμφυρμού του σκελετικού υλικού μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των ανευρεθέντων οστών.

Σήμερα, η πλειονότητα των υποθέσεων που εξετάζονται από τους δικαστικούς ανθρωπολόγους αφορά συνήθως μεμονωμένους σκελετούς. Παρ’ όλα αυτά, η φύση των περιστατικών που απαιτούν την ταξινόμηση των οστών κατ’ άτομο έχει αλλάξει. Το τρομοκρατικό χτύπημα στους Δίδυμους Πύργους της Νέας Υόρκης την 11<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2001, έστρεψε ξανά το ερευνητικό ενδιαφέρον στο θέμα της επίλυσης των ζητημάτων συμφυρμού των οστών διαφορετικών ατόμων. Εκτιμάται ότι κατά τη

διαχείριση του περιστατικού καταμετρήθηκαν 21.741 ανθρώπινα υπολείμματα. Έως το Δεκέμβριο του 2008, 1.625 (59%) άτομα ταυτοποιήθηκαν από το σύνολο των 2.751 που είχε δηλωθεί η εξαφάνισή τους. Από αυτά, τα 996 άτομα ταυτοποιήθηκαν με τη βοήθεια μίας μόνο επιστημονικής μεθόδου, η οποία στην πλειονότητα των περιπτώσεων (877 άτομα) ήταν η ανάλυση DNA. Οι ερευνητές που ασχολήθηκαν με την ιατροδικαστική διερεύνηση του περιστατικού αναφέρουν πως η ανάλυση DNA θεωρείται ως η πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος για την ταυτοποίηση των θυμάτων μαζικών καταστροφών, αλλά η εμπλοκή του δικαστικού ανθρωπολόγου είναι επίσης ζωτικής σημασίας (Gill και συν., 2011).

Στη χώρα μας, η εμπλοκή του δικαστικού ανθρωπολόγου στις περιπτώσεις μαζικών απωλειών ζωής ορίζεται από το Ειδικό Σχέδιο Διαχείρισης Ανθρώπινων Απωλειών (ΣΔΑΑ). Η ενεργοποίηση του εν λόγω σχεδίου γίνεται από το Γενικό Γραμματέα Πολιτικής Προστασίας, μετά από σχετικό αίτημα της φυσικής ηγεσίας της καθ' ύλη και κατά τόπο αρμόδιας Προανακριτικής Αρχής (Ελληνική Αστυνομία, Πυροσβεστικό Σώμα, Αρχηγείο Λιμενικού Σώματος / Ελληνικής Ακτοφυλακής, Αρχή Πολιτικής Αεροπορίας). Η αναγκαιότητα της παρουσίας του δικαστικού ανθρωπολόγου σε περιστατικά μαζικών απωλειών είναι έκδηλη, ειδικά μετά την πυρκαγιά της 23<sup>ης</sup> Ιουλίου 2018 στην Ανατολική Αττική. Στην εν λόγω καταστροφή έχασαν τη ζωή τους 97 άτομα. Σε ορισμένες περιπτώσεις πλήρους απανθράκωσης διαπιστώθηκε πως το εξετασθέν σκελετικό υλικό ανήκε σε περισσότερο του ενός άτομα. Ο ρόλος του δικαστικού ανθρωπολόγου σε αυτά τα περιστατικά ήταν η κατ' άτομο ταξινόμηση και η λήψη οστικού δείγματος από το καθένα προκειμένου να αποσταλεί για εξέταση DNA. Επιπλέον, στην πληγείσα περιοχή ανευρέθηκαν οστικά τεμάχια τα οποία δεν ήταν δυνατό να αποδοθούν σε κάποιο άτομο *in situ*. Τα τεμάχια αυτά απεστάλησαν για δικαστική ανθρωπολογική εξέταση έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν είναι όντως ανθρώπινα ή ζωικά ή αν επρόκειτο για κάποιο οστεόμορφο υλικό.

Δεδομένου λοιπόν ότι έχει πλέον δημιουργηθεί μία εκ των υστέρων ανάγκη για την επίλυση των ζητημάτων που ανακύπτουν κατά τη μελέτη συμφορμένου σκελετικού υλικού δεν έχουν αναπτυχθεί έως σήμερα κάποιες ευρέως αποδεκτές μέθοδοι για αυτό το σκοπό. Η έλλειψη ευρέως εφαρμόσιμων μεθόδων οφείλεται τόσο στις ιδιαιτερότητες της περιοχής ανεύρεσης σκελετικού υλικού όσο και στις

διαφορετικές συνθήκες ταφής, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν συμφурμό των οστών (Byrd και Adams 2009· Osterholtz και συν., 2014· Ubelaker, 2008). Λόγω των ιδιαιτεροτήτων αυτών, σε κάθε περιστατικό που παρατηρείται συμφурμός των οστών προκύπτουν διαφορετικά ερωτήματα και συνεπώς απαιτείται ξεχωριστός τρόπος προσέγγισης (Ubelaker, 2014). Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένα ενιαίο πρωτόκολλο καταγραφής των οστών που παρουσιάζουν συμφурμό (Osterholtz και συν., 2014· Ubelaker, 2008), τελευταία παρατηρείται έντονη ερευνητική κινητικότητα γύρω από το εν λόγω θέμα και προσπάθεια τόσο των δικαστικών ανθρωπολόγων όσο και των αρχαιολόγων να αναπτύξουν νέες μεθόδους για την επίλυση σχετικών ζητημάτων (Adams και Byrd, 2014· Osterholtz και συν., 2014).

## 2. Ανθρωπολογική διερεύνηση συμφурμένου σκελετικού υλικού

---

### 2.1 Διάκριση ανθρώπινων οστών από ζωικά και οστεόμορφα υλικά

Πολύ συχνά, όταν παραλαμβάνεται ένα προς εξέταση σκελετικό υλικό, παρατηρείται πως σε αυτό έχουν παρεισφρήσει ζωικά οστά ή διάφορα οστεόμορφα υλικά. Είναι λοιπόν απαραίτητο να απομακρυνθούν από αυτό όλα τα υλικά ζωικής ή μη βιολογικής προέλευσης προκειμένου να ξεκινήσει η ανθρωπολογική εξέταση.

Όσον αφορά στη διάκριση των οστών ή των δοντιών από οστεόμορφα υλικά, όταν το προς εξέταση σκελετικό υλικό δεν παρουσιάζει έντονο κατακερματισμό, η διαδικασία είναι απλή μέσω της οπτικής επισκόπησης. Η μακροσκοπική εξέταση επικεντρώνεται στον εντοπισμό ανατομικών γνωρισμάτων ή ιδιαίτερων βιολογικών χαρακτηριστικών. Ο κατακερματισμός, ωστόσο, δυσχεραίνει ή καθιστά αδύνατη τη συγκεκριμένη διαδικασία, καθώς τα πολύ μικρού μεγέθους θραύσματα είναι μη αναγνωρίσιμα. Ο κατακερματισμός των οστών μπορεί να προκληθεί σκοπίμως, όπως στην περίπτωση εγκληματικών ενεργειών κατά τις οποίες ο δράστης προσπαθεί να επιτύχει φυσική, χημική ή θερμική αλλοίωση της σορού στην προσπάθειά του να εξαφανίσει οποιαδήποτε ενοχοποιητικά στοιχεία. Μπορεί όμως να προκύψει και τυχαία λόγω της επίδρασης ταφονομικών παραγόντων όπως η έκθεση των οστών στα στοιχεία της φύσης, η λεύκανση λόγω έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία και οι αλλοιώσεις συνεπεία της δράσης των σαρκοβόρων ζώων, του νερού, του εδάφους ή του ριζικού συστήματος των φυτών (Christensen και συν., 2014).

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση κατά την οποία οστά και οστεόμορφα υλικά μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο να διαχωριστούν είναι σε θανάτους από πυρκαγιές, με αποτέλεσμα την απανθράκωση του θύματος ή των θυμάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις συχνά παρατηρείται σχηματισμός συσσωματωμάτων τμημάτων οστών με απανθρακωμένα και τηγμένα αντικείμενα, όπως οικοδομικά υλικά, έπιπλα και συσκευές. Άλλη περίπτωση που ο διαχωρισμός των οστικών τεμαχίων είναι δυσχερής είναι η αποτέφρωση ως εναλλακτική πρακτική κήδευσης. Γενικά, η έκθεση των οστών

σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί χρωματικές αλλοιώσεις, επιφανειακή λύση της συνέχειας, στρέβλωση και συρρίκνωση των οστών που συνοδεύονται από σταδιακή απώλεια των οργανικών τους συστατικών (Correia, 1997· White και συν., 2011), πράγμα που δυσχεραίνει την αναγνώρισή τους.

Σε κάθε περίπτωση, όταν μακροσκοπικά είναι αδύνατος ο διαχωρισμός των ανθρώπινων οστών από ζωικά ή από οστεόμορφα υλικά εφαρμόζονται ακτινογραφικές, μικροσκοπικές ή ιστολογικές μέθοδοι. Ακτινογραφικά, ο οστίτης και οι οδοντικοί ιστοί είναι πιο ακτινοσκοπεύσιμοι λόγω του ανόργανου περιεχομένου τους, πράγμα που τους διαφοροποιεί από διάφορα μη εφαιλατωμένα οργανικά υλικά. Επιπλέον, ακτινογραφικά είναι αναγνωρίσιμες κάποιες ανατομικές δομές όπως οι οστεοδοκίδες του σπογγώδους οστού και η πολφική κοιλότητα της μύλης των δοντιών. Η μικροσκοπική ή ιστολογική εξέταση μπορεί να εντοπίσει μικροδομές του οστίτη ιστού ή των δοντιών όπως οι οστεώνες της συμπαγούς μοίρας των οστών ή τα πρίσματα της αδαμαντίνης των δοντιών (Ubelaker, 1998). Η τομή και η ιστολογική παρατήρηση των δειγμάτων θα πρέπει να γίνεται μόνο όταν είναι απολύτως απαραίτητο, καθώς πρόκειται για καταστρεπτική μέθοδο.

## **2.2 Τοποθέτηση των οστών σε ανατομική διάταξη**

Για να ελεγχθεί εάν υπάρχει συμφυρμός τότε τα οστά τοποθετούνται σε ανατομική διάταξη κι εξετάζεται αν υπάρχουν πλεονάζοντα οστά. Αυτό φυσικά προϋποθέτει την ύπαρξη μικρού αριθμού ατόμων στο δείγμα, αλλιώς ο συμφυρμός είναι εμφανής και η διαδικασία περιττή στην παρούσα φάση. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις που το σκελετικό υλικό αποτελείται από ασύντακτα οστά, ενώ μπορεί να παραληφθεί αν τα οστά συνδέονται με μαλακά μόρια.

Με τον όρο ανατομική διάταξη εννοούμε την τοποθέτηση του σκελετού πάνω σε επίπεδη επιφάνεια, σε ύπτια θέση, με τα άκρα σε έκταση, τις παλάμες στραμμένες προς τα επάνω και τα πέλματα παράλληλα με την επιφάνεια. Πρόκειται για μία χρονοβόρα, αλλά απολύτως απαραίτητη διαδικασία, καθώς η εξέταση όλων των

οστών του ανθρώπινου σκελετού θα ήταν αδύνατη αν δε γινόταν με έναν οργανωμένο τρόπο.

Σε περιπτώσεις ενταφιασμένων σκελετών, αν εντοπιστούν μεμονωμένα πλεονάζοντα οστά, μπορεί να θεωρηθεί τυχαίο γεγονός, κατάλοιπο παλαιότερης ταφής. Αν όμως ο αριθμός είναι μεγαλύτερος, τότε διαπιστώνεται η ύπαρξη περισσότερων ατόμων στο εξεταζόμενο σκελετικό σύνολο και τοποθετούμε σε ανατομική διάταξη και τον επόμενο ή τους επόμενους σκελετούς. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, πρέπει να εφαρμοστεί μία σειρά οπτικών ή/και στατιστικών τεχνικών που συνοπτικά αναφέρονται παρακάτω. Με αυτόν τον τρόπο κάθε άτομο θα τοποθετηθεί σε ανατομική διάταξη προκειμένου να ξεκινήσει η ανθρωπολογική εξέταση.

Σε κάθε περίπτωση, οι ανθρωπολογικές μέθοδοι εφαρμόζονται αποτελεσματικότερα σε όσο το δυνατόν πιο ακέραιους σκελετούς (Byrd και Adams, 2003). Ο προσδιορισμός του φύλου στα ενήλικα άτομα πραγματοποιείται συνήθως από τα οστά της πυέλου και το κρανίο (Phenice, 1969· Bass, 1995). Η εκτίμηση ηλικίας βασίζεται σε συνδυασμό μεθόδων από ανατομικούς σχηματισμούς όπως η ηβική σύμφυση, το στερνικό άκρο της 4<sup>ης</sup> πλευράς ή τα δόντια (Brooks και Suchey, 1990· Iscan και συν., 1984, 1985· Brothwell, 1981). Η εκτίμηση της φυλετικής καταγωγής γίνεται κατά κανόνα από το κρανίο και την κάτω γνάθο (Krogman, 1962· Brues, 1977· Rhine, 1990), ενώ άλλα επιπλέον στοιχεία μπορούν να προκύψουν και από την εξέταση του μετακρανιακού σκελετού. Ο υπολογισμός του αναστήματος γίνεται συνήθως με τη μέτρηση του μέγιστου μήκους των μακρών οστών (Trotter, 1970· Jantz, 1992). Όσον αφορά στα ανήλικα άτομα, αν και υπάρχουν μέθοδοι για τον προσδιορισμό του φύλου, αυτοί σπανίως εφαρμόζονται σε δικαστικές υποθέσεις. Ο λόγος είναι ότι οι μορφολογικές διαφορές των οστών μεταξύ των δύο φύλων εμφανίζονται κατά την εφηβεία κι έτσι οι υπάρχουσες μέθοδοι έχουν χαμηλό ποσοστό ακρίβειας. Η εκτίμηση ηλικίας των ανήλικων ατόμων γίνεται κυρίως από τη μέτρηση του μήκους των μακρών οστών (Stewart, 1979), τη συνοστέωση των πρωτογενών πυρήνων οστέωσης (Stewart, 1979), τη διάπλαση και την ανατολή των δοντιών (Moorrees και συν., 1963a· 1963b· Schour και Massler, 1940), καθώς και από τη συνοστέωση των επιφύσεων των οστών (Buikstra και Ubelaker, 1994). Είναι προφανές λοιπόν πως για να δημιουργηθεί ένα πλήρες βιολογικό προφίλ μέσω της



ανθρωπολογικής εξέτασης, ο υπό εξέταση σκελετός θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ακέραιος.

### 2.3 Εκτίμηση του αριθμού ατόμων

Για την εκτίμηση του αριθμού των ατόμων που αντιπροσωπεύει ένα σκελετικό υλικό, χρησιμοποιούνται ευρέως οι τεχνικές του Ελαχίστου Αριθμού Ατόμων (ΕΑΑ) (Minimum Number of Individuals - MNI) και του Πιθανού Αριθμού Ατόμων (ΠΑΑ) (Most Likely Number of Individuals - MLNI). Προϋπόθεση για την εφαρμογή και των δύο τεχνικών είναι η στοιχειωδώς καλή διατήρηση των οστών ώστε να είναι αναγνωρίσιμα. Στην παλαιοδημογραφία, η εκτίμηση του αριθμού των ατόμων είναι ζωτικής σημασίας για τη μελέτη ενός αρχαιολογικού πληθυσμού, ενώ στις δικαστικές υποθέσεις αποτελεί το πρώτο βήμα για την ταυτοποίηση.

Ο πιο απλός τρόπος υπολογισμού του Ελάχιστου Αριθμού Ατόμων είναι η ταξινόμηση των οστών ανά τύπο και πλευρά και η επιλογή των οστών με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Αν δηλαδή, τα οστά με τη μεγαλύτερη συχνότητα είναι τα δεξιά μηριαία, ο Ελάχιστος Αριθμός Ατόμων σε ένα σκελετικό σύνολο θεωρείται ίσος με τον αριθμό των δεξιών μηριαίων που ανευρέθηκαν. Μια παραλλαγή του Ελάχιστου Αριθμού Ατόμων είναι ο υπολογισμός του Ελάχιστου Γενικού Συνόλου (EGN) (Grand Minimum Total - GMT). Για τον υπολογισμό του Ελάχιστου Γενικού Συνόλου χρησιμοποιούνται μόνο τα διφυή οστά. Η εκτίμηση πραγματοποιείται με τη χρήση του ακόλουθου τύπου:

$$\text{Ελάχιστο Γενικό Σύνολο} = \Delta E + AP - Z$$

όπου: ΔΕ - δεξιά οστά ενός τύπου, AP - αριστερά οστά ίδιου τύπου, Z - ζεύγη οστών

Το Ελάχιστο Γενικό Σύνολο συνήθως δίνει ως εκτίμηση μεγαλύτερο αριθμό ατόμων συγκριτικά με την παραδοσιακή μέθοδο του Ελάχιστου Αριθμού Ατόμων,

αφού συνυπολογίζει το γεγονός ότι τα οστά ίδιου τύπου που είναι μονοφυή ανήκουν σε διαφορετικά άτομα.

Ο υπολογισμός του Πιθανού Αριθμού Ατόμων αποτελεί μία παραλλαγή του Δείκτη Lincoln (Lincoln Index - LI) με βελτιωμένη ακρίβεια εκτίμησης (Adams και Konigsberg, 2004). Ο Δείκτης Lincoln χρησιμοποιείται ευρέως για ζωοαρχαιολογικό σκελετικό υλικό, καθώς επίσης και για την μελέτη αρτίγωνων πληθυσμών ζώων. Ο υπολογισμός του Πιθανού Αριθμού Ατόμων γίνεται με τον παρακάτω μαθηματικό τύπο:

$$\text{Πιθανός Αριθμός Ατόμων} = [(AP + 1) \times (\Delta E + 1) / (Z + 1)] - 1$$

όπου: ΔΕ - δεξιά οστά ενός τύπου, AP - αριστερά οστά ίδιου τύπου, Z - ζεύγη οστών

Αν το αποτέλεσμα της εξίσωσης είναι δεκαδικός αριθμός, δεν στρογγυλοποιείται αλλά ως Πιθανός Αριθμός Ατόμων θεωρείται το ακέραιο μέρος του. Για παράδειγμα αν μετά την αντικατάσταση των δεδομένων στον τύπο προκύψει το αποτέλεσμα 12,8 ως Πιθανό Αριθμό Ατόμων θεωρούμε το 12 και όχι το 13. Το σφάλμα εκτίμησης είναι αμελητέο όταν στο δείγμα υπάρχουν πάνω από 7 ζεύγη διφυών οστών (Robson και Regier, 1964). Επίσης, είναι δυνατός ο υπολογισμός του διαστήματος εμπιστοσύνης (confidence interval - CI) για τον Πιθανό Αριθμό Ατόμων. Το 95% CI υπολογίζεται με τη βοήθεια του τύπου:

$$\text{Πιθανός Αριθμός Ατόμων} \pm 1.96v^*$$

όπου:  $v^* = (AP + 1) (\Delta E + 1) (AP - Z) (\Delta E - Z) / (Z + 1)^2 (Z + 2)$ , ΔΕ - δεξιά οστά ενός τύπου, AP: αριστερά οστά ίδιου τύπου, Z - ζεύγη οστών.

Σημειωτέον, το κατώτερο όριο του διαστήματος εμπιστοσύνης του Πιθανού Αριθμού Ατόμων δε μπορεί να είναι μικρότερο από τον Ελάχιστο Αριθμό Ατόμων.

Συμπερασματικά, ενώ ο Ελάχιστος Αριθμός Ατόμων εκτιμά τον αριθμό των ατόμων που σίγουρα υπάρχουν στο δείγμα, ο Πιθανός Αριθμός Ατόμων εκτιμά τον αριθμό των ατόμων που υπήρχαν στον πληθυσμό από τον οποίο προήλθε το δείγμα.

### 3. Υπάρχουσες μέθοδοι ταξινόμησης οστών κατ' άτομο

---

#### 3.1 Οπτική επισκόπηση - Ταξινόμηση σε ζεύγη

Η οπτική επισκόπηση βοηθά στην ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά του οστού. Αξιολογούνται υποκειμενικά χαρακτηριστικά όπως η χροιά και η υφή του οστού, αλλά και πιο αντικειμενικά όπως για παράδειγμα το μήκος, η ευρωστία και το μυϊκό ανάγλυφο.

Ουσιαστικά, τα οστά ταξινομούνται με βάση το αν "μοιάζουν" να ανήκουν στο ίδιο άτομο. Προϋπόθεση για την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου είναι η καλή διατήρηση των οστών, καθώς σε κατακερματισμένα οστά είναι δύσκολη η αξιολόγηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών.

Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της οπτικής επισκόπησης σε περιπτώσεις συμφурμού είναι για την ταξινόμηση σε ζεύγη των διφυών οστών. Η οπτική επισκόπηση των οστών για την ταξινόμησή τους σε ζεύγη θεωρείται μία από τις πρώτες μεθόδους ταξινόμησης. Συμπεριλαμβάνεται στο πρωτόκολλο του Snow (1948) και παρά το γεγονός ότι έως και σήμερα θεωρείται αποτελεσματική, υπάρχουν ελάχιστες έως καθόλου μεταγενέστερες έρευνες που να την επιβεβαιώνουν. Για να διευκολυνθεί η διαδικασία, τα οστά ταξινομούνται ανά τύπο, ανατομική πλευρά και μέγεθος. Τα οστά ίδιου τύπου, αλλά διαφορετικής ανατομικής πλευράς που μοιάζουν σε ευρωστία και μυϊκό ανάγλυφο θεωρούμε ότι ανήκουν στο ίδιο άτομο.

Επειδή όμως η διαδικασία βασίζεται κυρίως σε υποκειμενικά κριτήρια, η μέθοδος δεν μπορεί να σταθεί μόνη της. Είναι προτιμότερο να εφαρμόζεται προκειμένου να αποκλείσει κάποιο πιθανό ζεύγος οστών. Τέλος, είναι χρήσιμη η εφαρμογή της στην τελική επιβεβαίωση της ταξινόμησης, όταν δηλαδή τα οστά έχουν ήδη διαχωριστεί με τη βοήθεια άλλων μεθόδων.

### 3.2 Συμπλησίαση αρθρικών επιφανειών

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην ανατομική συνάφεια των αρθρικών επιφανειών των οστών που ανήκουν στην ίδια άρθρωση.

Κατά την εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι και πάλι πιο ισχυρό το στοιχείο του αποκλεισμού. Πιο συγκεκριμένα, όταν οι αρθρικές επιφάνειες δύο οστών συναρμόζουν, μπορούμε να θεωρήσουμε πως τα οστά αυτά πιθανότατα ανήκουν στο ίδιο άτομο. Αντιστρόφως, αν οι αρθρικές επιφάνειες δε συναρμόζουν, είναι αποδεκτό να θεωρήσουμε πως τα οστά αυτά αποκλείεται να ανήκουν στο ίδιο άτομο.

Η αξιοπιστία της εν λόγω διαδικασίας εξαρτάται από το βαθμό συναρμογής των δύο αρθρικών επιφανειών, αλλά και από τον πληθυσμό στον οποίο εφαρμόζεται (SWGANTH, 2012). Επομένως, κατά την εφαρμογή της από κάποιο εργαστήριο θα πρέπει να συνυπολογιστούν τα πιθανά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του κάθε πληθυσμού αλλά και ο τύπος της άρθρωσης. Στον πίνακα που ακολουθεί, οι αρθρώσεις του σώματος ταξινομούνται ανάλογα με το πόσο ισχυρά συναρμόζουν οι αρθρικές επιφάνειες των οστών που συμμετέχουν.

**Πίνακας 3.1** Ταξινόμηση των οστών ανάλογα με το βαθμό συναρμογής των αρθρικών επιφανειών των αρθρώσεων.

Ισχυρή συναρμογή	Μέτρια συναρμογή	Μικρή συναρμογή
Κρανίο, κάτω γνάθος	Κρανίο, Α1 (άτλας)	Πλευρές, θωρακικοί σπόνδυλοι
Σπόνδυλοι	Κνήμη, περόνη	Λαβή στέρνου, κλείδα
Ο5, Ιερό οστό	Μηριαίο οστό, κνήμη	Βραχιόνιο οστό, ωμοπλάτη
Βραχιόνιο, ωλένη	Ανώνυμο, μηριαίο οστό	
Ανώνυμο, ιερό οστό	Επιγονατίδα, μηριαίο οστό	
Κνήμη, αστράγαλος	Σκαφοειδές, κερκίδα	
Ωλένη, κερκίδα	Καρπιαία οστά**	
Μετατάρσια*	Καρπιαία οστά, μετακάρπια	
Μετακάρπια*		
Ταρσιαία οστά		
Ταρσιαία οστά, μετατάρσια		

\*Το 1<sup>ο</sup> μετακάρπιο και το 1<sup>ο</sup> μετατάρσιο δεν αρθρώνονται ισχυρά με τα υπόλοιπα.

\*\*Η άρθρωση με το πισοειδές είναι πολύ μικρή σε μέγεθος ώστε να γίνει η συναρμογή με ασφάλεια.

Με την εφαρμογή αποκλειστικά αυτής της μεθόδου είναι δυνατή η κατ' άτομο ταξινόμηση ενός συμφυρμένου σκελετικού δείγματος, υπό την προϋπόθεση να περιλαμβάνει μικρό αριθμό ατόμων. Άλλη προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η καλή διατήρηση του οστού, αλλά κυρίως η ακεραιότητα της αρθρικής επιφάνειας. Η ταξινόμηση μέσω του ελέγχου της ανατομικής συνάφειας δεν προτείνεται σε δείγματα με μεγάλο αριθμό ατόμων και παρόμοιο βιολογικό προφίλ (πχ. άνδρες ηλικίας 17-19 ετών).

### **3.3 Ηλικία θανάτου / Βαθμός συνοστέωσης επιφύσεων**

Ένας άλλος παράγοντας που πρέπει να συνυπολογιστεί όταν μελετώνται συμφυρμένα οστά είναι η ηλικία θανάτου των ατόμων που αποτελούν το εξεταζόμενο σκελετικό σύνολο. Ακόμα και ένα οστό να έχει περισυλλεγεί ανά άτομο, αν υπάρχει μεγάλη ηλικιακή διαφορά μεταξύ των ατόμων, ο κατ' άτομο διαχωρισμός πραγματοποιείται με μεγάλη ακρίβεια. Όμως, αν τα άτομα είναι κοντά ηλικιακά, η εν λόγω προσέγγιση δεν είναι αποτελεσματική.

Αρχικά, ένας απλός διαχωρισμός των οστών που ανήκουν σε ενήλικα και των οστών που ανήκουν σε ανήλικα άτομα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ χρήσιμα αποτελέσματα σχετικά με τα άτομα που υπάρχουν στο δείγμα. Για τα μακρά οστά, λαμβάνεται υπόψιν ο βαθμός συνοστέωσης των επιφύσεων. Ωστόσο, πρέπει να συνυπολογιστεί το γεγονός ότι η συνοστέωση των επιφύσεων συνήθως συμβαίνει ηλικιακά νωρίτερα στα θήλεα άτομα σε σύγκριση με τα αρρενα. Επιπλέον, ο χρόνος και ο βαθμός συνοστέωσης είναι διαφορετικός ανάλογα με τον τύπο του οστού. Για παράδειγμα, ενώ η άπω επίφυση της κνήμης ενός εφήβου μπορεί να έχει συνοστεωθεί πλήρως και να δίνει την εντύπωση ενήλικου ατόμου, το στερνικό άκρο της κλείδας να μην έχει συνοστεωθεί καθόλου. Τέλος, πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως ένα μεγάλο χρονικό διάστημα υπάρχει ανάμεσα στην αρχόμενη και την πλήρη συνοστέωση των επιφύσεων (Ubelaker, 1987).

### **3.4 Διαδικασία αποκλεισμού**

Η διαδικασία αποκλεισμού είναι πολύ χρήσιμη σε περιπτώσεις συμφυρμού μικρού αριθμού ατόμων με διαφορετικό βιολογικό προφίλ. Όμως, όσο ο αριθμός των συμφυρμένων ατόμων μεγαλώνει, η διαδικασία αποκλεισμού δυσχεραίνει καθώς είναι δύσκολο να περιορίσει κανείς ένα μεγάλο αριθμό υποψηφίων οστών και να τα αποδώσει σε ένα μόνο άτομο με μοναδικό κριτήριο ότι δεν ανήκει στα υπόλοιπα άτομα του δείγματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις λοιπόν, είναι προτιμότερο να αξιολογηθεί πρώτα η ανατομική συνάφεια των αρθρώσεων και η μορφολογία των οστών. Τα οστά που δεν θα αποδοθούν σε κάποιο άτομο μπορούν στο τέλος να ταξινομηθούν με βάση τη διαδικασία του αποκλεισμού.

### **3.5 Ταφονομία**

Ως ταφονομία ορίζουμε την επιστημονική μελέτη του συνόλου των μεταθανάτιων διεργασιών που επενεργούν σε έναν οργανισμό από τη στιγμή της έλευσης του θανάτου μέχρι τη στιγμή της ανάλυσης των υπολειμμάτων και επηρεάζουν τη διατήρηση, εξέταση ή περισυλλογή νεκρών οργανισμών καθώς και την αναπαράσταση των συνθηκών θανάτου τους (Sorg και Haglund, 1996 · Ubelaker, 2002). Μετά το θάνατο, η σταδιακή αποσύνθεση του ανθρώπινου σώματος υπό την επίδραση διαφόρων παραγόντων και κυρίως μικροοργανισμών έχει ως αποτέλεσμα την έκθεση των οστών στο περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής, ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών παραγόντων μπορεί να προκαλέσει ευδιάκριτες μορφολογικές αλλοιώσεις στα οστά. Η λίστα των ταφονομικών παραγόντων είναι ιδιαίτερα εκτενής. Παράγοντες του ταφικού περιβάλλοντος όπως η οξύτητα του εδάφους, η άσκηση μηχανικών δυνάμεων, η δράση των εδαφικών μικροοργανισμών και του ριζικού συστήματος των φυτών, αλλά και η χρώση και η επικάλυψη ανόργανων αλάτων έχουν άμεση επίδραση στη σύσταση και στη μηχανική συμπεριφορά των οστών του σκελετού. (Μωραΐτης, 2015). Η ταφονομία παρέχει στοιχεία σε πολλά στάδια της ανθρωπολογικής διερεύνησης, ένα εκ των οποίων και η κατ' άτομο ταξινόμηση.

Οστά και δόντια ταφονομικά αλλοιωμένα από ρίζες φυτών, μικροοργανισμούς, υγρασία, φωτιά ή χρωστικές ουσίες εμφανίζουν σημαντικές ομοιότητες ή διαφορές στη διατήρησή τους που μπορούν δυνητικά να συμβάλουν στον κατ' άτομο διαχωρισμό. Πιο συγκεκριμένα, τα ταφονομικά μοτίβα μπορούν να γίνουν ιδιαίτερα εξατομικευμένα, ειδικά σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται ιδιόμορφες συνθήκες, όπως για παράδειγμα σε περίπτωση χρώσης διαδοχικών οστών από τη σκουριά ενός φερμουάρ. Φυσικά, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο εμφάνισης διαφορετικών ταφονομικών αλλοιώσεων στα οστά του ίδιου ατόμου λόγω, παραδείγματος χάρη, απεξάρθρωσης και διασκορπισμού των οστών. Συνεπώς, η αξιολόγηση των ταφονομικών αλλοιώσεων συμβάλλει στην ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο, αλλά κυρίως για να επιβεβαιώσει και όχι για να αποκλείσει πως δύο ή περισσότερα οστά ανήκουν στο ίδιο άτομο.

### **3.6 Ταξινόμηση με μοριακές μεθόδους (DNA)**

Η εξέταση DNA παρέχει εξαιρετικά ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με τον κατ' άτομο διαχωρισμό. Θεωρητικά, θα μπορούσε να ληφθεί δείγμα από κάθε εξεταζόμενο οστό και μέσω της ανάλυσης DNA να αποδοθεί στο κατάλληλο άτομο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους κάτι τέτοιο δεν είναι δυνατό (Anastorouli και συν. 2018a). Για παράδειγμα, ορισμένα ελλιπώς διατηρημένα δείγματα οστού μπορεί να μην είναι κατάλληλα για ανάλυση DNA, πράγμα αρκετά συνηθισμένο σε υγρά περιβάλλοντα αλλά και σε άλλες συνθήκες ταφής. Στις περιπτώσεις αυτές, το γενετικό υλικό κατακερματίζεται και η πραγματοποίηση αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (PCR) γίνεται από δύσκολη έως αδύνατη. Επιπλέον, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος επιμόλυνσης του εξεταζόμενου DNA και το γεγονός ότι η εξέταση είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και απαιτεί τη χρήση ειδικού εξοπλισμού. Συνεπώς, η εφαρμογή της στο πεδίο ή σε περιπτώσεις που ο αριθμός των εμπλεκόμενων οστών είναι πολύ μεγάλος είναι απαγορευτική. Εντέλει, η ανάλυση του γενετικού υλικού είναι καταστρεπτική μέθοδος. Αν έπρεπε να ληφθεί δείγμα από όλα τα εξεταζόμενα οστά,

ένα μεγάλο ποσοστό του σκελετού θα καταστρεφόταν πριν ακόμα φτάσουμε στην ανθρωπολογική εξέταση.

Η ανάλυση DNA λοιπόν, θα πρέπει να μην προηγείται της ανθρωπολογικής εξέτασης. Μέσω των ανθρωπολογικών μεθόδων το κάθε διαθέσιμο οστό θα πρέπει να αποδίδεται στο κατάλληλο άτομο και η ανάλυση DNA απλά να επιβεβαιώνει την ταυτότητα του ατόμου, αν αυτό είναι το ζητούμενο (στις αρχαιολογικές ταφές παραδείγματος χάρη δεν τίθεται θέμα ταυτοποίησης). Συμπερασματικά, ακόμα και στην εποχή του DNA, υπάρχει ακόμα ανάγκη για την ανάπτυξη νέων κι αξιόπιστων ανθρωπολογικών μεθόδων για τον κατ' άτομο διαχωρισμό των οστών που έχουν υποστεί συμφυρμό.

### **3.7 Οστεομετρική ταξινόμηση**

Οι μετρικές μέθοδοι βασίζονται στη δημιουργία στατιστικών μοντέλων που έχουν σκοπό να αξιολογήσουν το μέγεθος και το σχήμα ενός σκελετικού στοιχείου. Η εφαρμογή μετρικών μεθόδων σε περιπτώσεις συμφυρμού, εξαλείφει την υποκειμενική κρίση του παρατηρητή και παρέχει μία πιο αντικειμενική βάση πάνω στην οποία μπορεί να γίνει η κατ' άτομο ταξινόμηση. Το βασικό πλεονέκτημα των εν λόγω μεθόδων είναι ότι συμβάλλουν στον κατ' άτομο διαχωρισμό των οστών που δεν θα μπορούσαν να διαχωριστούν με οπτική επισκόπηση ή συμπλησίαση των αρθρικών τους επιφανειών (SWGANTH, 2012). Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις που τα οστά δεν αρθρώνονται μεταξύ τους ή όταν η συναρμογή τους δεν είναι ισχυρή (πχ. κεφαλή βραχιονίου-ωμογλήνη ωμοπλάτης). Απαντάται επίσης στις περιπτώσεις που υπάρχουν κατακερματισμένα οστά. Προϋπόθεση για την εφαρμογή μετρικών μεθόδων σε κατακερματισμένα οστά είναι η καλή διατήρηση κάποιου ανατομικού σχηματισμού πάνω στον οποίο μπορεί να ληφθεί η μέτρηση.

Η πρώτη μελέτη που ασχολήθηκε με το θέμα του συμφυρμού είναι αυτή του Charles E. Snow (1948). Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο Snow ανέπτυξε μία πρώιμη μεθοδολογία για τον κατ' άτομο διαχωρισμό των οστών που είναι χρήσιμη μέχρι και τις μέρες μας, παρά το γεγονός πως είναι προγενέστερη ορισμένων νέων



τεχνολογιών όπως της ανάλυσης του γενετικού υλικού. Επίσης, ήταν ο πρώτος που ανέφερε τη σημασία του μεγέθους και της ανατομικής συνάφειας στην ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο.

Αρκετά χρόνια αργότερα, το 1984 οι Buikstra και συν. (1984) προσπάθησαν να αναπτύξουν μία μετρική μέθοδο που είχε ως σκοπό τον υπολογισμό της πιθανότητας να ανήκουν στο ίδιο άτομο δύο μεμονωμένοι σπόνδυλοι. Η εργασία αυτή πρακτικά εισήγαγε τη χρήση οστεομετρικών μεθόδων στην επίλυση πιθανών περιπτώσεων συμφυρμού.

Οι London και συν. (1986, 1998) εξέτασαν την ανατομική συνάφεια της κεφαλής του μηριαίου και της κοτύλης του ανωνύμου και αναφέρουν ότι υπάρχει σημαντική συσχέτιση μεταξύ των δύο ανατομικών σχηματισμών. Συμπέραναν ότι η οστεομετρική ταξινόμηση του μηριαίου και της κοτύλης είναι δυνατή όταν αυτή συνδυάζεται με την οπτική επισκόπηση.

Αντιθέτως, οι Rösing and Pischtschan (1995) θεώρησαν πως η οστεομετρική ταξινόμηση έχει περιορισμένη συμβολή στην επίλυση των ζητημάτων συμφυρμού των οστών. Στο πλαίσιο της εργασίας τους, ελήφθησαν μετρήσεις σε μακρά οστά αλλά και μετρήσεις στο κρανίο. Με βάση τις μετρήσεις αυτές δημιουργήθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης, τα οποία δεν είχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί τόσο στο μικρό μέγεθος του δείγματος που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της συγκεκριμένης έρευνας, όσο και σε διάφορα μεθοδολογικά ζητήματα που αργότερα εντόπισαν οι Byrd και Adams (2003).

Οι ίδιοι ερευνητές (Byrd και Adams 2003) δημοσίευσαν μοντέλα παλινδρόμησης παρουσιάζοντας μία νέα μεθοδολογία για τον κατ' άτομο διαχωρισμό των οστών που βασίζεται σε μετρήσεις μακρών οστών. Τα δεδομένα που προέκυψαν από τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές, αθροίστηκαν και μετατράπηκαν σε ένα φυσικό λογάριθμο (λογάριθμος που έχει ως βάση τον αριθμό Euler  $e \approx 2,72$ ). Ο αριθμός αυτός χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή την αναμενόμενη μέτρηση κάποιου άλλου οστού.

Η ίδια μεθοδολογία παρουσιάστηκε αργότερα από τους Byrd (2008) και Byrd και LeGarde (2014). Χρησιμοποίησαν διάφορα στατιστικά μοντέλα για να αξιολογήσουν

οστά διαφορετικού τύπου, οστά σε ζεύγη και οστά που αρθρώνονται. Τα αποτελέσματά τους κατέδειξαν πως σε όσα μοντέλα χρησιμοποιούνταν τα μέγιστα μήκη των οστών, οι συντελεστές συσχέτισης ήταν υψηλοί. Παρ' όλα αυτά, στις υποθέσεις που παρατηρείται συμφυρμός των οστών είναι σπάνιο να γίνει περισυλλογή ακέραιων οστών ώστε να μετρηθεί με ακρίβεια το μέγιστο μήκος τους. Επιπλέον, οι εν λόγω ερευνητές πρότειναν πως για τη διερεύνηση κάθε δικαστικής υπόθεσης θα πρέπει να δημιουργούνται νέα στατιστικά μοντέλα με βάση τα διαθέσιμα οστά. Ενώ η εν λόγω πρόταση έχει ενδιαφέρον καθώς η κάθε υπόθεση είναι μοναδική, η πραγματοποίησή της είναι δύσκολη στις περισσότερες περιπτώσεις. Για την ανάπτυξη τέτοιων μαθηματικών μοντέλων απαιτείται η πολύ καλή γνώση των στατιστικών μεθόδων από τον εκάστοτε ερευνητή, αλλά και ένας έτοιμος αριθμός μετρήσεων από τον κάθε ανατομικό σχηματισμό που θα μπορούσε να ανευρεθεί. Επιπλέον, η πρόταση για δημιουργία νέων μαθηματικών μοντέλων για την κάθε περίπτωση δεν συνυπολογίζει το γεγονός ότι τα νέα μοντέλα θα χρησιμοποιηθούν χωρίς να έχει γίνει η αξιολόγηση της ακρίβειας ή του σφάλματος. Συμπερασματικά, παρά το γεγονός ότι η βάση της μεθόδου είναι επαρκής από στατιστικής απόψεως, η εφαρμογή της είναι χρονοβόρα, τα αποτελέσματα αμφισβητήσιμα και η ύπαρξη μεγάλης σκελετικής συλλογής σε κάθε ανθρωπολογικό εργαστήριο δεδομένη.

# ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## 4. Σκοπός

---

Η ακρίβεια και η αντικειμενικότητα στην επίλυση των ζητημάτων συμφурμού των οστών είναι ζωτικής σημασίας για την ανθρωπολογική διερεύνηση. Οι μορφολογικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα για το σκοπό αυτό είναι εντελώς υποκειμενικές και βασίζονται στην εμπειρία του πραγματογνώμονα, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η ποσοτικοποίηση της ακρίβειας του αποτελέσματος (Byrd, 2008).

Αντιθέτως, η οστεομετρική ταξινόμηση είναι ένας πιο αντικειμενικός τρόπος να αποδοθούν στο ίδιο άτομο οστά που συντάσσονται μεταξύ τους, με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων που στηρίζονται στις μετρήσεις των οστών (Anastoroulou και συν., 2018a· Anastoroulou και συν., 2018b· Byrd και LeGarde, 2014· Konigsberg και Frankenberg, 2013· O'Brien και Storlie, 2011· Byrd, 2008· Adams και Byrd, 2006· Byrd και Adams, 2003· Rosing και Pischtschan, 1995· Buikstra και Gordon, 1980· Snow και Folk, 1970).

Οι περισσότερες υπάρχουσες οστεομετρικές μέθοδοι στηρίζονται στην επιβεβαίωση ή την απόρριψη της υπόθεσης ότι δύο εξετασθέντα οστά ανήκουν στο ίδιο άτομο. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η πρόβλεψη των τιμών των μετρήσεων ενός οστού χρησιμοποιώντας τις τιμές που έχουν προκύψει από την εξέταση άλλου ή άλλων οστών. Η εν λόγω μετρική μέθοδος εφαρμόζεται προκειμένου να μελετηθεί η ανατομική συνάφεια των αρθρώσεων του σκελετού των άκρων. Τα μετρικά δεδομένα που προκύπτουν από τα εξετασθέντα οστά (ωμοπλάτη, βραχιόνιο οστό, κερκίδα, ωλένη, ανώνυμο οστό, μηριαίο, κνήμη, αστράγαλος και πτέρνα) χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εξισώσεων πρόβλεψης, οι οποίες σε συνδυασμό με τις παραδοσιακές οπτικές μεθόδους στοχεύουν με ακρίβεια και αξιοπιστία στην κατ' άτομο ταξινόμηση του μεγαλύτερου μέρους του σκελετού. Η επιλογή των συγκεκριμένων οστών έγινε αφενός λόγω της συχνότητάς τους σε περιστατικά ανεύρεσης σκελετικού υλικού και αφετέρου στη χρησιμότητά τους στον καθορισμό του βιολογικού προφίλ ενός ατόμου (φύλο, ηλικία, ανάστημα). Οι

ληφθείσες μετρήσεις περιορίζονται στις αρθρικές επιφάνειες καθώς τα οστά συχνά ανευρίσκονται κατακερματισμένα. Έτσι, για την εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου δεν απαιτείται η διατήρηση ολόκληρου του οστού, αλλά μόνο τμημάτων που φέρουν αρθρικές επιφάνειες για τη σύνταξη με άλλα οστά.

## 5. Υλικό και Μεθοδολογία

---

### 5.1 Υλικό

Ως υλικό χρησιμοποιήθηκε η σκελετική συλλογή αναφοράς που στεγάζεται στον Τομέα Φυσιολογίας Ζώων και Ανθρώπου του Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ. Η εν λόγω συλλογή δημιουργήθηκε το 2003 (Ελιόρουλος και συν., 2007) και έκτοτε χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των φοιτητών του τμήματος Βιολογίας σε θέματα Βιολογικής Ανθρωπολογίας, καθώς επίσης και για ερευνητικές μελέτες σε προπτυχιακό και μεταπτυχιακό επίπεδο. Αποτελείται από 225 σκελετούς, για τους οποίους υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με το φύλο, την ηλικία, το επάγγελμα, την αιτία θανάτου και τον τόπο γέννησης του κάθε ατόμου. Συγκεκριμένα, η συλλογή αποτελείται από 114 άρρενα και 100 θήλεα άτομα, καθώς και από 11 άτομα αγνώστου φύλου και λοιπών στοιχείων. Η ηλικία θανάτου των ατόμων είναι μεταξύ 1 και 99 ετών. Ο χρόνος θανάτου τους κυμαίνεται μεταξύ του 1960 και του 1996, κάνοντας τη συλλογή αυτή αντιπροσωπευτική του σύγχρονου Ελληνικού πληθυσμού.

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής εξαιρέθηκαν του δείγματος τα ανήλικα άτομα λόγω μη συνοστέωσης των δευτερογενών πυρήνων οστέωσης (επιφύσεις) των οστών με την αντίστοιχη διάφυση, πράγμα που καθιστά αδύνατη τη λήψη των μετρήσεων. Επιπλέον, εξαιρέθηκαν τα οστά που εμφάνιζαν έντονες παθολογικές αλλοιώσεις, προθανάτιες ή περιθανάτιες κακώσεις πλησίον των αρθρικών επιφανειών και μεταθανάτιες αλλοιώσεις.

## 5.2 Μεθοδολογία

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής μελετήθηκαν ως προς την ανατομική τους συνάφεια 6 διαρθρώσεις. Συγκεκριμένα, σε κάθε έναν από τους 214 σκελετούς που χρησιμοποιήθηκαν από τη σκελετική συλλογή αναφοράς ελήφθησαν 23 γραμμικές μετρήσεις από κάθε ανατομική πλευρά. Το σύνολο των μετρήσεων αφορούσε διαστάσεις αρθρικών επιφανειών και με τη βοήθεια της απλής και πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης, αναπτύχθηκαν 22 εξισώσεις με βάση την οστεομετρική συνάφεια των συντασσόμενων οστών.

### 5.2.1 Τύποι αρθρώσεων και μελετηθείσες διαρθρώσεις

Οι αρθρώσεις ανάλογα με το μέγεθος και το σχήμα τους, αλλά και τον αριθμό των αρθρικών επιφανειών που συμμετέχουν σε αυτές διακρίνονται σε απλές, σύνθετες και πολύπλοκες (Weineck, 1998· Hamilton και Luttgens, 2003). Για το σχηματισμό τους συνήθως συντάσσονται κοίλες και κυρτές επιφάνειες. Απλές ονομάζονται οι αρθρώσεις στις οποίες συμμετέχουν δύο αρθρικές επιφάνειες (π.χ. η κεφαλή του μηριαίου και η κοτύλη στην άρθρωση του ισχίου). Σύνθετες είναι αυτές στις οποίες συναρμολογούνται τρεις ή περισσότερες αρθρικές επιφάνειες (π.χ. καρπός) και πολύπλοκες είναι αυτές στις οποίες συμμετέχουν πάνω από δύο αρθρικές επιφάνειες και δίσκος ή ινώδης χόνδρος (π.χ. διάρθρωση γόνατος).

Ανάλογα με την κινητικότητά τους οι αρθρώσεις διακρίνονται σε συναρθρώσεις, αμφιαρθρώσεις και διαρθρώσεις. Οι συναρθρώσεις δεν εμφανίζουν ορατή κίνηση και διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στη σταθερότητα του σκελετού. Διακρίνονται σε συνδεσμώσεις, συγχονδρώσεις και συνοστεώσεις. Κατά τη συνδέσμωση, τα οστά συνδέονται με την παρεμβολή κολλαγόνου ή ελαστικού συνδετικού ιστού (π.χ. ραφές κρανίου ή γόμφωση δοντιών μέσα στα φατνία των γνάθων). Οι συγχονδρώσεις είναι αρθρώσεις μεταξύ οστών αποτελούμενων από υαλοειδή ή ινώδη χόνδρο (π.χ. ηβική σύμφυση). Οι συνοστεώσεις είναι ο σταθερότερος τύπος άρθρωσης (π.χ. μεταξύ επίφυσης και διάφυσης μετά το πέρας της διάπλασης του οστού) (Snell, 2009). Τέλος, οι αμφιαρθρώσεις εμφανίζουν πολύ περιορισμένη κινητικότητα, καθώς οι σύνδεσμοι

και αρθρικός θύλακος είναι βραχείς και ισχυροί και οι αρθρικές επιφάνειες τραχείες, όπως για παράδειγμα η ιερολαγόνια άρθρωση (Kahle και συν., 1985).

Οι διαρθρώσεις είναι οι κινητές αρθρώσεις του σώματος, αφού μεταξύ των οστών παρεμβάλλονται διάφοροι ιστοί. Αποτελούνται από τις αρθρικές επιφάνειες, τον αρθρικό θύλακο και την αρθρική κοιλότητα (Kahle και συν., 1985). Ανάλογα με τη μορφολογία των αρθρικών επιφανειών τους και τον τύπο της κίνησης μεταξύ των οστών που συμμετέχουν διακρίνονται σε:

- Ολισθαίνουσες

Αποτελούνται από δύο επίπεδες επιφάνειες που γλιστρούν η μία πάνω στην άλλη, συνεπώς η κίνηση δεν γίνεται γύρω από κάποιον άξονα. Για παράδειγμα, οι μεσοκαρπικές ή οι μεσοταρσικές διαρθρώσεις.

- Γίγγλυμες ή γωνιώδεις

Αποτελούνται από μία επιφάνεια-κύλινδρο και μία επιφάνεια-κυλινδρική κοιλότητα, με την κίνηση να γίνεται σε έναν άξονα (κάμψη-έκταση). Για παράδειγμα, η διάρθρωση του αγκώνα ή οι μεσοφαλαγγικές διαρθρώσεις των άκρων.

- Τροχοειδείς

Αποτελούνται από μία επιφάνεια-τροχό και από μία επίπεδη επιφάνεια, με την κίνηση να γίνεται γύρω από την επίπεδη επιφάνεια (πρηνισμός-υπτιασμός). Για παράδειγμα, η ατλαντοαξονική ή η κερκιδωλενική διάρθρωση.

- Κονδυλοειδείς

Αποτελούνται από μία επιφάνεια που έχει μορφή σφαιρικού κοιλώματος και μία άλλη με τη μορφή σφαιρικού κυρτώματος. Η κυρίως κίνηση γίνεται σε ένα επίπεδο (κάμψη-έκταση), αλλά υπάρχει δυνατότητα μικρής κίνησης σε άλλο επίπεδο (στροφή). Παράδειγμα κονδυλοειδούς διάρθρωσης είναι η διάρθρωση του γόνατος.



- Ελλειψοειδείς ή ωοειδείς

Αυτού του είδους οι διαρθρώσεις έχουν μία κοίλη και μία κυρτή ελλειπτική αρθρική επιφάνεια. Η κίνηση γίνεται σε δύο επίπεδα, κάμψη-έκταση και απαγωγή-προσαγωγή. Για παράδειγμα, η κερκιδοκαρπική διάρθρωση.

- Εφιπιοειδείς

Σε αυτές τις διαρθρώσεις η μία αρθρική επιφάνεια έχει σχήμα εφιππίου αλόγου, είναι δηλαδή κοίλη και η άλλη αρθρική επιφάνεια είναι κυρτή. Εδώ η κίνηση πραγματοποιείται σε τρία επίπεδα: κάμψη-έκταση, απαγωγή-προσαγωγή και στροφή. Παράδειγμα εφιπιοειδούς διάρθρωσης είναι η καρπομετακάρπια διάρθρωση του αντίχειρα.

- Σφαιροειδείς

Στις σφαιροειδείς διαρθρώσεις η μία αρθρική επιφάνεια έχει μορφή μεγάλου σφαιρικού κοιλώματος και η άλλη μεγάλου σφαιρικού κυρτώματος. Η κίνηση γίνεται σε τρεις άξονες: κάμψη-έκταση, απαγωγή-προσαγωγή και στροφή. Για παράδειγμα, η διάρθρωση του ισχίου.

Οι μετρήσεις που ελήφθησαν στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι στο σύνολό τους γραμμικές μετρήσεις που αφορούν οστά που συμμετέχουν στις παρακάτω διαρθρώσεις (Εικόνα 5.1).

Η διάρθρωση του ώμου είναι σφαιροειδής άρθρωση και σχηματίζεται από την ωμογλήνη και την κεφαλή του βραχιονίου.

Η διάρθρωση του αγκώνα είναι σύνθετη άρθρωση γιατί μέσα στον ίδιο αρθρικό θύλακο περιλαμβάνονται οι αρθρικές επιφάνειες τριών οστών. Στην πραγματικότητα αποτελείται από τρεις επιμέρους αρθρώσεις, τη βραχιονοκερκιδική, τη βραχιονωλένια και την άνω κερκιδωλενική διάρθρωση.

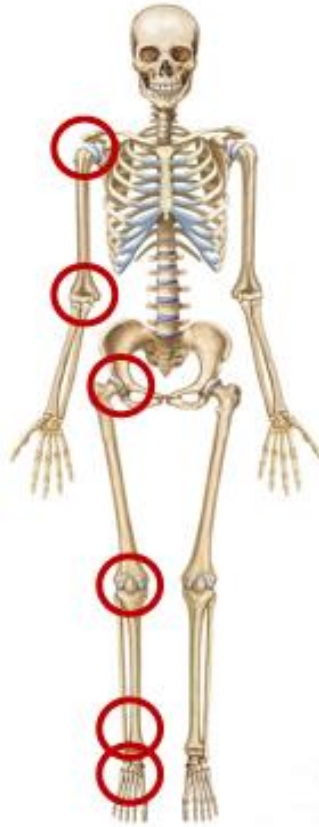
Οι αρθρικές επιφάνειες της διάρθρωσης του ισχίου είναι η μηννοειδής επιφάνεια της κοτύλης και η κεφαλή του μηριαίου οστού.

Η διάρθρωση του γόνατος είναι η πιο μεγάλη από τις αρθρώσεις του σώματος. Είναι σύνθετη άρθρωση και αποτελείται από την κνημομηριαία διάρθρωση και την επιγονατιδομηριαία διάρθρωση που περιβάλλονται από κοινό αρθρικό θύλακο. Η περόνη δε συμμετέχει στη διάρθρωση και για το λόγο αυτό δεν ελήφθησαν μετρήσεις στο συγκεκριμένο οστό.

Οι αρθρικές επιφάνειες της αστραγαλοκνημικής (ποδοκνημικής) διάρθρωσης σχηματίζονται από την περονοκνημική γλήνη και από την τροχιλία του αστραγάλου, μαζί με την έσω και την έξω σφυρίτιδα επιφάνεια.

Οι αρθρικές επιφάνειες που συμμετέχουν στην υπαστραγαλική διάρθρωση είναι η πρόσθια, μέση και οπίσθια αστραγαλική αρθρική επιφάνεια της πτέρνας που συναρμόζει αντίστοιχα με την πρόσθια, μέση και οπίσθια πτερνιαία αρθρική επιφάνεια του σώματος του αστραγάλου.

Οι παραπάνω διαρθρώσεις είναι οι μεγαλύτερες του ανθρώπινου σκελετού και η επιτυχής συναρμογή τους επιτρέπει την ταξινόμηση κατ' άτομο της πλειονότητας των εμπλεκόμενων οστών. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα οστά χρησιμοποιούνται συχνά για τον προσδιορισμό του φύλου, καθώς και για την εκτίμηση της ηλικίας και του αναστήματος του ατόμου από τον σκελετό. Συνεπώς, η επιβεβαίωση ότι τα εν λόγω οστά ανήκουν στο ίδιο άτομο θα συμβάλλει στον καθορισμό του βιολογικού προφίλ του ατόμου.



**Εικόνα 5.1** Μελετηθείσες διαρθρώσεις.

### 5.2.2 Ληφθείσες μετρήσεις

Από τα οστά που ανήκουν στις παραπάνω διαρθρώσεις, ελήφθησαν 23 γραμμικές μετρήσεις. Οι βιβλιογραφικές αναφορές, καθώς και η χρησιμοποιούμενη συντομογραφία των μετρήσεων περιλαμβάνονται στους πίνακες των Παραρτημάτων Α και Β. Το σύνολο των οστών που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής είναι διφυή και η λήψη των μετρήσεων έγινε τόσο στα οστά της δεξιάς, όσο και στα οστά της αριστερής πλευράς.

Για τη λήψη της πλειονότητας των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό διαστημόμετρο (ABSOLUTE Digimatic Caliper®, Mitutoyo) που εμφανίζει ακρίβεια 0,01mm. Το εν λόγω οστεομετρικό όργανο είναι χρήσιμο για ακριβείς μετρήσεις του μήκους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ δύο

αντικριστών πλευρών ενός αντικειμένου, προσαρμόζοντας τα άκρα του οργάνου στα ακρότατα σημεία του αντικειμένου προς μέτρηση.

Για ορισμένες μετρήσεις των οποίων η λήψη δεν ήταν δυνατή με διαστημόμετρο, λόγω μεγάλου μήκους, χρησιμοποιήθηκε οστεομετρικός πίνακας. Πρόκειται για το διακονδυλικό πλάτος του βραχιονίου και του μηριαίου οστού και το μέγιστο πλάτος του εγγύς και του άπω άκρου της κνήμης. Σε κάθε περίπτωση η καταγραφή των δεδομένων έγινε σε χιλιοστά του μέτρου (mm).

Η περιγραφή της κάθε μέτρησης σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές του πίνακα του Παραρτήματος Α παρατίθεται παρακάτω:

- Μέγιστο μήκος ωμογλήνης  
Η μέγιστη απόσταση μεταξύ του ανώτερου και κατώτερου ορίου του χείλους της ωμογλήνης.
- Μέγιστο πλάτος ωμογλήνης  
Η μέγιστη απόσταση μεταξύ του πρόσθιου και του οπίσθιου χείλους της ωμογλήνης, κάθετη στο μέγιστο μήκος αυτής.



**Εικόνα 5.2** Ληφθείσες μετρήσεις στην ωμοπλάτη (GFH - μέγιστο μήκος ωμογλήνης, GFB - μέγιστο πλάτος ωμογλήνης).

- Μέγιστη κάθετη διάμετρος κεφαλής βραχιονίου

Η μέγιστη διάμετρος που μπορεί να ληφθεί στην κεφαλή του βραχιονίου, παράλληλη ως προς στη διάφυση του οστού. Δεν είναι απαραίτητα η μέγιστη διάμετρος της αρθρικής επιφάνειας.



**Εικόνα 5.3** Ληφθείσα μέτρηση στο βραχιόνιο (HHD - μέγιστη κάθετη διάμετρος κεφαλής).

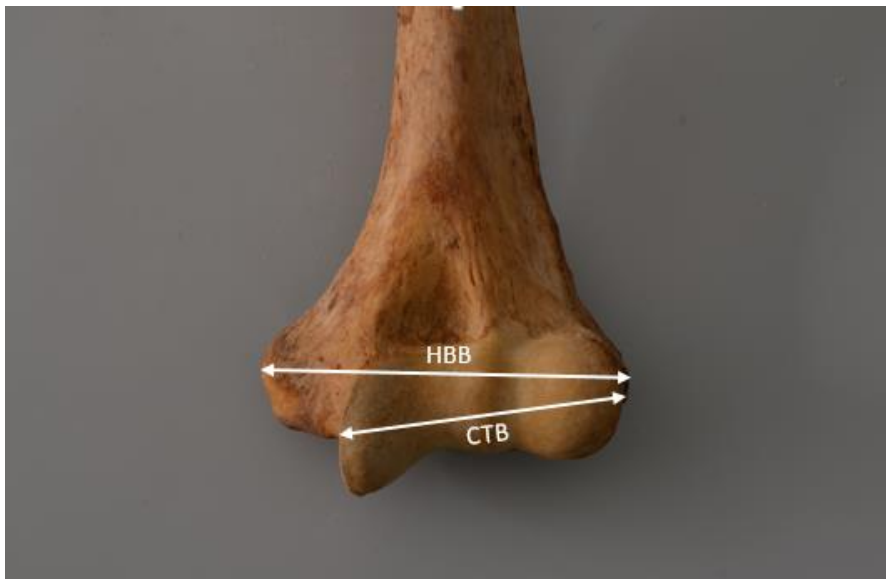
- Μέγιστο προσθιοπίσθιο πλάτος κεφαλής βραχιονίου

Η μέγιστη διάμετρος που μπορεί να ληφθεί στην κεφαλή του βραχιονίου, κάθετη ως προς την προηγούμενη μέτρηση.



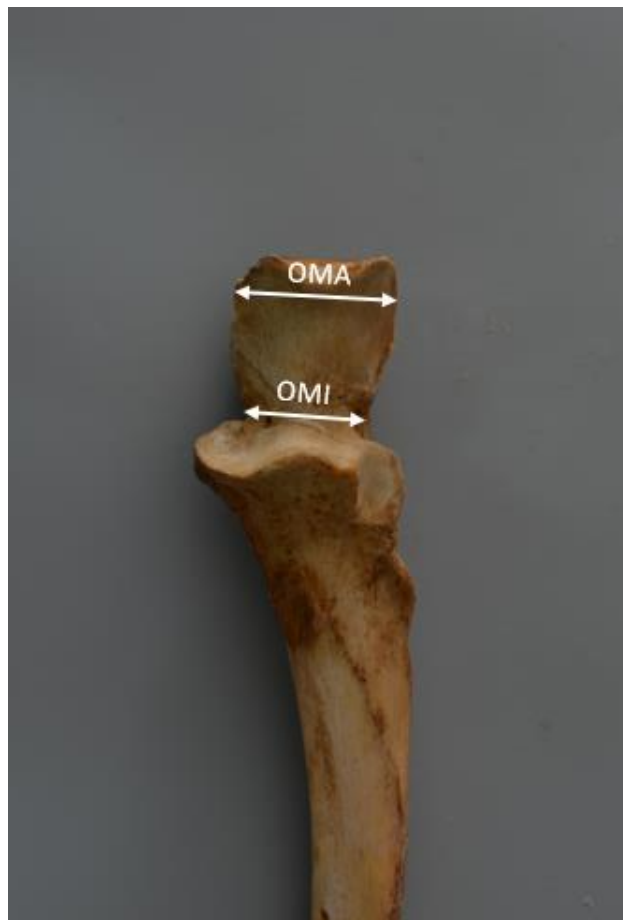
**Εικόνα 5.4** Ληφθείσα μέτρηση στο βραχιόνιο (HHB - μέγιστο προσθιοπίσθιο πλάτος κεφαλής).

- Διακονδυλικό πλάτος βραχιονίου  
Η απόσταση μεταξύ του πλέον προεξέχοντος σημείου της παρατροχίλιας και του αντίστοιχου σημείου της παρακονδύλιας απόφυσης.
- Πλάτος κονδύλου-τροχιλίας  
Η μέτρηση λαμβάνεται από το πλέον προεξέχον σημείο της αρθρικής επιφάνειας του κονδύλου έως το πλέον προεξέχον σημείο της τροχιλίας.



**Εικόνα 5.5** Ληφθείσες μετρήσεις στο βραχιόνιο (HBB - διακονδυλικό πλάτος βραχιονίου, CTB - πλάτος κονδύλου-τροχιλίας).

- Μέγιστο πλάτος ωλεκράνου  
Το μέγιστο πλάτος του ωλεκράνου όταν αυτό λαμβάνεται κάθετα στον επιμήκη άξονα της μηνοειδούς εντομής.
- Ελάχιστο πλάτος ωλεκράνου  
Το ελάχιστο πλάτος του ωλεκράνου όταν αυτό λαμβάνεται κάθετα στον επιμήκη άξονα της μηνοειδούς εντομής.



**Εικόνα 5.6** Ληφθείσες μετρήσεις στην ωλένη (OMA - μέγιστο πλάτος ωλεκράνου, OMI - ελάχιστο πλάτος ωλεκράνου).



- Ύψος κερκιδικής εντομής

Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να ληφθεί πάνω στην κερκιδική εντομή, παράλληλη προς τον επιμήκη άξονα του οστού.



**Εικόνα 5.7** Ληφθείσα μέτρηση στην ωλένη (URH - ύψος κερκιδικής εντομής).

- Κάθετο ύψος κεφαλής κερκίδας

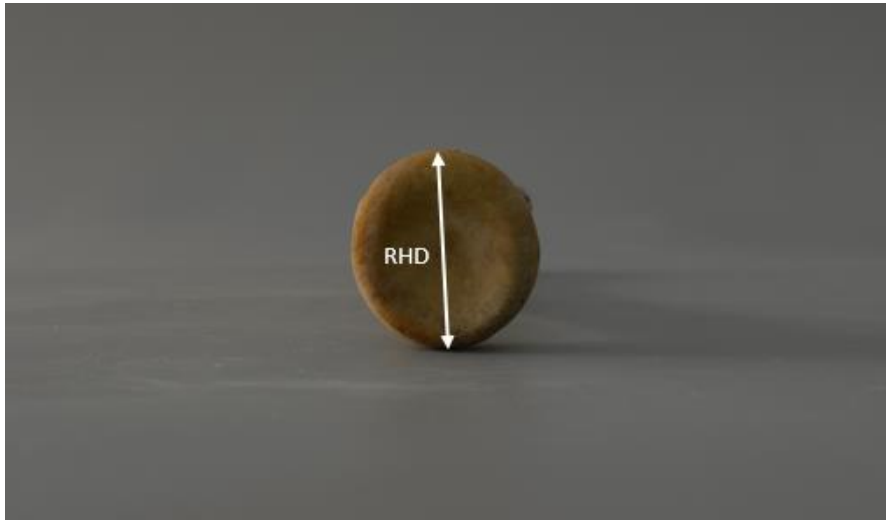
Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να ληφθεί πάνω στην αρθρική περιφέρεια της κεφαλής της κερκίδας, παράλληλη προς τον άξονα του οστού.



**Εικόνα 5.8** Ληφθείσα μέτρηση στην κερκίδα (RHH - κάθετο ύψος κεφαλής).

- Μέγιστη διάμετρος κεφαλής κερκίδας

Η μέγιστη διάμετρος της κεφαλής της κερκίδας όταν αυτή λαμβάνεται από το χείλος της κεφαλής που αρθρώνεται με την ωλένη. Το οστό περιστρέφεται μέχρι να ληφθεί η μέγιστη τιμή.



**Εικόνα 5.9** Ληφθείσα μέτρηση στην κερκίδα (RHD - μέγιστη διάμετρος κεφαλής).

- Μέγιστη διάμετρος κοτύλης

Η μέγιστη διάμετρος της κοτύλης όταν αυτή λαμβάνεται μετακινώντας τις σιαγόνες του διαστημόμετρου επάνω στο χείλος αυτής.



**Εικόνα 5.10** Ληφθείσα μέτρηση στο ανώνυμο οστό (ODA - μέγιστη διάμετρος κοτύλης).

- Μέγιστη διάμετρος κεφαλής μηριαίου

Η μέγιστη διάμετρος της κεφαλής του μηριαίου όταν αυτή λαμβάνεται στο χείλος της αρθρικής επιφάνειας. Το διαστημόμετρο περιστρέφεται έως ότου ληφθεί η μέγιστη τιμή.



**Εικόνα 5.11** Ληφθείσα μέτρηση στο μηριαίο (FHD - μέγιστη διάμετρος κεφαλής).

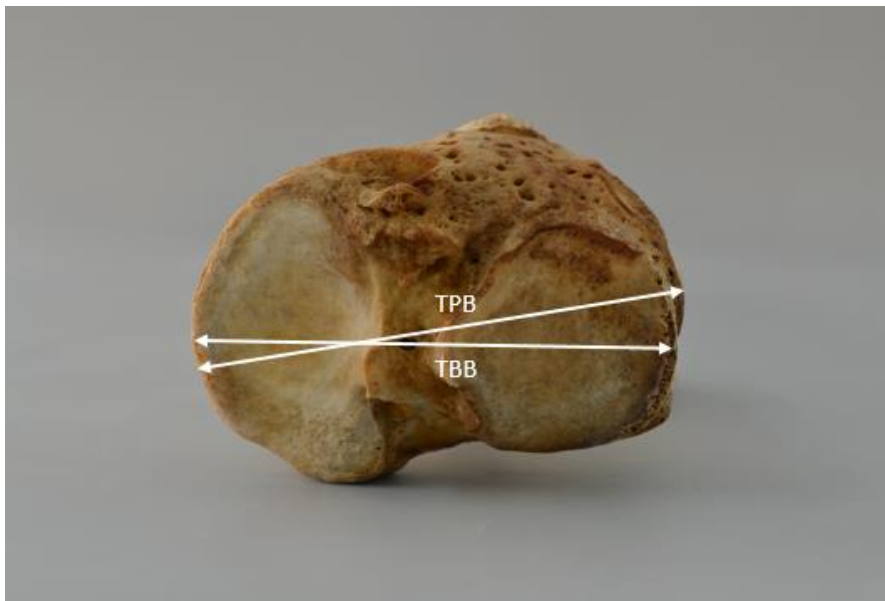
- Διακονδυλικό πλάτος μηριαίου

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των πλέον προεχόντων σημείων των δύο μηριαίων κονδύλων.



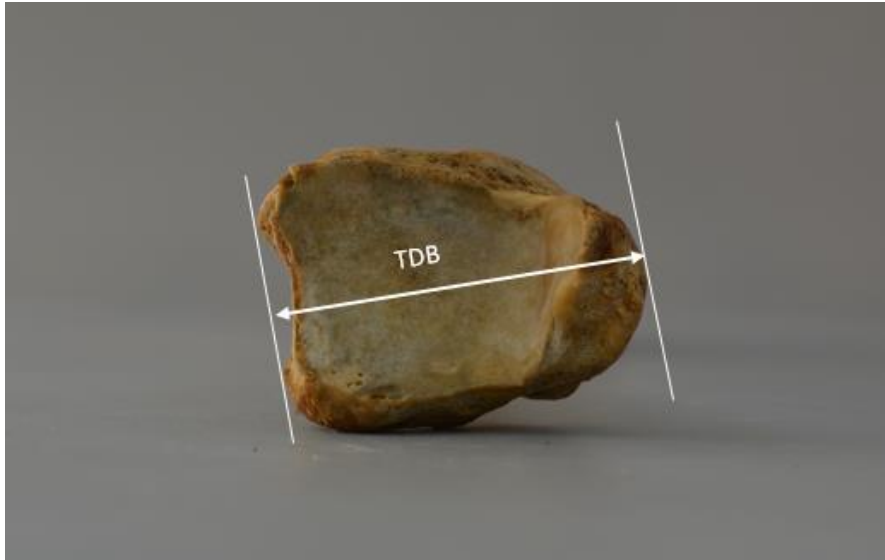
**Εικόνα 5.12** Ληφθείσα μέτρηση στο μηριαίο (FEB - διακονδυλικό πλάτος).

- Μέγιστο πλάτος εγγύς άκρου κνήμης  
Η μέγιστη απόσταση του εγγύς άκρου της κνήμης όπως μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια οστεομετρικού πίνακα.
- Διακονδυλικό πλάτος κνήμης  
Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί στην αρθρική επιφάνεια του εγγύς άκρου του οστού μεταξύ του έξω και του έσω κνημιαίου κονδύλου.



**Εικόνα 5.13** Ληφθείσες μετρήσεις στην κνήμη (TPB - μέγιστο πλάτος εγγύς άκρου, TBB - διακονδυλικό πλάτος).

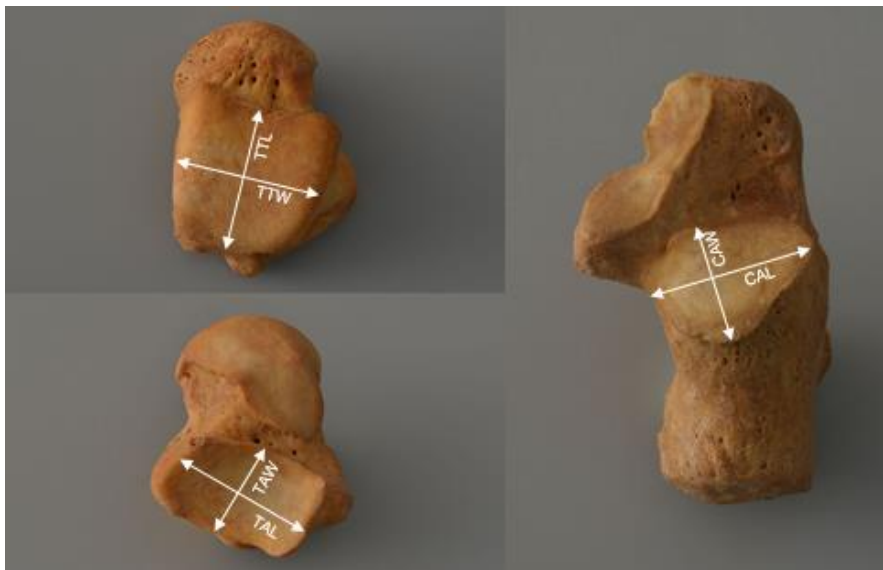
- Πλάτος άπω άκρου κνήμης  
Η απόσταση μεταξύ του πλέον προεξέχοντος σημείου του έσω σφυρού και της έξω επιφάνειας του άπω άκρου της κνήμης.



**Εικόνα 5.14** Ληφθείσα μέτρηση στην κνήμη (TDB - Πλάτος άπω άκρου).

- Μήκος τροχιλίας αστραγάλου  
Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί στο μέσο της τροχιλίας.
- Πλάτος τροχιλίας αστραγάλου  
Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί που να διχοτομεί την τροχιλία εγκάρσια και να είναι κάθετη στην προηγούμενη μέτρηση.
- Μήκος οπίσθιας πτερνιάιας αρθρικής επιφάνειας  
Η απόσταση από το σημείο τομής του πρόσθιου και του έξω τμήματος της οπίσθιας πτερνιάιας αρθρικής επιφάνειας έως το σημείο τομής του οπίσθιου και του έσω τμήματος.
- Πλάτος οπίσθιας πτερνιάιας αρθρικής επιφάνειας  
Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί στην οπίσθια πτερνιάια αρθρική επιφάνεια, κάθετη στην προηγούμενη μέτρηση.

- Μήκος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας  
 Η απόσταση από το σημείο τομής του πρόσθιου και του έξω τμήματος της οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας έως το σημείο τομής του οπίσθιου και του έσω τμήματος.
- Πλάτος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας  
 Η μέγιστη απόσταση που μπορεί να μετρηθεί στην οπίσθια αστραγαλική αρθρική επιφάνεια, κάθετη στην προηγούμενη μέτρηση.



**Εικόνα 5.15** Ληφθείσες μετρήσεις στον αστράγαλο και την πτέρνα (TTL - μήκος τροχιλίας αστραγάλου, TTW - πλάτος τροχιλίας αστραγάλου, TAL - μήκος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας, TAW - πλάτος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας, CAL - μήκος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας, CAW - πλάτος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας).

Οι παραπάνω μετρήσεις ελήφθησαν στο σύνολο του δείγματος και μετά την πάροδο τριών μηνών επελέγησαν τυχαία 60 άτομα από το ίδιο δείγμα προκειμένου να γίνει επανεξέτασή τους στο πλαίσιο του ελέγχου επαναληψιμότητας (intra-observer error). Προκειμένου να εξεταστεί η ύπαρξη σφάλματος κατά τη λήψη της ίδιας μέτρησης σε διαφορετικό χρόνο από τον ίδιο ερευνητή, ελήφθη για δεύτερη φορά η κάθε μέτρηση στο κάθε οστό από τον ίδιο ερευνητή σε διαφορετικό χρονικό διάστημα, κάτω από τις ίδιες συνθήκες, δηλαδή με το ίδιο όργανο μέτρησης. Η

μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αναφέρεται παρακάτω, στο υποκεφάλαιο του ελέγχου της επαναληψιμότητας των μετρήσεων.

### *5.2.3 Χρησιμοποιούμενες μεταβλητές*

Μεταβλητή ονομάζουμε κάθε χαρακτηριστικό, αριθμό ή ποσότητα που αυξάνεται ή μειώνεται με την πάροδο του χρόνου ή παίρνει διαφορετικές τιμές σε διαφορετικές καταστάσεις (Philipp, 1992). Απλούστερα, μεταβλητή ονομάζεται οποιαδήποτε συλλογή δεδομένων που μετράει μία κοινή ιδιότητα ή ένα χαρακτηριστικό μιας οντότητας. Συνήθως συμβολίζονται με τα κεφαλαία γράμματα Χ, Ψ, Ζ, αλλά γενικά για το συμβολισμό τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε γράμμα ή σύμβολο.

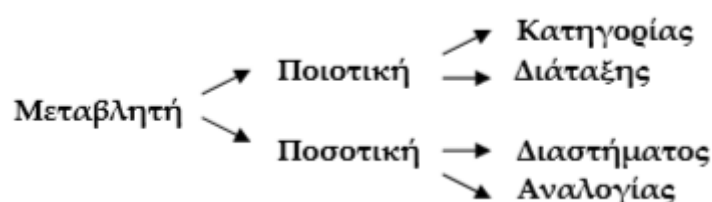
Οι μεταβλητές διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τη φύση τους και το ρόλο τους. Η επιλογή και ο ορισμός του είδους της μεταβλητής αποτελεί τη βάση όλων των στατιστικών αναλύσεων, αφού συγκεκριμένα είδη μεταβλητών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες τεχνικές ανάλυσης δεδομένων.

Όσον αφορά στο ρόλο μίας μεταβλητής, αυτή μπορεί να χαρακτηριστεί ως ανεξάρτητη ή εξαρτημένη. Ανεξάρτητη μεταβλητή καλείται αυτή που θεωρείται ως αιτία που επηρεάζει το υπό εξέταση χαρακτηριστικό (Τριχόπουλος, 1975). Ουσιαστικά, είναι ο παράγοντας τον οποίο μεταβάλλει ο ερευνητής για να καθορίσει τη σχέση του με μια άλλη μεταβλητή. Η μεταβλητή που επηρεάζεται από την ανεξάρτητη καλείται εξαρτημένη. Η εξαρτημένη μεταβλητή μπορεί να πάρει διαφορετικές τιμές μόνο όντας σε εξάρτηση από την ανεξάρτητη. Αξίζει να σημειωθεί πως κάθε μεταβλητή μπορεί να θεωρηθεί ως ανεξάρτητη σε ένα μέρος της στατιστικής ανάλυσης και ως εξαρτημένη σε ένα άλλο.

Οι μεταβλητές ανάλογα με τις τιμές που μπορούν να πάρουν διακρίνονται σε ποιοτικές και ποσοτικές. Οι ποιοτικές μεταβλητές παίρνουν τιμές που δεν έχουν αριθμητικές ιδιότητες, αλλά αποτελούν περιγραφές με τη χρήση ονομάτων. Οι τιμές τους δεν είναι πλήρως καθοριστικές αλλά μόνο ενδεικτικές ή συγκριτικές. Οι ποιοτικές μεταβλητές χωρίζονται σε μεταβλητές κατηγορίας (categorical ή nominal) και σε μεταβλητές διάταξης (ordinal). Μεταβλητές κατηγορίας είναι αυτές που το

σύνολο τιμών τους δεν έχει καμία ιδιότητα διάταξης, για παράδειγμα ο τόπος γέννησης του ατόμου ή η οικογενειακή του κατάσταση. Ειδική περίπτωση μεταβλητής κατηγορίας είναι η δυαδική μεταβλητή (binary) η οποία μπορεί να λάβει μόνο δύο τιμές αμοιβαία αποκλειόμενες, για παράδειγμα το φύλο του ατόμου. Μεταβλητές διάταξης είναι αυτές που για το σύνολο τιμών τους μπορεί να οριστεί κάποιας μορφής διάταξη, για παράδειγμα το επίπεδο εκπαίδευσης ή η κλίμακα pH.

Οι ποσοτικές μεταβλητές λαμβάνουν αριθμητικές τιμές και εκφράζονται με μία μονάδα μέτρησης. Διακρίνονται σε μεταβλητές διαστήματος (interval) και σε μεταβλητές αναλογίας (ratio). Μεταβλητές διαστήματος είναι αυτές που η ίση διαφορά μεταξύ των τιμών της συνεπάγεται και αναλόγως ίση διαφορά ως προς το χαρακτηριστικό που μετρά η μεταβλητή. Στις εν λόγω μεταβλητές έχει αποδοθεί μία διαστημική κλίμακα που επιτρέπει την ιεράρχηση των παρατηρήσεων, όπως συμβαίνει στο παράδειγμα της ηλικίας των ατόμων ή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Μεταβλητές αναλογίας είναι αυτές των οποίων οι τιμές αντιστοιχούν αναλογικά στην ποσότητα του μετρούμενου χαρακτηριστικού. Επίσης, για τις τιμές των μεταβλητών αυτών έχει έννοια ο υπολογισμός των αναλογιών. Η τιμή μηδέν ανήκει πάντα στο σύνολο τιμών των συγκεκριμένων μεταβλητών και υποδηλώνει την απουσία του προς εξέταση χαρακτηριστικού, για παράδειγμα η ταχύτητα ενός οχήματος.



**Εικόνα 5.16** Κατηγορίες μεταβλητών.

Επιπλέον, οι ποσοτικές μεταβλητές διακρίνονται σε συνεχείς (continuous) και διακριτές (discrete). Συνεχείς καλούνται οι ποσοτικές μεταβλητές όταν μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε τιμή μέσα σε κάποιο συνεχές διάστημα και διακριτές όταν οι ποσοτικές μεταβλητές μπορούν να πάρουν διακεκριμένες τιμές από ένα πεπερασμένο ή αριθμήσιμο σύνολο, όπως για παράδειγμα το σύνολο των ακεραίων.



Η ανωτέρω διάκριση των μεταβλητών έχει σημασία τόσο για την περιγραφή και την παρουσίαση, όσο και για την ανάλυση των δεδομένων, καθώς διαφορετικές στατιστικές μέθοδοι ακολουθούνται ανάλογα με τον τύπο των εξεταζόμενων μεταβλητών. Είναι εμφανές ότι το σύνολο των μετρήσεων που ελήφθησαν αποτελούν ποσοτικές μεταβλητές διαστήματος, ενώ το φύλο των ατόμων είναι ποιοτική μεταβλητή κατηγορίας και συγκεκριμένα δυαδική.

#### *5.2.4 Εκτίμηση μεγέθους δείγματος*

Οποιαδήποτε έρευνα, είτε είναι πειραματική είτε είναι παρατήρησης, θα πρέπει να σχεδιαστεί με κατάλληλο τρόπο ώστε να επιτυγχάνονται οι στόχοι των ερευνητών. Για το λόγο αυτό, ο σχεδιασμός και η διεξαγωγή μιας ολοκληρωμένης έρευνας περιλαμβάνει πολλά πρακτικά ζητήματα, ενώ μία πληθώρα στατιστικών ελέγχων υποθέσεων χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων και τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το αποτέλεσμα της έρευνας και το κατά πόσον αντανakλά ένα σημαντικό φαινόμενο του πληθυσμού που μελετάται. Η επιλογή ενός δείγματος κατάλληλου μεγέθους είναι ένα σημαντικό βήμα για να επιβεβαιωθεί ότι πληρούνται οι στόχοι της μελέτης. Αν το δείγμα είναι πολύ μικρό, είναι αδύνατη η ανίχνευση στατιστικά σημαντικών αποτελεσμάτων, ενώ αν το δείγμα είναι πολύ μεγάλο υπάρχει σπατάλη χρόνου και πιθανότατα χρημάτων ή άλλων πόρων. Οι εκτιμήσεις του μεγέθους δείγματος χρησιμοποιούνται ως οδηγός κατά το σχεδιασμό μιας μελέτης και βασίζονται στη στατιστική ισχύ που επιλέγεται για να εντοπιστεί μια επίδραση ή διαφορά. Η στατιστική ισχύς της μελέτης είναι ένα μέτρο που δείχνει πόσο πιθανό είναι να καταλήξει ο έλεγχος των υποθέσεων (ή σημαντικότητας) σε στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα το οποίο στην πραγματικότητα ισχύει. Επιπλέον, εάν σχεδιαστεί μια μελέτη για υψηλό επίπεδο ισχύος και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν δεν είναι στατιστικά σημαντικά, τότε υπάρχει η βεβαιότητα ότι αυτό συμβαίνει διότι δεν υπάρχει πραγματική διαφορά. Η απαιτούμενη ισχύς της μελέτης αποφασίζεται πριν την έναρξή της. Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής επιλέχθηκε η ισχύς της μελέτης να είναι 90%, το οποίο πρακτικά σημαίνει ότι αν

επαναλαμβανόταν η μελέτη πολλές φορές, 9 στις 10 φορές θα κατέληγε σε στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, δεδομένου ότι στην πραγματικότητα ισχύει το συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Επίσης, επιλέχθηκε το επίπεδο σημαντικότητας να είναι  $\alpha=0,05$ , το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει μόλις 5% πιθανότητα η παρατηρούμενη σχέση να μην υπάρχει στον πληθυσμό (Cohen, 1988· Cohen και συν., 2003). Συνυπολογίζοντας τα παραπάνω, η εκτίμηση του βέλτιστου μεγέθους του δείγματος μελέτης, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού G\*Power 3 (Faul και συν., 2007· 2009 ). Το εν λόγω λογισμικό έχει αναπτυχθεί από το Τμήμα Ψυχολογίας του Πανεπιστημίου Heinrich Hein του Düsseldorf της Γερμανίας και διατίθεται δωρεάν στην ιστοσελίδα <http://www.gpower.hhu.de/en.html>.

#### *5.2.5 Έλεγχος επαναληψιμότητας των μετρήσεων (intra-observer error)*

Κατά τη διεξαγωγή μιας πειραματικής μελέτης είναι πιθανό να υπάρχουν σφάλματα. Κάθε μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους χαρακτηρίζεται από μία αβεβαιότητα που καλείται σφάλμα. Με τον εν λόγω όρο δεν εννοούμε την απόκλιση της ληφθείσας μέτρησης από την θεωρητικά αποδεκτή τιμή, αλλά ούτε και το πειραματικό λάθος. Η έννοια του σφάλματος αναφέρεται στην ακρίβεια της μέτρησης, δηλαδή στην αβεβαιότητα των μετρήσεων την οποία εισάγουν είτε τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη της μέτρησης, είτε η πειραματική διαδικασία και οι συνθήκες του πειράματος. Τα σφάλματα διακρίνονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα συστηματικά σφάλματα σχετίζονται με την αξιοπιστία μιας μέτρησης και οφείλονται είτε σε θεωρητικούς είτε σε πρακτικούς λόγους. Μπορεί να οφείλονται για παράδειγμα, στην κακή βαθμονόμηση των οργάνων, στη λανθασμένη χρήση των οργάνων, στην παράβλεψη ορισμένων φαινομένων ή σε εξωτερικά αίτια που μπορεί να αλλάξουν τα αποτελέσματα του πειράματος (πχ. υγρασία, πίεση, θερμοκρασία). Τα συστηματικά σφάλματα τείνουν να μετατοπίσουν όλες τις μετρήσεις με συστηματικό τρόπο έτσι ώστε η μέση τιμή να είναι μετατοπισμένη προς μία διεύθυνση. Τα τυχαία σφάλματα σχετίζονται με την ακρίβεια μιας μέτρησης και δείχνουν τις διακυμάνσεις που έχουν οι μετρήσεις ενός επαναλαμβανόμενου

πειράματος που γίνεται κάτω από τις ίδιες φαινομενικά συνθήκες και τα οποία οδηγούν στην κατανομή των αποτελεσμάτων γύρω από μία μέση τιμή. Είναι εκείνα που ανακύπτουν στατιστικά από την ανάλυση των επαναλαμβανόμενων και πολλαπλών μετρήσεων και μπορεί να οφείλονται στην έλλειψη ευαίσθητης απόκρισης του οργάνου ή στον παρατηρητή (σφάλματα ανάγνωσης), στον εξωτερικό «θόρυβο» ή σε στατιστικές διαδικασίες (όπως είναι η ρίψη ενός ζαριού). Τα τυχαία σφάλματα είναι αναπόφευκτα και περιγράφονται με τη στατιστική θεωρία (Taylor, 1997).

Είναι λοιπόν εμφανές, πως μεταξύ των τυχαίων σφαλμάτων που μπορεί να υπάρξουν σε μια πειραματική διερεύνηση είναι και το σφάλμα που μπορεί να εισάγει ο ίδιος ο ερευνητής κατά τη λήψη των μετρήσεων. Προκειμένου να εκτιμηθεί η εσωτερική αξιοπιστία της μεθόδου (intra-observer reliability), επανεξετάστηκαν τα οστά 60 ατόμων από το δείγμα και εφαρμόστηκε συσχετισμένος έλεγχος t (paired t-test) και έλεγχος τεχνικού σφάλματος μέτρησης ή ΤΣΜ (technical error of measurement-TEM). Η βιβλιογραφία αναφέρει πως για δείγμα μικρότερο των 1000-2000 ατόμων αρκεί να επανεξεταστεί ένα ποσοστό της τάξης του 30%. (Neuman, 1997).

Ο συσχετισμένος έλεγχος t πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού καταγραφής, διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων SPSS (IBM Inc., Armonk NY, USA). Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 24 για Windows. Για τον έλεγχο του τεχνικού σφάλματος μέτρησης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα λογιστικών φύλλων Microsoft Excel 2010 (V14.0).

Ο συσχετισμένος έλεγχος t γενικά χρησιμοποιείται όταν πρόκειται να εξεταστεί η διαφορά μεταξύ των μέσων όρων δύο ομάδων που θεωρούμε ότι ανήκουν στον ίδιο πληθυσμό, όταν υπάρχει μια ομάδα και γίνονται επαναλαμβανόμενες μετρήσεις στα ίδια άτομα ή όταν υπάρχουν δύο ομάδες οι οποίες έχουν σχηματιστεί με κάποια διαδικασία ταιριάσματος, έχουν δηλαδή τα ίδια χαρακτηριστικά. Σε κάθε περίπτωση, οι τιμές του ελέγχου t με τιμή του παρατηρούμενου επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας (p-value) μικρότερο του 0,05 θεωρούνται στατιστικά σημαντικές. Όταν η τιμή του p είναι μικρότερη του 0,05 απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση  $H_0$  ( $H_0$ : οι μέσοι όροι των δύο ομάδων δεν διαφέρουν μεταξύ τους) και γίνεται αποδεκτή η εναλλακτική υπόθεση  $H_1$  ( $H_1$ : οι μέσοι όροι διαφέρουν μεταξύ τους). Επομένως, όταν το p-value είναι  $<0,05$  υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των μέσων όρων

των υπό μελέτη ομάδων, δηλαδή στην περίπτωσή μας οι μετρήσεις δεν παρουσιάζουν επαναληψιμότητα άρα είναι ακατάλληλες για περαιτέρω στατιστική ανάλυση, επειδή το σφάλμα ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα (Field, 2009).

Όσον αφορά στο ΤΣΜ, είναι ένας λόγος που βοηθά στην εκτίμηση του σφάλματος της μεθόδου. Χρησιμοποιείται τόσο για τον έλεγχο της επαναληψιμότητας (intra-observer error), όσο και για τον έλεγχο της αναπαραγωγιμότητας (inter-observer error) μιας μεθόδου. Ο λόγος ΤΣΜ είναι ουσιαστικά η τυπική απόκλιση μεταξύ επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Pederson και Gore, 2000) και για κάθε μέτρηση θα πρέπει να βρίσκεται εντός συγκεκριμένων ορίων. Ο υπολογισμός του πραγματοποιείται σε τέσσερα στάδια:

- Στάδιο πρώτο: Υπολογισμός διαφοράς μεταξύ των δύο μετρήσεων που έγιναν στο ίδιο άτομο (δηλ. η μεταξύ τους απόκλιση).
- Στάδιο δεύτερο: Οι αποκλίσεις υψώνονται στο τετράγωνο.
- Στάδιο τρίτο: Τα αποτελέσματα του δεύτερου σταδίου προστίθενται ( $\Sigma d^2$ ) και υπολογίζεται ο παρακάτω λόγος (απόλυτο ΤΣΜ):

$$\text{Absolute TEM} = \sqrt{\frac{\Sigma d_i^2}{2n}}$$

όπου:  $\Sigma d_i^2$  = Το άθροισμα των τετραγώνων των αποκλίσεων των δύο μετρήσεων,  $n$  = Το πλήθος των ατόμων (πηγή: Perini και συν., 2005)

- Στάδιο τέταρτο: Το απόλυτο ΤΣΜ μετατρέπεται σε σχετικό ΤΣΜ. Πρώτα είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η μέση τιμή της μεταβλητής (variable average value, VAV) που ουσιαστικά είναι ο μέσος όρος των μέσων όρων των δύο σειρών μετρήσεων. Τέλος, υπολογίζεται το παρακάτω ποσοστό:

$$\text{relative TEM} = \frac{\text{TEM}}{\text{VAV}} \times 100$$

όπου: TEM= Το απόλυτο ΤΣΜ που υπολογίστηκε στο τρίτο στάδιο, VAV= Η μέση τιμή της μεταβλητής (Variable Average Value) (Perini και συν., 2005)

Πρέπει να σημειωθεί πως το αποδεκτό εύρος των σχετικών ΤΣΜ για την εκτίμηση της επαναληψιμότητας (intra-observer error) μίας μεθόδου είναι < 1.5% (Perini και συν., 2005).

### 5.2.6 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα

Τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα (descriptive statistics) είναι αριθμοί που υπολογίζονται από τα ληφθέντα δεδομένα και η τιμή τους αντιπροσωπεύει κάποια τάση ή συμπεριφορά του δείγματος. Με άλλα λόγια, είναι η αριθμητική σύνοψη των δεδομένων της κάθε έρευνας.

Τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα διακρίνονται στα:

- Μέτρα θέσης ή κεντρικής τάσης (measures of location or central tendency)
- Μέτρα μεταβλητότητας ή διασποράς (measures of dispersion)
- Μέτρα σχήματος (measures of shape)

Τα μέτρα θέσης ή κεντρικής τάσης χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τη θέση του συνόλου των δεδομένων. Δηλαδή, οι τιμές τους αντιπροσωπεύουν ένα κεντρικό σημείο γύρω από το οποίο τείνουν να συγκεντρώνονται τα δεδομένα. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής υπολογίστηκε η μέση τιμή ή αριθμητικός μέσος (mean value or arithmetic mean). Πρόκειται για το πιο σημαντικό και το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέτρο θέσης στη στατιστική. Η μέση τιμή της μεταβλητής ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων της μεταβλητής  $x$  προς το πλήθος της, δηλαδή:

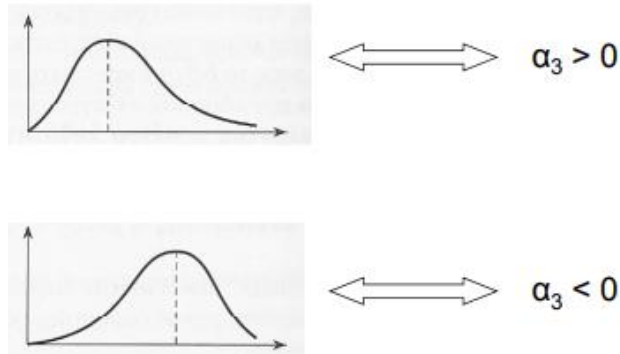
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Τα μέτρα μεταβλητότητας ή διασποράς χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τις διαφορές που υπάρχουν ανάμεσα στις τιμές μίας μεταβλητής. Δηλαδή, προσδιορίζουν αν οι παρατηρήσεις είναι συγκεντρωμένες γύρω από μία αντιπροσωπευτική τιμή ή αν παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής υπολογίστηκαν:

- Το εύρος (range, R). Είναι η διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη τιμή του δείγματος. Το εύρος υπολογίζεται εύκολα αλλά δεν είναι ανθεκτικό μέτρο διασποράς, καθώς εξαρτάται μόνο από τις δύο ακραίες παρατηρήσεις.
- Η διασπορά ή διακύμανση (variance,  $s^2$ ). Είναι δείκτης της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων γύρω από τη μέση τιμή. Πρόκειται για τη διαφορά της κάθε παρατήρησης από τη μέση τιμή και είναι φανερό πως το άθροισμα των διακυμάνσεων ισούται με 0.
- Η τυπική απόκλιση (Standard Deviation, SD). Είναι η ρίζα της διασποράς και εκφράζει -όπως δείχνει και το όνομά της- την τυπική απόκλιση των δεδομένων από τη μέση τιμή. Με απλά λόγια, η τυπική απόκλιση είναι δείκτης του μέχρι πόσο περίπου αναμένεται μία τυπική τιμή της μεταβλητής να απέχει από τη μέση τιμή.

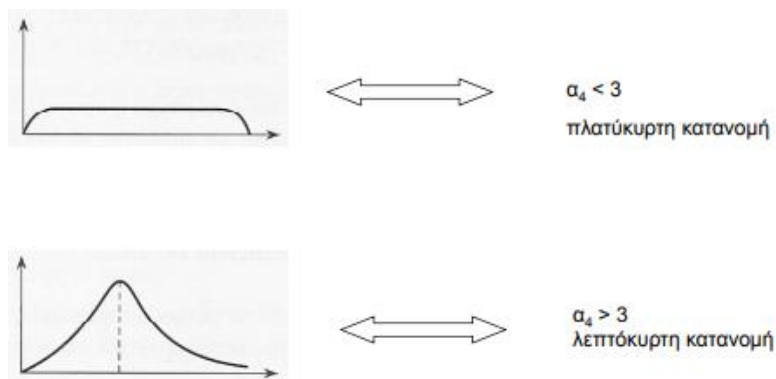
Τέλος, τα μέτρα σχήματος είναι μέτρα που περιγράφουν το σχήμα της μεταβλητής όταν αυτή παρασταθεί με ιστόγραμμα ή ραβδόγραμμα.

- Ο συντελεστής λοξότητας (skewness). Αν η κατανομή είναι συμμετρική τότε ο συντελεστής ισούται με 0. Αν ο συντελεστής λοξότητας είναι θετικός σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές της μεταβλητής βρίσκονται δεξιά της επικρατούσας τιμής, ενώ αν ο συντελεστής λοξότητας είναι αρνητικός σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές της μεταβλητής βρίσκονται αριστερά της επικρατούσας τιμής.



**Εικόνα 5.17:** Κατανομή μίας μεταβλητής με θετική ή αρνητική λοξότητα, με  $\alpha_3$ =δείκτης λοξότητας (πηγή: <http://users.auth.gr/gvasil/par4.pdf>).

- Συντελεστής κυρτότητας (kurtosis). Όταν ο συντελεστής κυρτότητας έχει τιμή μικρότερη του 3 η κατανομή λέγεται πλατύκυρτη, ενώ όταν ο συντελεστής κυρτότητας έχει τιμή μεγαλύτερη του 3 η κατανομή λέγεται λεπτόκυρτη. Συχνά παρατηρούμε ότι ο συντελεστής αφαιρείται από το 3 έτσι ώστε η αναμενόμενη κυρτότητα της κανονικής κατανομής να ισούται με το 0 (Schneider και συν., 2014).



**Εικόνα 5.18:** Κατανομή μίας μεταβλητής με δείκτη κύρτωσης ( $\alpha_4$ ) μικρότερο ή μεγαλύτερο του 3 (πηγή: <http://users.auth.gr/gvasil/par4.pdf>).

Τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα υπολογίστηκαν μέσω του λογισμικού καταγραφής, διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων SPSS (IBM Inc., Armonk NY, USA). Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 24 για Windows.

### 5.2.7 Ανάλυση παλινδρόμησης

Η στατιστική τεχνική που εξετάζει τη σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη μιας από αυτές μέσω των άλλων ονομάζεται ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis). Ιστορικά, ο όρος regression χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Άγγλο ανθρωπολόγο Galton (1822-1911) το 1885. Με τη μελέτη του ύψους των παιδιών σε σχέση με το ύψος των γονέων διαπιστώθηκε ότι παιδιά ψηλών γονέων τείνουν, κατά μέσο όρο, να είναι κοντύτερα των γονιών τους, ενώ παιδιά κοντών γονέων τείνουν, κατά μέσο όρο, να γίνονται ψηλότερα των γονιών τους (Αδαμόπουλος και συν. 2000). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι η ανάπτυξη εξισώσεων ώστε να συσχετιστούν οι μετρήσεις που ελήφθησαν σε ένα οστό με τις αναμενόμενες μετρήσεις ενός άλλου οστού που ανήκουν στο ίδιο άτομο. Προκειμένου να δημιουργηθούν οι εξισώσεις πρόβλεψης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο ανάλυσης γραμμικής παλινδρόμησης (linear regression analysis) αφού είναι τέτοιας μορφής που η τυχαία μεταβλητή  $Y$  είναι γραμμική συνάρτηση των παραμέτρων του μοντέλου. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο όρος "γραμμικό" για το χαρακτηρισμό του μοντέλου αναφέρεται στις παραμέτρους και όχι στις μεταβλητές. Δημιουργήθηκαν λοιπόν μοντέλα απλής παλινδρόμησης (simple regression), δηλαδή μοντέλων πρόβλεψης της μιας μεταβλητής από μία άλλη και μοντέλα πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression), δηλαδή μοντέλων πρόβλεψης της μιας μεταβλητής από πολλές άλλες.

Σε κάθε πρόβλημα παλινδρόμησης διακρίνουμε δύο είδη μεταβλητών: τις ανεξάρτητες ή εξηγηματικές (independent, explanatory variables) και τις εξαρτημένες ή απόκρισης (dependent, response variables). Σε πειραματικές έρευνες, ανεξάρτητη μεταβλητή  $X$  είναι εκείνη την οποία μπορούμε να ελέγξουμε, δηλαδή, να καθορίσουμε τις τιμές της, ενώ εξαρτημένη μεταβλητή  $Y$  είναι εκείνη στην οποία αντανακλάται το αποτέλεσμα των μεταβολών στις ανεξάρτητες μεταβλητές.

Ας θεωρήσουμε δύο μεταβλητές  $X$ ,  $Y$ . Αν οι μεταβλητές αυτές συνδέονται με μια σχέση της μορφής  $Y = f(X)$  μέσω της οποίας για κάθε τιμή της  $X$  μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή της  $Y$ , δηλαδή, αν οι τιμές της  $Y$  δεν υπόκεινται σε σφάλματα, τότε λέμε ότι οι δύο μεταβλητές συνδέονται με τη συναρτησιακή-



προσδιοριστική (deterministic) σχέση  $Y = f(X)$ . Οι μη προσδιοριστικές σχέσεις μεταξύ μεταβλητών ονομάζονται στοχαστικές-στατιστικές (stochastic-probabilistic) σχέσεις. Στην περίπτωση αυτή, αν επαναλάβουμε το πείραμα πολλές φορές θέτοντας το  $X$  στο ίδιο επίπεδο  $X = x_i$  τότε στην τιμή  $x_i$  της  $X$  δεν αντιστοιχεί μια μόνο τιμή  $y$  της  $Y$  αλλά, γενικά, αντιστοιχεί ένα πλήθος διαφορετικών τιμών της  $Y$ .

Οι τιμές των μετρήσεων που λαμβάνονται σε οστά συνδέονται μεταξύ τους με στοχαστική-στατιστική σχέση, καθώς η τιμή της μέτρησης που λαμβάνεται σε ένα οστό αντιστοιχίζεται με ένα πλήθος διαφορετικών αναμενόμενων τιμών σε ένα άλλο οστό. Αυτό συμβαίνει διότι η τιμή μίας μέτρησης δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την τιμή μίας άλλης, αλλά κι από πλήθος άλλων μετρήσιμων και μη μετρήσιμων παραγόντων. Σε μια στοχαστική σχέση το διάγραμμα διασποράς είναι, γενικά, ένα νέφος σημείων το οποίο πολλές φορές καθορίζει μια ιδεατή γραμμή η οποία δίνει μια πρώτη εικόνα της σχέσης που συνδέει τις δύο μεταβλητές. Η σχέση μάλιστα μεταξύ των δύο μεταβλητών είναι τόσο περισσότερο ισχυρή όσο πιο κοντά στην ιδεατή γραμμή βρίσκονται τα σημεία του διαγράμματος διασποράς. Στα στοχαστικά μοντέλα, επειδή εκτός των άλλων υπάρχει και ελλιπής πληροφορία (έχουμε τυχαίο δείγμα και όχι το σύνολο του πληθυσμού), το μοντέλο το οποίο θα προκύψει συνήθως δεν ικανοποιείται ακριβώς για κάθε ζεύγος τιμών  $X$  και  $Y$ . Γι' αυτό το λόγο, το μοντέλο περιλαμβάνει και μία μεταβλητή  $\epsilon$ , η οποία καλύπτει όλους τους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την εξαρτημένη μεταβλητή εκτός από τις ερμηνευτικές μεταβλητές, τον λανθασμένο όρο, διαταρακτικό όρο, θόρυβο ή τυχαίο σφάλμα  $\epsilon$ . Το τυχαίο σφάλμα  $\epsilon$  προέρχεται από μία γνωστή κατανομή με άγνωστες παραμέτρους. Επίσης, θεωρούμε πως η μέση τιμή του  $\epsilon$  είναι μηδέν, δηλαδή πως κατά μέσο όρο το τυχαίο σφάλμα είναι μηδενικό και ότι τα σφάλματα ακολουθούν την κανονική κατανομή και έχουν σταθερή διακύμανση για όλες τις τιμές των  $X$  (Πανάρετος, 1994). Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι εξισώσεις που δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής είναι της μορφής:

$$Y = \alpha + \beta X + \epsilon, \text{ για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης}$$

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k + \epsilon, \text{ για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης}$$



παρατηρήσεων, υπάρχουν όμως μελέτες που υποστηρίζουν πως για να εφαρμοστεί απαιτούνται τουλάχιστον 2000 παρατηρήσεις.

Η δοκιμασία Shapiro-Wilk (Shapiro και Wilk, 1965) υπολογίζει την τιμή  $W$  μέσω του παρακάτω τύπου. Χαμηλές τιμές  $W$  ( $W \leq 0,05$ ) είναι δείκτες απόκλισης από την κανονική κατανομή. Προϋπόθεση για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη στατιστική δοκιμασία είναι το δείγμα να κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5000 παρατηρήσεων (Royston, 1995). Πρέπει να σημειωθεί πως η δοκιμασία Shapiro-Wilk επηρεάζεται από το μέγεθος του δείγματος, δηλαδή όσο μεγαλύτερο είναι το δείγμα, τόσο πιθανότερο είναι να βρεθεί στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα.

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)}\right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

**Εικόνα 5.20:** Τύπος για τον υπολογισμό του δείκτη  $W$  κατά τη δοκιμασία Shapiro-Wilk. Όπου  $n$  το πλήθος των παρατηρήσεων,  $x_i$  οι τιμές του δείγματος και  $a_i$  σταθερές που προέκυψαν από τη διακύμανση, τη συνδιακύμανση και τη μέση τιμή και των παρατηρήσεων. (Πηγή: <http://www.statisticshowto.com/shapiro-wilk-test/>).

Σε κάθε περίπτωση, οι δοκιμασίες για τον έλεγχο της κανονικότητας του δείγματος δέχονται ή απορρίπτουν τη μηδενική υπόθεση «η υπό έλεγχο κατανομή δε διαφέρει από την κανονική κατανομή». Αν αυτή απορριφθεί, δεχόμαστε την εναλλακτική υπόθεση «η υπό έλεγχο κατανομή διαφέρει από την κανονική κατανομή». Η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν η τιμή  $p$  είναι μικρότερη ή ίση της τιμής 0,05. Η τιμή  $p$  είναι η πιθανότητα να υπάρχει σφάλμα τύπου I. Αν απορριφθεί η μηδενική υπόθεση, μπορούμε να δεχτούμε πως κατά 95% οι τιμές δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αν επιβεβαιωθεί η μηδενική υπόθεση μπορούμε απλώς να δεχτούμε πως δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική απόκλιση από την κανονική κατανομή.

### *Γραμμικότητα (linearity)*

Για να ελεγχθεί η ύπαρξη γραμμικότητας μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών  $X$  και  $Y$  αξιολογήθηκε ο δείκτης γραμμικής συσχέτισης Pearson ή δείκτης  $r$  (Pearson correlation coefficient). Ο δείκτης  $r$  μετρά το βαθμό γραμμικής συσχέτισης μεταξύ

δύο μεταβλητών. Οι τιμές που μπορεί να λάβει το  $r$  είναι στο διάστημα  $[-1,1]$ , δηλαδή  $-1 \leq r \leq 1$  και ερμηνεύονται ως εξής:

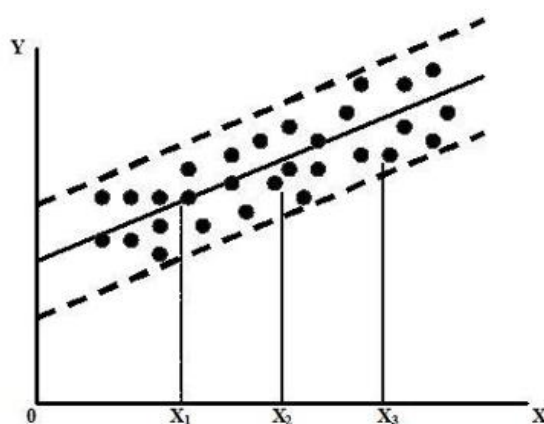
- $r = -1$  σημαίνει πλήρης αρνητική γραμμική συσχέτιση
- $r = 1$  σημαίνει πλήρης θετική γραμμική συσχέτιση
- $r = 0$  σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία γραμμική συσχέτιση

Προφανώς, όσο απομακρύνεται το  $r$  από την τιμή  $0$ , τόσο μεγαλώνει και η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών, θετική ή αρνητική.

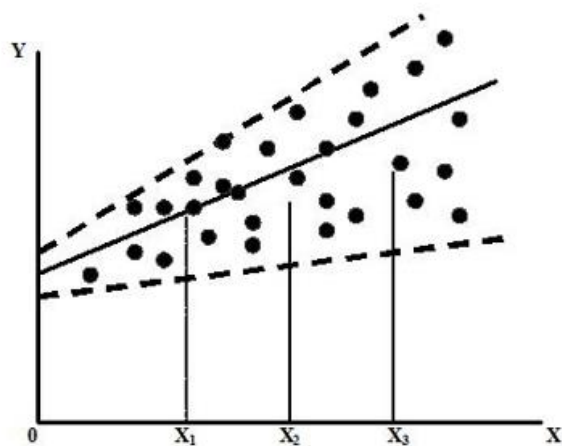
#### *Ομοσκεδαστικότητα-σταθερότητα διασποράς (homoscedasticity-variance stability)*

Για να υπάρχει ομοσκεδαστικότητα πρέπει η διακύμανση του διαταρακτικού όρου  $\epsilon$  να παραμένει σταθερή, όποιες και εάν είναι οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο έλεγχος γίνεται με τη δημιουργία γραφικής παράστασης των υπολοίπων (RESID) ή των τυποποιημένων υπολοίπων (ZRESID) συναρτήσει των τυποποιημένων προβλεπόμενων από το στατιστικό μοντέλο τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής (ZPRED).

Στη συνέχεια ελέγχεται αν τα υπόλοιπα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα και αν παρουσιάζουν ανομοιογένεια των διασπορών. Η γραφική παράσταση των υπολοίπων που εμφανίζουν ομοσκεδαστικότητα δείχνει μία τυχαία τοποθέτησή τους γύρω από τη γραμμή που αντιστοιχεί σε υπόλοιπο "0".



**Εικόνα 5.21** Ομοσκεδαστικά υπόλοιπα (Figure 10.1 από Asteriou και Hall, 2006).



**Εικόνα 5.22** Ετεροσκεδαστικά υπόλοιπα (Figure 10.2 από Asteriou και Hall, 2006).

#### *Ανεξαρτησία (independence)*

Οι τιμές της  $Y$  που αντιστοιχούν στα διάφορα επίπεδα της  $X$  πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Εξαρτημένα  $Y$  εμφανίζονται συνήθως όταν παίρνουμε παρατηρήσεις από την ίδια πειραματική μονάδα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές ή σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται όργανα μέτρησης των οποίων η απόδοση αλλάζει ανάλογα με το αν ο ερευνητής βελτιώνεται ή χειροτερεύει με την πάροδο του χρόνου. Όταν λοιπόν λαμβάνονται πειραματικά δεδομένα με χρονική σειρά, πρέπει να δημιουργείται ένα διάγραμμα υπολοίπων (residuals) ως προς το χρόνο έστω και αν ο χρόνος δεν χρησιμοποιείται ως μεταβλητή στο μοντέλο ή μέσω κάποιου στατιστικού ελέγχου.

Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος έλεγχος για την διαπίστωση του κατά πόσο τα υπόλοιπα σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι αυτοσυσχετιζόμενα είναι ο έλεγχος Durbin-Watson (Durbin-Watson test). Στον συγκεκριμένο έλεγχο η μηδενική υπόθεση είναι ότι «τα υπόλοιπα είναι ή ασυσχέτιστα ή αρνητικά συσχετισμένα». Αντιθέτως, η εναλλακτική υπόθεση έχει την έννοια ότι «τα υπόλοιπα είναι θετικά συσχετισμένα». Η αριθμητική τιμή που προκύπτει από την εφαρμογή του εν λόγω ελέγχου στο κάθε μαθηματικό μοντέλο κυμαίνεται από 0 έως 4. Οι τιμές κοντά στο 2 υποδεικνύουν ανεξαρτησία (μη αυτοσυσχέτιση), οι τιμές κοντά στο 0

υποδεικνύουν θετική αυτοσυσχέτιση, ενώ οι τιμές κοντά στο 4 αρνητική αυτοσυσχέτιση (Durbin και Watson, 1950).

### *Πολυσυγγραμμικότητα (multicolleniarity)*

Η υπόθεση αυτή ελέγχεται μόνο σε περιπτώσεις πολλαπλής παλινδρόμησης. Εκτός από τη συσχέτιση των ανεξάρτητων μεταβλητών με την εξαρτημένη, υπάρχει περίπτωση οι ανεξάρτητες μεταβλητές να συσχετίζονται και μεταξύ τους. Το πρόβλημα της πολυσυγγραμμικότητας μπορεί να προκληθεί είτε από την ύπαρξη δύο ή περισσότερων τέλεια συσχετισμένων μεταβλητών πρόβλεψης (στην περίπτωσή μας δύο παρόμοιων μετρήσεων πάνω σε ένα οστό), είτε εάν υπάρχουν πάρα πολύ λίγα διαθέσιμα δεδομένα σε σχέση με τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να υπολογίζεται (π.χ. λιγότερα σημεία δεδομένων από συντελεστές παλινδρόμησης). Εάν διαπιστωθεί πολυσυγγραμμικότητα στο μοντέλο πολλαπλής παλινδρόμησης, τότε αυτό θα πρέπει να απορριφθεί καθώς η ακρίβεια εκτίμησης των συντελεστών παλινδρόμησης είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Επιπλέον, η ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας συνεπάγεται και χαμηλή τιμή t-statistics, άρα και αδυναμία απόρριψης της μηδενικής υπόθεσης. Τέλος, όσο μεγαλύτερη είναι η πολυσυγγραμμικότητα, τόσο μεγαλύτερες αναμένεται να είναι οι τυπικές αποκλίσεις και τα διαστήματα εμπιστοσύνης. Στην παρούσα διατριβή η ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας ελέγχθηκε μέσω υπολογισμού των παραγόντων VIFs (Variance Inflection Factors). Το στατιστικό VIF για μια ανεξάρτητη μεταβλητή  $j$  υπολογίζεται με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}, j = 1, 2, \dots, k$$

όπου:  $R_j^2$  συντελεστής προσδιορισμού (coefficient of determination) μοντέλου παλινδρόμησης

Όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνει ο παραπάνω δείκτης μιας μεταβλητής τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα πολυσυγγραμμικότητας δημιουργεί αυτή στο ερμηνευτικό μοντέλο. Το όριο πάνω από το οποίο θα πρέπει να αφαιρείται μια μεταβλητή είναι

το 10 (Fotheringham και συν., 2002). Ωστόσο, στη βιβλιογραφία υπάρχουν και πιο αυστηροί εμπειρικοί κανόνες θέτοντας το όριο απόρριψης πολύ χαμηλότερα. Εδώ, χρησιμοποιήθηκε το όριο του 5 (Sheather, 2009).

Ο έλεγχος των υποθέσεων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού καταγραφής, διαχείρισης και επεξεργασίας δεδομένων SPSS (IBM Inc., Armonk NY, USA). Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 24 για Windows.

#### *5.2.9 Επίδραση του φύλου στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης*

Προκειμένου να διαπιστωθεί αν το φύλο επηρεάζει τη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης που παρουσιάζονται, υπολογίστηκε το σφάλμα εκτίμησης (SEE-standard error of the estimate) ανά φύλο για την κάθε εξίσωση ξεχωριστά. Επιπλέον, εφαρμόστηκε μη συσχετισμένος έλεγχος t (independent t-test) στα υπόλοιπα (residuals) των δύο φύλων για κάθε εξίσωση. Αν η διαφορά στο σφάλμα βρεθεί να είναι μικρή και η διαφορά των υπολοίπων στατιστικά μη σημαντική, οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δείγμα που αντιπροσωπεύονται και τα δύο φύλα. Αν όχι, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη εξισώσεων για κάθε φύλο ξεχωριστά. Η δεύτερη περίπτωση θα προϋπέθετε την εκτίμηση του φύλου για κάθε οστό πριν την εφαρμογή των εξισώσεων ταξινόμησης κατ' άτομο.

#### *5.2.10 Επίδραση της ανατομικής πλευράς στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης*

Η ανάπτυξη των εξισώσεων της παρούσας διατριβής έγινε από τις μετρήσεις της δεξιάς ανατομικής πλευράς. Ωστόσο, πρέπει να διερευνηθεί αν οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κατ' άτομο ταξινόμηση των οστών της αριστερής πλευράς ή αν η πλευρική ασυμμετρία επηρεάζει το αποτέλεσμα, καθώς και αν είναι δυνατή η πρόβλεψη των μετρήσεων της μίας ανατομικής πλευράς από μετρήσεις της άλλης. Για το λόγο αυτό θα εφαρμοστεί συσχετισμένος έλεγχος t

μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς.

#### 5.2.11 *Τυφλή δοκιμασία (blind test)*

Προκειμένου να εκτιμηθεί η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε πραγματικές υποθέσεις, δημιουργήθηκαν τεχνητά δείγματα συμφυρμένων οστών 8-19 ατόμων. Τα οστά ανήκαν σε ενήλικα άτομα και των δύο φύλων και προέρχονταν από δικαστικές υποθέσεις της Μονάδας Δικαστικής Ανθρωπολογίας του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας της Ιατρικής Σχολής του ΕΚΠΑ. Το κάθε οστό είχε σημειωθεί με έναν αριθμό προκειμένου να μπορεί να γίνει η καταγραφή των ληφθεισών μετρήσεων. Οι αριθμοί που αντιστοιχούσαν στα οστά του ίδιου ατόμου είχαν καταγραφεί σε μία λίστα, έτσι ώστε να γίνει η επαλήθευση μετά το τέλος της διαδικασίας.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: αρχικά, τα οστά χωρίστηκαν ανά τύπο. Στη συνέχεια, σε κάθε οστό ελήφθησαν όλες οι μετρήσεις και με τη βοήθεια των εξισώσεων υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες τιμές για τις μετρήσεις των άλλων οστών που ανήκουν στην ίδια άρθρωση. Για κάθε άρθρωση ξεχωριστά, ελέγχθηκε ποια οστά μπορούν μετρικά να αποδοθούν στο ίδιο άτομο. Στις περιπτώσεις που τα πιθανά ζεύγη ήταν περισσότερα από ένα, αξιολογήθηκαν μορφολογικά χαρακτηριστικά των οστών όπως οι ομοιότητες στην ευρωστία και το μυϊκό ανάγλυφο, η καλή συναρμογή των αρθρώσεων, αλλά και ομοιότητες στη χροιά και την υφή των οστών.



## 6. Αποτελέσματα

---

### 6.1 Εκτίμηση μεγέθους δείγματος

Κατά το σχεδιασμό μίας έρευνας η εκτίμηση του μεγέθους του δείγματος είναι θέμα υψίστης σημασίας διότι συνδέεται άμεσα με την ισχύ των στατιστικών ελέγχων που πρόκειται να πραγματοποιηθούν. Ο εκ των προτέρων υπολογισμός του επιτρέπει την ασφαλή γενίκευση των ευρημάτων της έρευνας στον πληθυσμό. Με απλά λόγια, η εκτίμηση του μεγέθους του δείγματος της μελέτης επιτρέπει να εξασφαλιστεί πως δε θα απορριφθεί εσφαλμένα μία πραγματικά αληθής υπόθεση (σφάλμα τύπου I) ή δε θα γίνει αποδεκτή εσφαλμένα μία πραγματικά ψευδής υπόθεση (σφάλμα τύπου II). Επομένως, είναι πολύ σημαντικό πριν την έναρξη μιας μελέτης να εκτιμηθεί η ισχύς της στατιστικής ανάλυσης (power analysis) και να καθοριστεί το μέγεθος του δείγματος (sample size) (Abramowitz και Stegun, 1965· Cohen, 1988). Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η εκτίμηση του βέλτιστου μεγέθους του δείγματος μελέτης, πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού G\*Power 3 (Faul και συν., 2007).

Από τον παραπάνω στατιστικό έλεγχο προέκυψε ότι το δείγμα το οποίο επιλέχθηκε για την ανάλυση απλής και πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης ήταν επαρκές ώστε οι στατιστικοί έλεγχοι που εφαρμόστηκαν να θεωρηθούν στατιστικά ορθοί. Συγκεκριμένα, ένα μέσου βαθμού μέγεθος επίδρασης (medium effect size) με  $f^2=0,15$ , επίπεδο σημαντικότητας άλφα ( $\alpha$ -probability)  $\alpha=0,05$  και με 90% στατιστική ισχύ δείγμα για ανάλυση απλής παλινδρόμησης πρέπει να αποτελείται κατ' ελάχιστον από 71 άτομα. Ομοίως, για τις αναλύσεις πολλαπλής παλινδρόμησης ο ελάχιστος αριθμός των ατόμων του δείγματος εξαρτάται από τον αριθμό των ανεξάρτητων μεταβλητών του κάθε μαθηματικού μοντέλου και υπολογίστηκε ως 87 άτομα όταν υπάρχουν 2 ανεξάρτητες μεταβλητές, 98 για 3, 108 για 4 και 116 για 5.

## 6.2 Έλεγχος επαναληψιμότητας των μετρήσεων

Προκειμένου να εκτιμηθεί η εσωτερική αξιοπιστία της μεθόδου, επανεξετάστηκαν τα οστά 60 ατόμων από το δείγμα και εφαρμόστηκε συσχετισμένος έλεγχος t και έλεγχος τεχνικού σφάλματος μέτρησης (ΤΣΜ). Οι τιμές του συσχετισμένου ελέγχου t με p-value (τιμή παρατηρούμενου επιπέδου στατιστικής σημαντικότητας) μικρότερο του 0,05 θεωρούνται στατιστικά σημαντικές (Field, 2009). Επομένως, για να μην απορριφθεί η μηδενική υπόθεση  $H_0$  ( $H_0$ : οι μέσοι όροι των δύο ομάδων δεν διαφέρουν μεταξύ τους) το p-value θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο της τιμής 0,05. Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί πως το αποδεκτό εύρος των σχετικών ΤΣΜ για την εκτίμηση της επαναληψιμότητας (intra-observer error) μίας μεθόδου είναι < 1.5% (Perini και συν., 2005). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.1** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου t μετρήσεων δεξιάς πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
<b>GFH</b>	Δεξιά	0,19	57	0,85
<b>GFB</b>	Δεξιά	1,00	56	0,32
<b>HHD</b>	Δεξιά	-1,12	54	0,27
<b>HHB</b>	Δεξιά	-0,02	54	0,98
<b>HBB</b>	Δεξιά	0,17	54	0,87
<b>CTB</b>	Δεξιά	-0,03	53	0,98
<b>OMA</b>	Δεξιά	1,51	54	0,14
<b>OMI</b>	Δεξιά	-0,10	56	0,92
<b>URH</b>	Δεξιά	1,51	55	0,14
<b>RHH</b>	Δεξιά	1,88	53	0,07
<b>RHD</b>	Δεξιά	-0,67	51	0,51
<b>FHD</b>	Δεξιά	-0,43	54	0,67
<b>ODA</b>	Δεξιά	-1,02	55	0,31
<b>FEB</b>	Δεξιά	1,00	54	0,32
<b>TPB</b>	Δεξιά	0,38	55	0,71
<b>TBB</b>	Δεξιά	-1,31	54	0,19
<b>TDB</b>	Δεξιά	0,00	53	1,00
<b>TTL</b>	Δεξιά	0,60	43	0,05
<b>TTW</b>	Δεξιά	-2,05	43	0,05
<b>TAL</b>	Δεξιά	-1,54	43	0,13
<b>TAW</b>	Δεξιά	1,97	43	0,06
<b>CAW</b>	Δεξιά	0,60	48	0,55
<b>CAL</b>	Δεξιά	0,85	47	0,40

**Πίνακας 6.2** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου t μετρήσεων αριστερής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
<b>GFH</b>	Αριστερή	0,75	57	0,46
<b>GFB</b>	Αριστερή	0,58	57	0,57
<b>HHD</b>	Αριστερή	-1,22	57	0,23
<b>HHB</b>	Αριστερή	0,63	57	0,94
<b>HBB</b>	Αριστερή	0,00	55	1,00
<b>CTB</b>	Αριστερή	0,83	54	0,41
<b>OMA</b>	Αριστερή	-1,15	54	0,26
<b>OMI</b>	Αριστερή	1,43	54	0,16
<b>URH</b>	Αριστερή	0,22	55	0,82
<b>RHH</b>	Αριστερή	0,36	52	0,72
<b>RHD</b>	Αριστερή	-0,24	50	0,81
<b>FHD</b>	Αριστερή	-0,85	55	0,40
<b>ODA</b>	Αριστερή	-1,71	55	0,09
<b>FEB</b>	Αριστερή	0,57	54	0,57
<b>TPB</b>	Αριστερή	1,00	55	0,32
<b>TBB</b>	Αριστερή	0,46	52	0,65
<b>TDB</b>	Αριστερή	-0,57	52	0,57
<b>TTL</b>	Αριστερή	0,60	39	0,06
<b>TTW</b>	Αριστερή	-2,08	39	0,05
<b>TAL</b>	Αριστερή	-0,87	41	0,39
<b>TAW</b>	Αριστερή	2,00	41	0,06
<b>CAW</b>	Αριστερή	0,72	46	0,05
<b>CAL</b>	Αριστερή	-0,98	46	0,33

**Πίνακας 6.3** Αποτελέσματα σχετικού τεχνικού σφάλματος μέτρησης (%ΤΣΜ).

<b>Μέτρηση</b>	<b>%ΤΣΜ</b>
<b>GFH</b>	0,46
<b>GFB</b>	0,16
<b>HHD</b>	0,39
<b>HHB</b>	0,39
<b>HBB</b>	0,53
<b>CTB</b>	0,36
<b>OMA</b>	0,60
<b>OMI</b>	0,71
<b>URH</b>	1,42
<b>RHH</b>	1,24
<b>RHD</b>	0,46
<b>FHD</b>	0,30
<b>ODA</b>	0,80
<b>FEB</b>	0,23
<b>TPB</b>	0,22
<b>TBB</b>	0,19
<b>TDB</b>	0,73
<b>TTL</b>	0,29
<b>TTW</b>	0,40
<b>TAL</b>	0,54
<b>TAW</b>	0,66
<b>CAW</b>	0,49
<b>CAL</b>	0,61

### **6.3 Περιγραφικά στατιστικά μέτρα**

Τα περιγραφικά στατιστικά μέτρα είναι αριθμοί που υπολογίζονται από τα ληφθέντα δεδομένα και η τιμή τους αντιπροσωπεύει κάποια τάση ή συμπεριφορά του δείγματος. Οι τιμές των περιγραφικών στατιστικών μέτρων θέσης ή κεντρικής τάσης, των μέτρων μεταβλητότητας ή διασποράς καθώς και των μέτρων σχήματος συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες:

**Πίνακας 6.4** Περιγραφικά στατιστικά κεντρικής τάσης και διασποράς των μετρήσεων της δεξιάς ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	N	Εύρος	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	Τυπική απόκλιση	Διασπορά
<b>GFH</b>	Δεξιά	209	15,60	29,54	45,14	37,56	0,23	3,30	10,89
<b>GFB</b>	Δεξιά	206	13,28	20,33	33,61	27,20	0,20	2,92	8,51
<b>HHD</b>	Δεξιά	206	20,99	34,56	55,55	44,73	0,28	4,01	16,06
<b>HHB</b>	Δεξιά	206	18,36	32,81	51,17	41,36	0,26	3,78	14,29
<b>HBB</b>	Δεξιά	213	31,00	47,00	78,00	58,52	0,36	5,28	2,79
<b>CTB</b>	Δεξιά	212	17,02	32,66	49,68	41,57	0,26	3,76	14,16
<b>OMA</b>	Δεξιά	209	12,28	18,04	30,32	23,53	0,18	2,60	6,77
<b>OMI</b>	Δεξιά	213	11,06	12,80	23,86	18,53	0,16	2,29	5,24
<b>URH</b>	Δεξιά	214	7,02	8,14	15,16	11,62	0,11	1,56	2,43
<b>RHH</b>	Δεξιά	212	6,87	7,31	14,18	10,21	0,10	1,39	1,93
<b>RHD</b>	Δεξιά	206	11,15	16,59	27,74	21,58	0,15	2,21	4,88
<b>FHD</b>	Δεξιά	210	19,22	35,78	55,00	44,99	0,26	3,71	13,76
<b>ODA</b>	Δεξιά	207	21,82	38,84	60,66	50,91	0,28	4,02	16,12
<b>FEB</b>	Δεξιά	215	29,00	66,00	95,00	79,35	0,41	6,03	3,63
<b>TPB</b>	Δεξιά	214	41,00	47,00	88,00	74,00	0,40	5,89	3,46
<b>TBB</b>	Δεξιά	213	25,19	61,33	86,52	72,98	0,37	5,40	29,15
<b>TDB</b>	Δεξιά	214	20,00	38,00	58,00	47,85	0,28	4,07	1,66
<b>TTL</b>	Δεξιά	192	15,68	26,44	42,12	33,89	0,23	3,14	9,89
<b>TTW</b>	Δεξιά	192	11,52	25,35	36,87	31,06	0,18	2,53	6,39
<b>TAL</b>	Δεξιά	190	14,08	27,76	41,84	33,46	0,21	2,94	8,65
<b>TAW</b>	Δεξιά	190	12,31	16,78	29,09	21,95	0,15	2,12	4,48
<b>CAW</b>	Δεξιά	203	11,92	16,76	28,68	22,26	0,15	2,11	4,47
<b>CAL</b>	Δεξιά	203	15,56	23,15	38,71	29,97	0,20	2,87	8,22

**Πίνακας 6.5** Περιγραφικά στατιστικά κεντρικής τάσης και διασποράς των μετρήσεων της αριστερής ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	N	Εύρος	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπικό σφάλμα μέσης τιμής	Τυπική απόκλιση	Διασπορά
<b>GFH</b>	Αριστερή	213	15,53	29,18	44,71	37,15	0,23	3,32	11,00
<b>GFB</b>	Αριστερή	212	11,85	21,05	32,90	26,86	0,20	2,85	8,14
<b>HHD</b>	Αριστερή	210	20,11	34,79	54,90	44,46	0,28	3,99	15,89
<b>HHB</b>	Αριστερή	208	16,48	32,86	49,34	41,15	0,25	3,60	12,95
<b>HBB</b>	Αριστερή	216	30,00	47,00	77,00	58,06	0,35	5,13	2,63
<b>CTB</b>	Αριστερή	211	17,72	31,47	49,19	41,29	0,26	3,75	14,10
<b>OMA</b>	Αριστερή	206	11,04	17,42	28,46	23,26	0,18	2,57	6,61
<b>OMI</b>	Αριστερή	209	10,92	12,05	22,97	18,34	0,15	2,21	4,88
<b>URH</b>	Αριστερή	213	7,21	8,31	15,52	11,53	0,10	1,53	2,34
<b>RHH</b>	Αριστερή	209	7,81	6,81	14,62	10,28	0,10	1,45	2,11
<b>RHD</b>	Αριστερή	207	9,39	16,86	26,25	21,43	0,15	2,15	4,61
<b>FHD</b>	Αριστερή	212	21,62	34,99	56,61	44,98	0,26	3,84	14,76
<b>ODA</b>	Αριστερή	213	21,29	38,93	60,22	50,83	0,27	3,97	15,78
<b>FEB</b>	Αριστερή	215	28,00	67,00	95,00	79,07	0,44	6,40	4,09
<b>TPB</b>	Αριστερή	214	40,00	46,00	86,00	74,03	0,40	5,86	3,43
<b>TBB</b>	Αριστερή	209	23,54	60,77	84,31	72,70	0,37	5,39	29,09
<b>TDB</b>	Αριστερή	214	19,00	39,00	58,00	47,42	0,28	4,04	1,63
<b>TTL</b>	Αριστερή	185	14,75	26,38	41,13	33,75	0,23	3,10	9,62
<b>TTW</b>	Αριστερή	185	12,12	25,72	37,84	30,89	0,19	2,60	6,77
<b>TAL</b>	Αριστερή	186	13,75	27,10	40,85	33,34	0,22	3,03	9,17
<b>TAW</b>	Αριστερή	186	10,81	16,62	27,43	21,82	0,16	2,13	4,56
<b>CAW</b>	Αριστερή	202	9,64	17,53	27,17	22,00	0,15	2,08	4,34
<b>CAL</b>	Αριστερή	202	13,39	24,01	37,40	29,85	0,20	2,86	8,19



**Πίνακας 6.6** Περιγραφικά στατιστικά σχήματος των μετρήσεων της δεξιάς ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Συντελεστής λοξότητας (skewness)	Τυπικό σφάλμα	Συντελεστής κυρτότητας (kurtosis)	Τυπικό σφάλμα
GFH	Δεξιά	0,07	0,17	-0,84	0,33
GFB	Δεξιά	0,00	0,17	-0,82	0,34
HHD	Δεξιά	0,12	0,17	-0,56	0,34
HNB	Δεξιά	-0,29	0,17	0,47	0,34
HBB	Δεξιά	0,22	0,17	-0,15	0,33
CTB	Δεξιά	0,11	0,17	-0,97	0,33
OMA	Δεξιά	0,17	0,17	-0,72	0,33
OMI	Δεξιά	-0,11	0,17	-0,31	0,33
URH	Δεξιά	0,06	0,17	-0,63	0,33
RHH	Δεξιά	0,23	0,17	-0,31	0,33
RHD	Δεξιά	0,03	0,17	-0,78	0,34
FHD	Δεξιά	0,15	0,17	-0,65	0,33
ODA	Δεξιά	-0,02	0,17	-0,50	0,34
FEB	Δεξιά	0,04	0,17	-0,84	0,33
TPB	Δεξιά	-0,40	0,17	0,98	0,33
TBB	Δεξιά	0,06	0,17	-0,73	0,33
TDB	Δεξιά	0,08	0,17	-0,45	0,33
TTL	Δεξιά	-0,06	0,18	-0,34	0,35
TTW	Δεξιά	0,09	0,18	-0,57	0,35
TAL	Δεξιά	0,13	0,18	-0,66	0,35
TAW	Δεξιά	0,27	0,18	0,12	0,35
CAW	Δεξιά	0,43	0,17	0,09	0,34
CAL	Δεξιά	0,17	0,17	-0,29	0,34

**Πίνακας 6.7** Περιγραφικά στατιστικά σχήματος των μετρήσεων της αριστερής ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Συντελεστής λοξότητας (skewness)	Τυπικό σφάλμα	Συντελεστής κυρτότητας (kurtosis)	Τυπικό σφάλμα
GFH	Αριστερή	0,03	0,17	-0,93	0,33
GFB	Αριστερή	0,01	0,17	-0,96	0,33
HHD	Αριστερή	0,02	0,17	-0,72	0,33
HNB	Αριστερή	-0,06	0,17	-0,82	0,34
HBB	Αριστερή	0,11	0,17	0,01	0,33
CTB	Αριστερή	-0,03	0,17	-0,90	0,33
OMA	Αριστερή	0,04	0,17	-0,98	0,34
OMI	Αριστερή	-0,22	0,17	-0,37	0,33
URH	Αριστερή	0,21	0,17	-0,50	0,33
RHH	Αριστερή	0,55	0,17	0,22	0,33
RHD	Αριστερή	0,10	0,17	-0,86	0,34
FHD	Αριστερή	0,26	0,17	-0,40	0,33
ODA	Αριστερή	0,03	0,17	-0,50	0,33
FEB	Αριστερή	-0,44	0,17	0,80	0,33
TPB	Αριστερή	-0,44	0,17	0,91	0,33
TBB	Αριστερή	0,05	0,17	-0,82	0,33
TDB	Αριστερή	0,23	0,17	-0,51	0,33
TTL	Αριστερή	0,10	0,18	-0,45	0,36
TTW	Αριστερή	0,25	0,18	-0,56	0,36
TAL	Αριστερή	0,20	0,18	-0,74	0,35
TAW	Αριστερή	0,34	0,18	-0,28	0,35
CAW	Αριστερή	0,18	0,17	-0,38	0,34
CAL	Αριστερή	0,25	0,17	-0,50	0,34

#### **6.4 Κανονική κατανομή**

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής εξετάστηκε αν ακολουθείται η κανονική κατανομή των τιμών των μετρήσεων με την εφαρμογή των στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk. Η τιμή  $p$  που υπολογίστηκε για κάθε μέτρηση είναι μεγαλύτερη ή ίση της τιμής 0,05. Συνεπώς, επιβεβαιώνεται η μηδενική υπόθεση και μπορούμε να δεχτούμε πως δεν βρέθηκε στατιστικά σημαντική απόκλιση των μετρήσεων από την κανονική κατανομή.

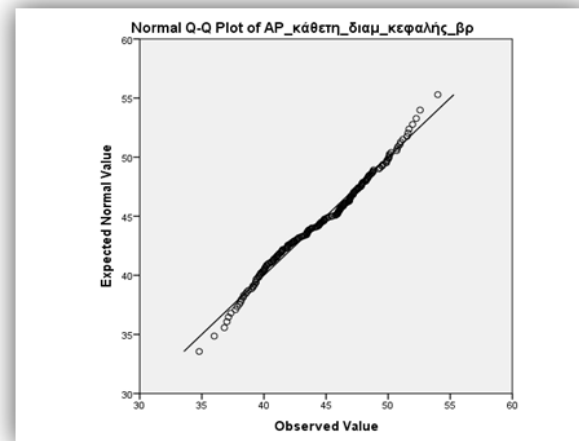
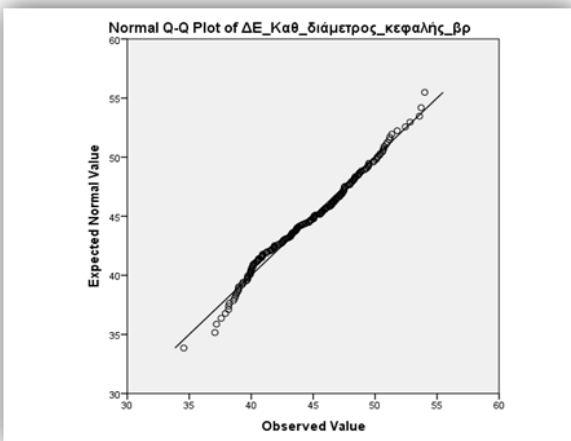
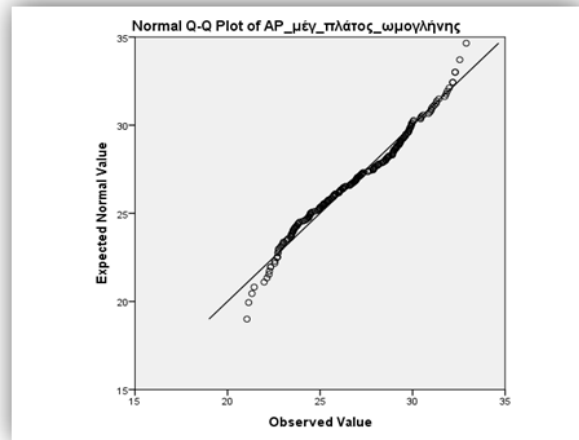
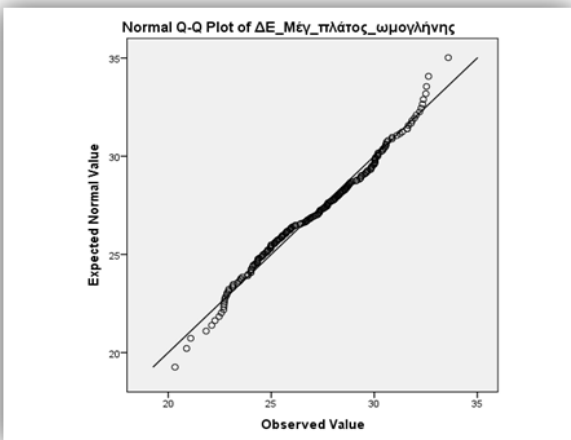
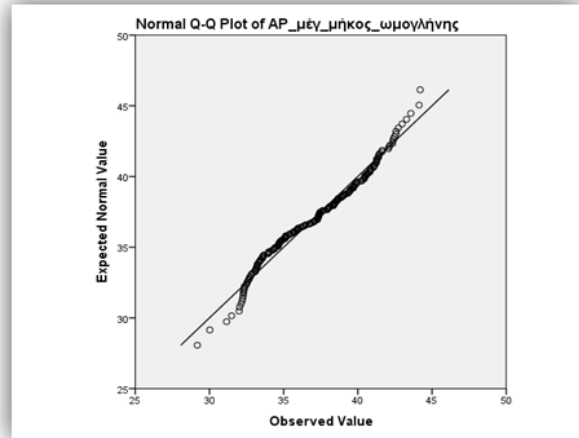
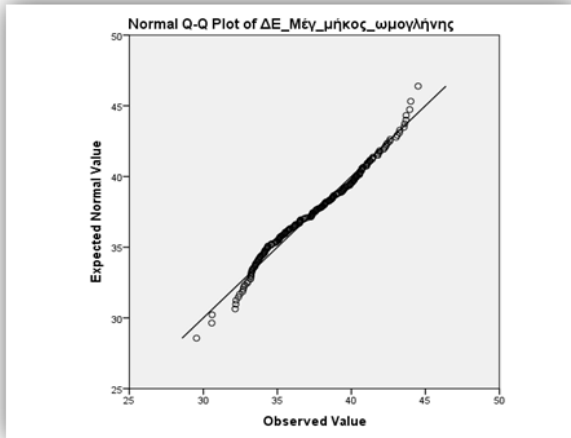
**Πίνακας 6.8** Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τις μετρήσεις της δεξιάς ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Τιμή	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p	Τιμή	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
<b>GFH</b>	Δεξιά	0,10	98	0,05	0,97	98	0,06
<b>GFB</b>	Δεξιά	0,08	98	0,10	0,98	98	0,07
<b>HHD</b>	Δεξιά	0,08	98	0,16	0,98	98	0,30
<b>HHB</b>	Δεξιά	0,10	98	0,05	0,98	98	0,08
<b>HBB</b>	Δεξιά	0,09	98	0,06	0,98	98	0,10
<b>CTB</b>	Δεξιά	0,07	98	0,20	0,99	98	0,46
<b>OMA</b>	Δεξιά	0,06	98	0,20	0,98	98	0,22
<b>OMI</b>	Δεξιά	0,07	98	0,20	0,98	98	0,21
<b>URH</b>	Δεξιά	0,04	98	0,20	0,99	98	0,44
<b>RHH</b>	Δεξιά	0,06	98	0,20	0,99	98	0,67
<b>RHD</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,99	98	0,71
<b>FHD</b>	Δεξιά	0,06	98	0,20	0,99	98	0,66
<b>ODA</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,99	98	0,82
<b>FEB</b>	Δεξιά	0,10	98	0,08	0,98	98	0,07
<b>TPB</b>	Δεξιά	0,09	98	0,06	0,99	98	0,47
<b>TBB</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,99	98	0,37
<b>TDB</b>	Δεξιά	0,11	98	0,06	0,98	98	0,17
<b>TTL</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,98	98	0,10
<b>TTW</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,98	98	0,31
<b>TAL</b>	Δεξιά	0,08	98	0,08	0,98	98	0,09
<b>TAW</b>	Δεξιά	0,05	98	0,20	0,99	98	0,79
<b>CAW</b>	Δεξιά	0,06	98	0,20	0,99	98	0,47
<b>CAL</b>	Δεξιά	0,07	98	0,20	0,99	98	0,58

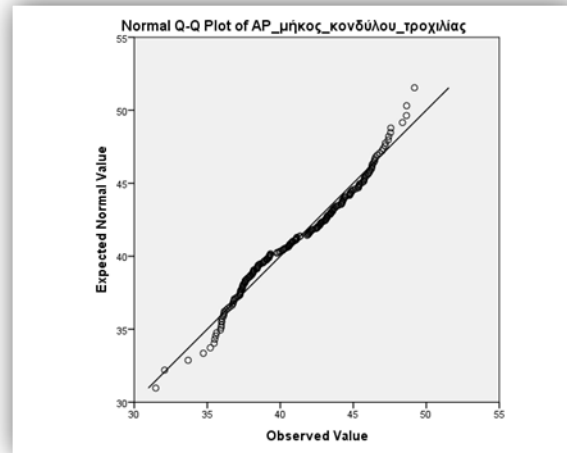
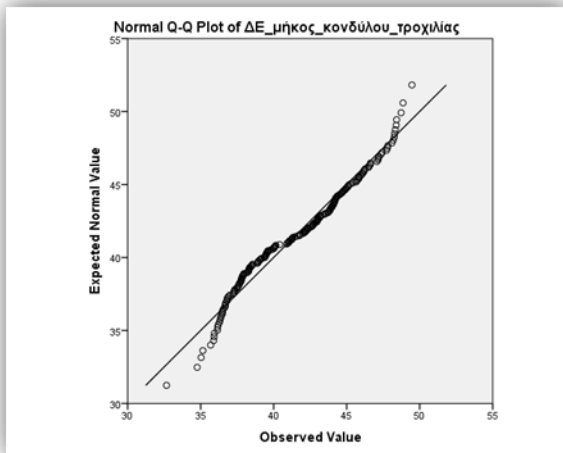
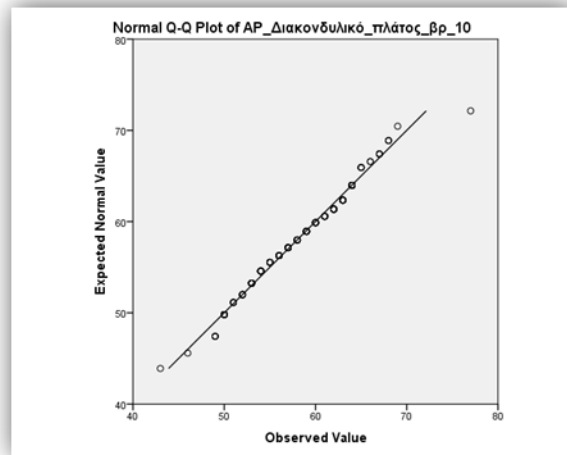
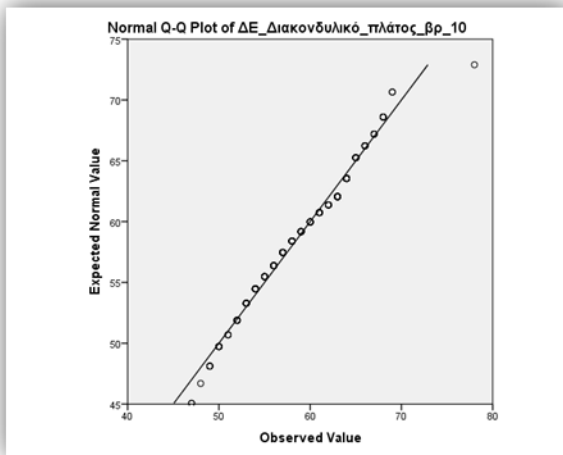
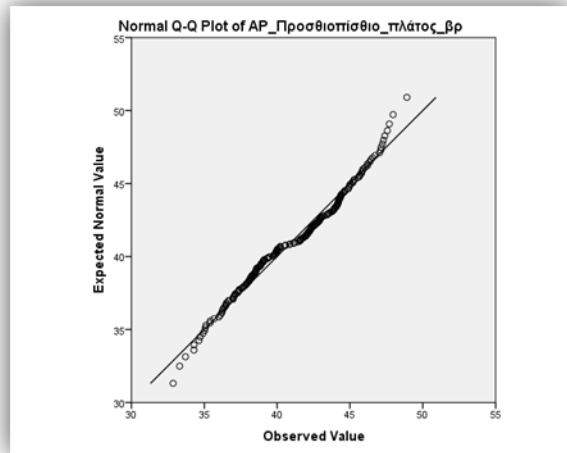
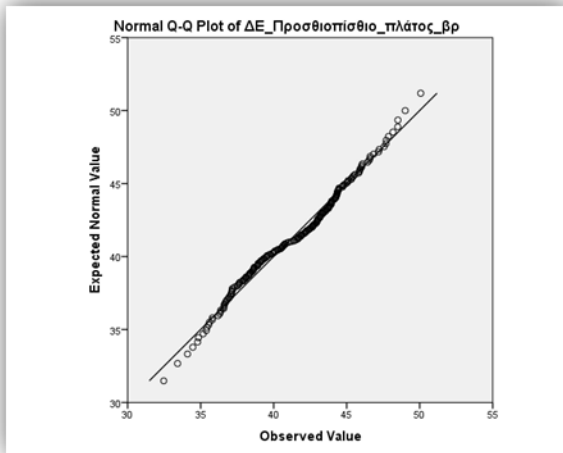
**Πίνακας 6.9** Αποτελέσματα στατιστικών ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk για τις μετρήσεις της αριστερής ανατομικής πλευράς.

Μέτρηση	Πλευρά	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk			
		Τιμή	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή ρ	Τιμή	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή ρ
<b>GFH</b>	Αριστερή	0,10	98	0,05	0,97	98	0,07
<b>GFB</b>	Αριστερή	0,10	98	0,10	0,97	98	0,07
<b>HHD</b>	Αριστερή	0,10	98	0,15	0,98	98	0,09
<b>HHB</b>	Αριστερή	0,09	98	0,05	0,97	98	0,06
<b>HBB</b>	Αριστερή	0,10	98	0,03	0,97	98	0,07
<b>CTB</b>	Αριστερή	0,08	98	0,13	0,98	98	0,20
<b>OMA</b>	Αριστερή	0,06	98	0,20	0,98	98	0,18
<b>OMI</b>	Αριστερή	0,09	98	0,08	0,98	98	0,25
<b>URH</b>	Αριστερή	0,05	98	0,20	0,99	98	0,71
<b>RHH</b>	Αριστερή	0,05	98	0,20	0,99	98	0,91
<b>RHD</b>	Αριστερή	0,07	98	0,20	0,98	98	0,14
<b>FHD</b>	Αριστερή	0,08	98	0,19	0,99	98	0,40
<b>ODA</b>	Αριστερή	0,05	98	0,20	0,99	98	0,79
<b>FEB</b>	Αριστερή	0,08	98	0,09	0,98	98	0,13
<b>TPB</b>	Αριστερή	0,10	98	0,07	0,98	98	0,13
<b>TBB</b>	Αριστερή	0,07	98	0,20	0,98	98	0,21
<b>TDB</b>	Αριστερή	0,09	98	0,08	0,98	98	0,31
<b>TTL</b>	Αριστερή	0,07	98	0,20	0,99	98	0,68
<b>TTW</b>	Αριστερή	0,06	98	0,20	0,98	98	0,15
<b>TAL</b>	Αριστερή	0,09	98	0,05	0,97	98	0,09
<b>TAW</b>	Αριστερή	0,07	98	0,20	0,98	98	0,08
<b>CAW</b>	Αριστερή	0,08	98	0,16	0,98	98	0,07
<b>CAL</b>	Αριστερή	0,07	98	0,20	0,98	98	0,13

Επικουρικά, δημιουργήθηκαν τα γραφήματα Normal Q-Q Plots (Εικόνες 6.10-6.17), ώστε να ελεγχθεί η κανονικότητα και γραφικά. Τα διαγράμματα Normal Q-Q Plots απεικονίζουν τις παρατηρηθείσες τιμές (observed values) της μεταβλητής σε σχέση με τις αναμενόμενες τιμές, οι οποίες θα προέκυπταν αν η μεταβλητή ακολουθούσε την κανονική κατανομή (expected normal value). Στο συγκεκριμένο γράφημα εάν η μεταβλητή ακολουθεί την κανονική κατανομή, τότε τα σημεία τα οποία αντιστοιχούν στις παρατηρήσεις συγκεντρώνονται πολύ κοντά στην ευθεία γραμμή που δηλώνει την ύπαρξη κανονικότητας.

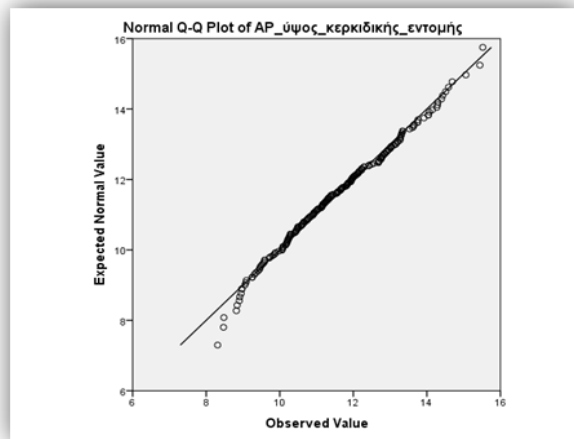
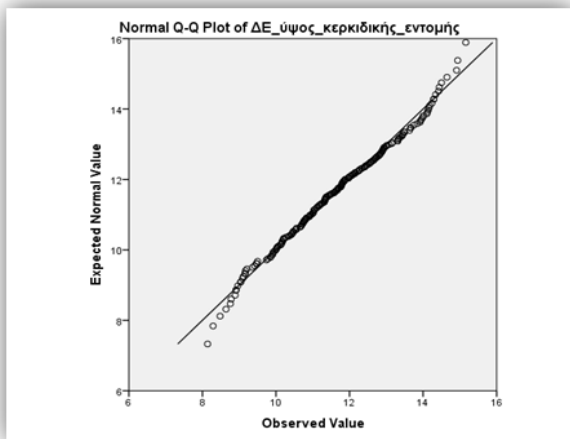
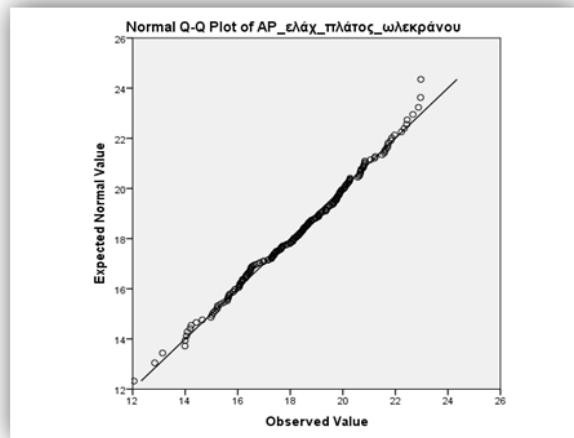
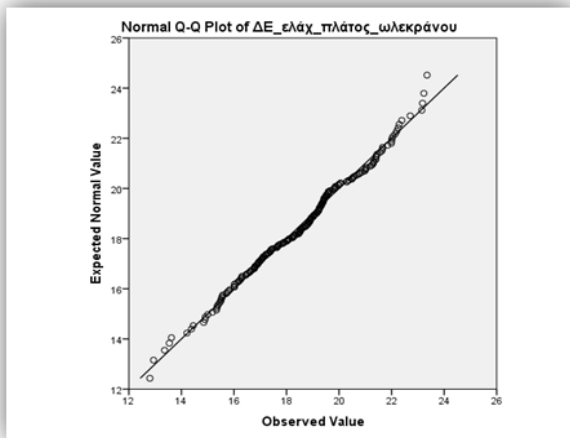
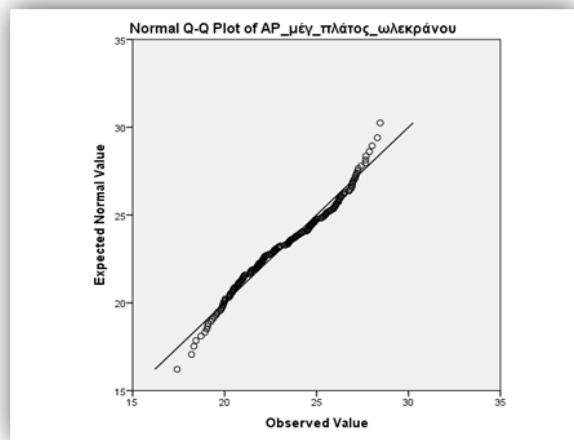
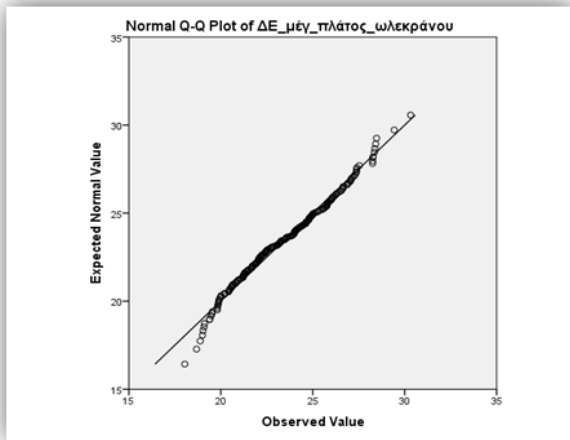


**Εικόνα 6.10** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων GFH, GFB και HHD για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.

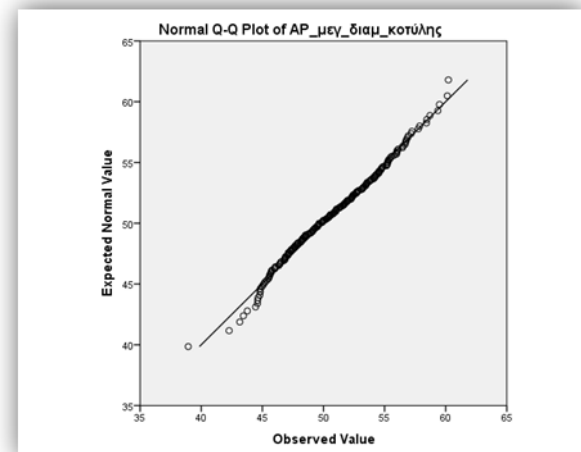
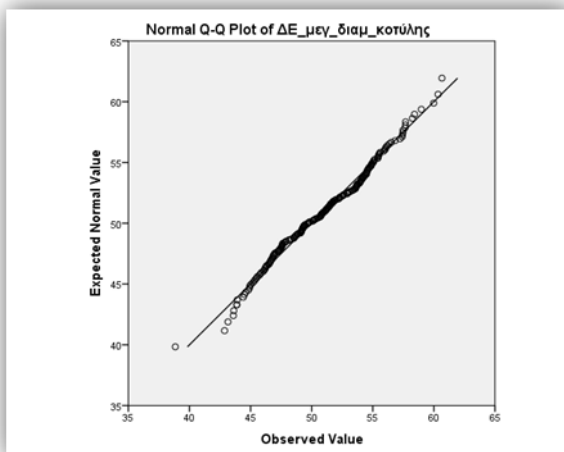
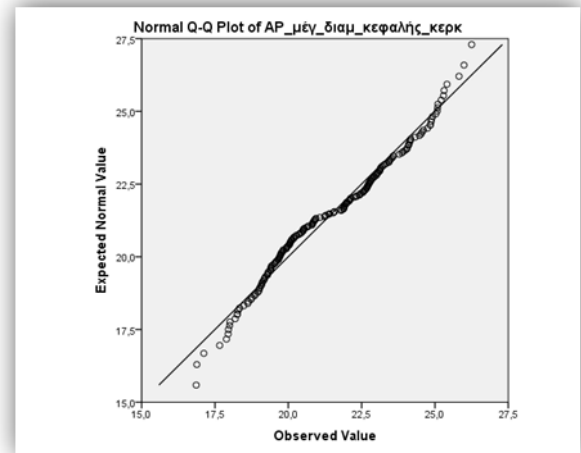
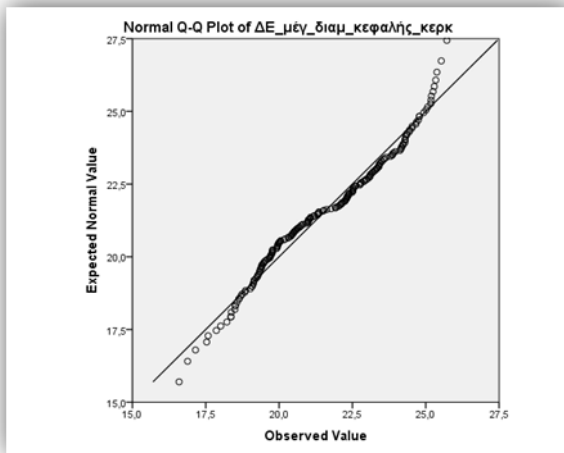
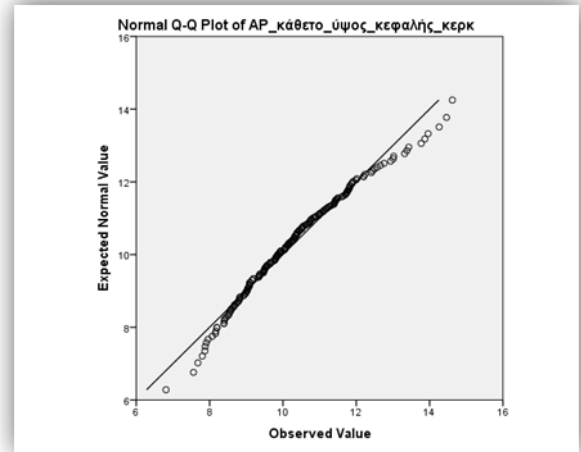
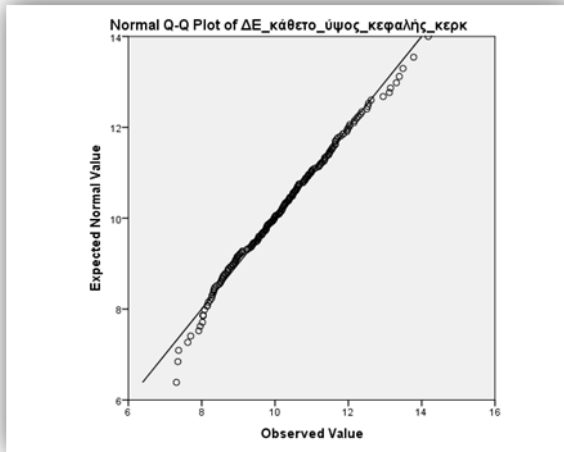


**Εικόνα 6.11** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων HNB, HBB και CTB τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.

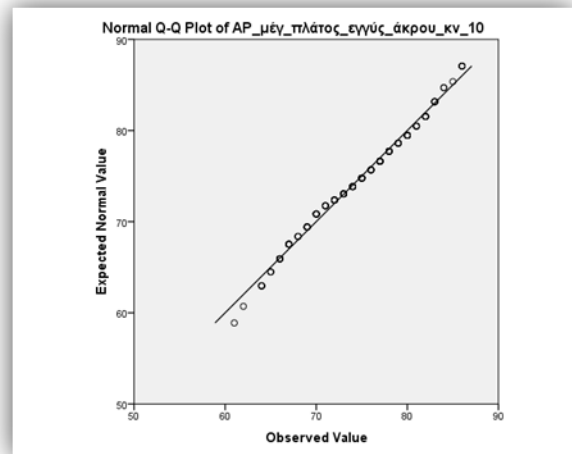
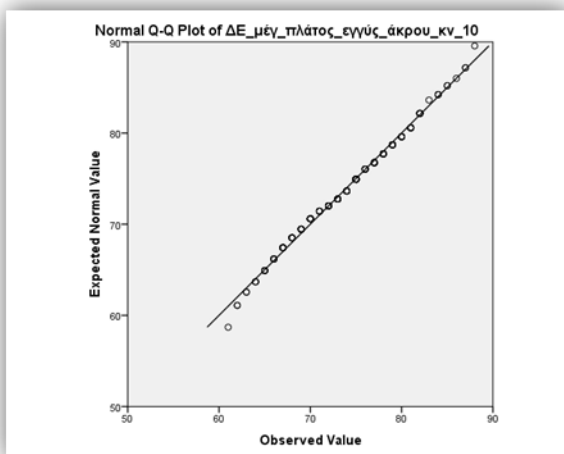
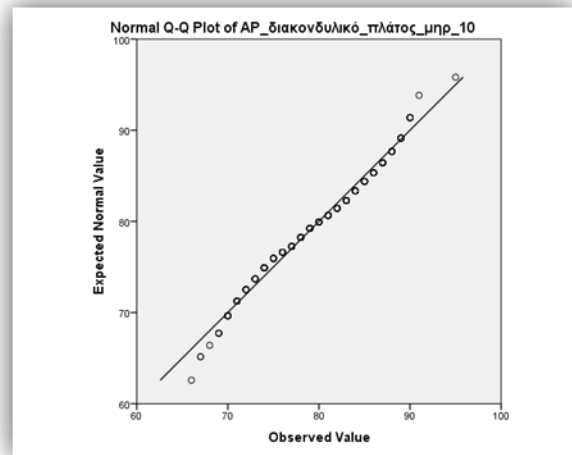
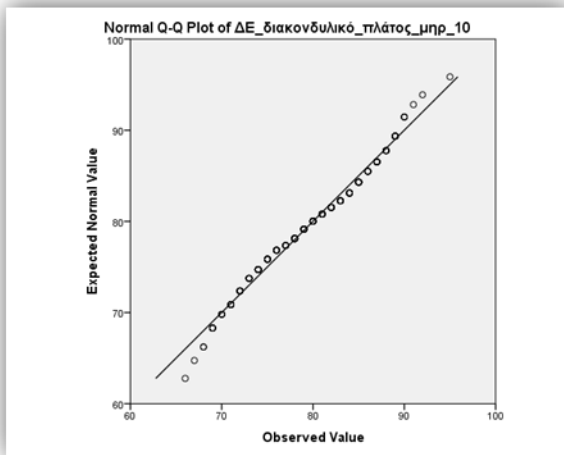
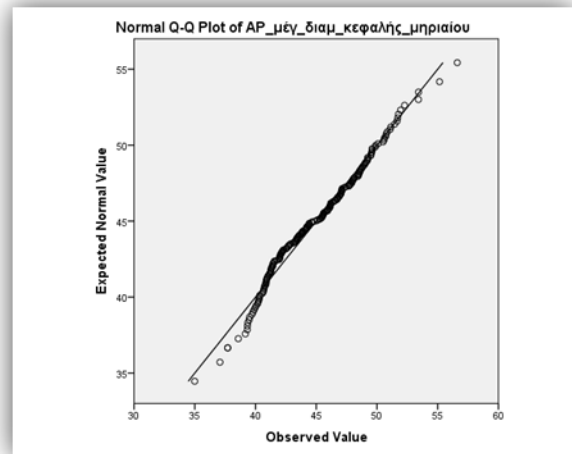
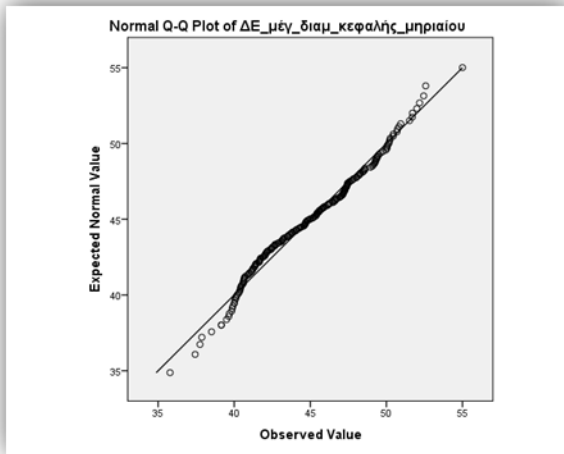




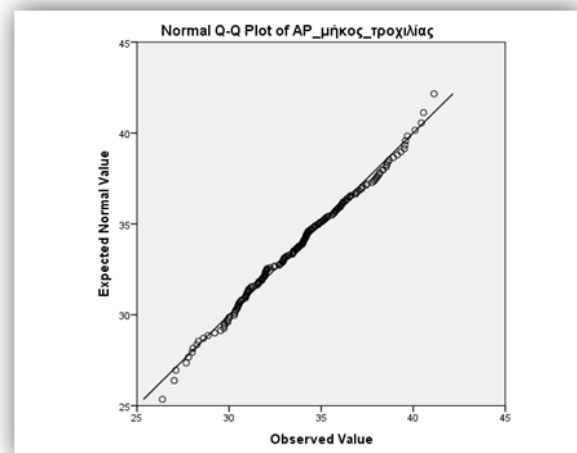
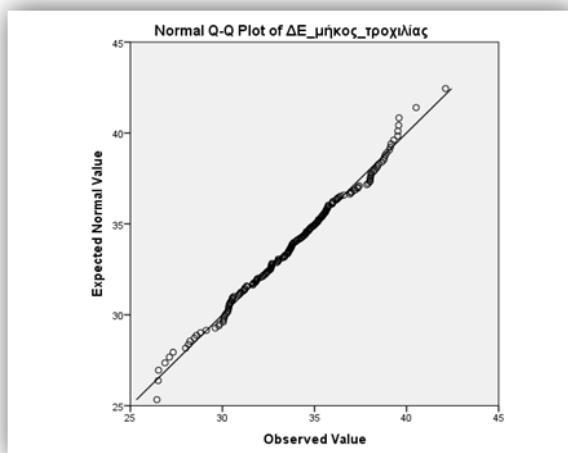
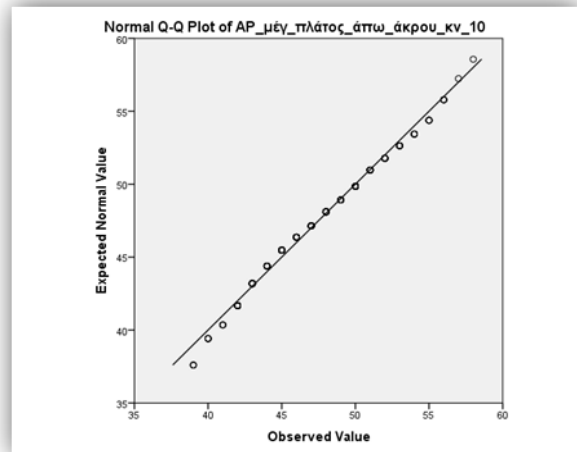
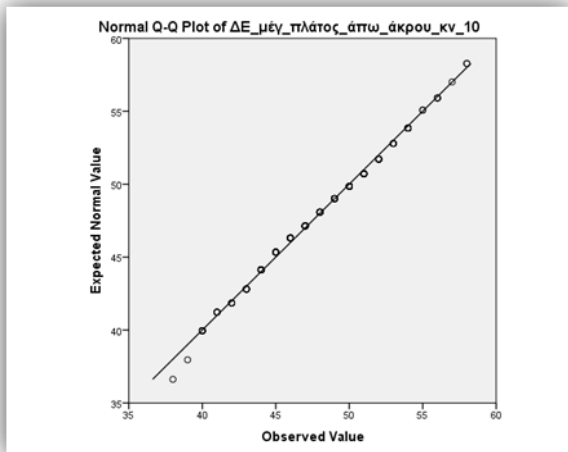
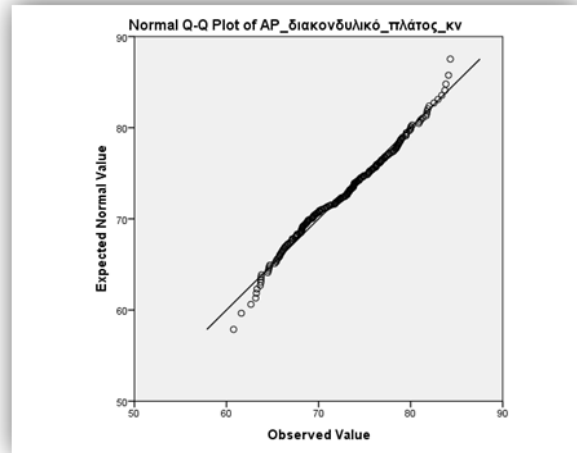
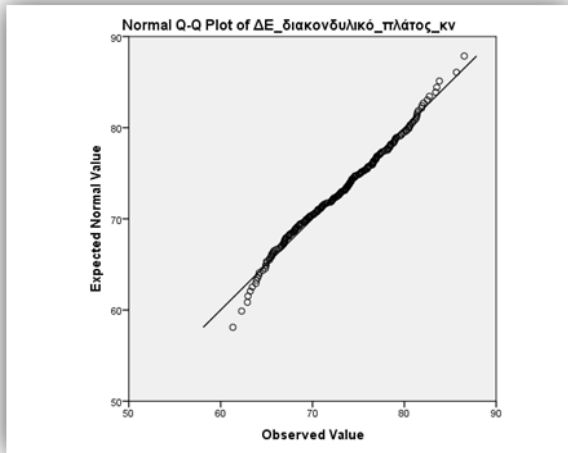
**Εικόνα 6.12** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων OMA, OMI και URH για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.



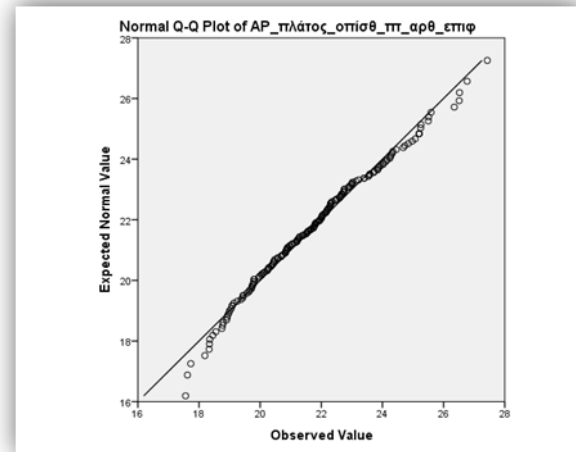
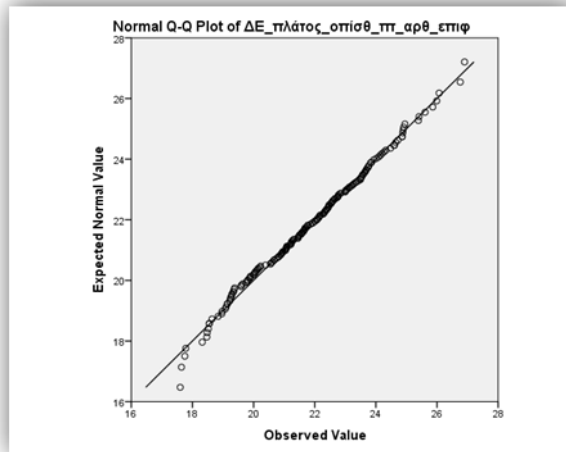
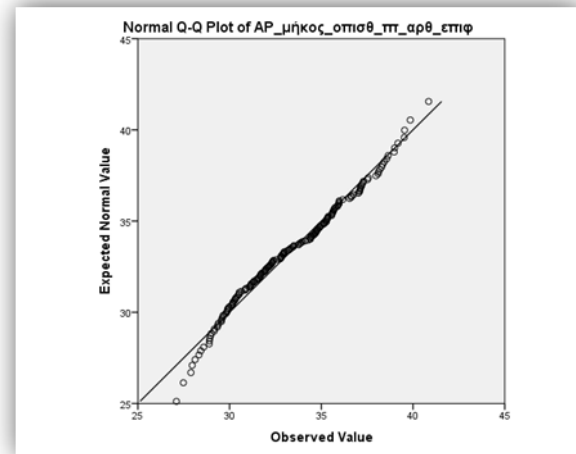
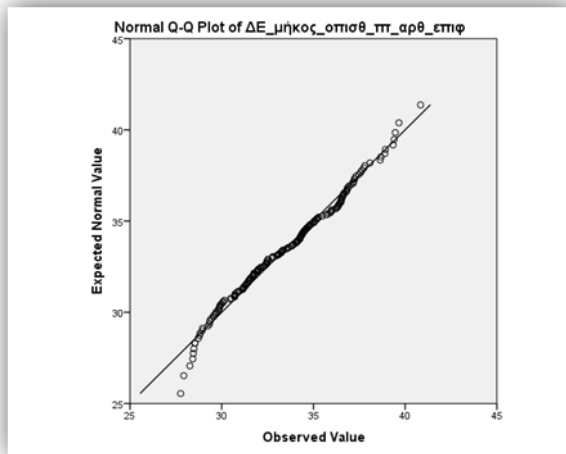
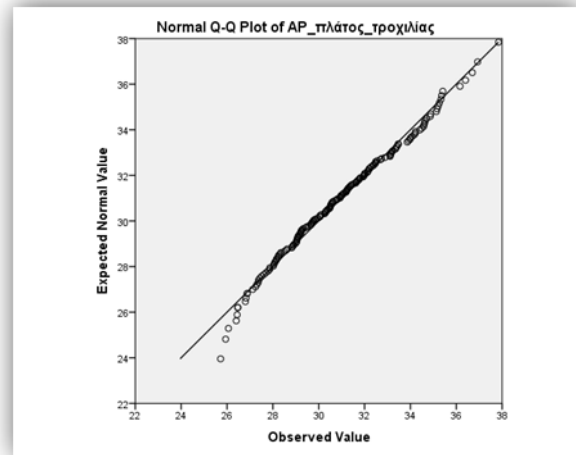
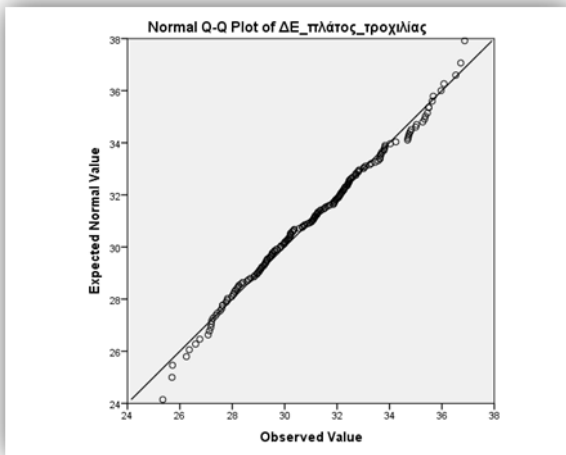
**Εικόνα 6.13** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων RHH, RHD και ODA για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.



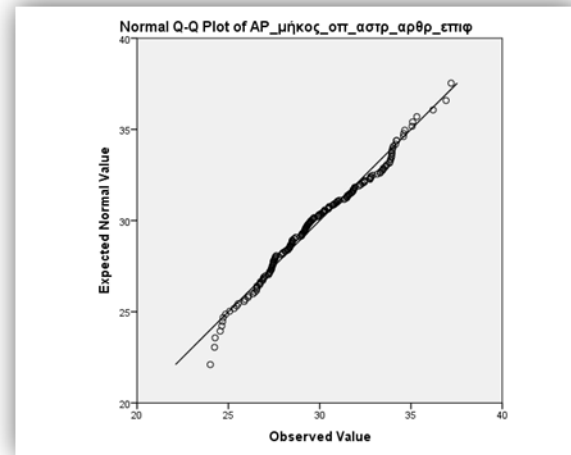
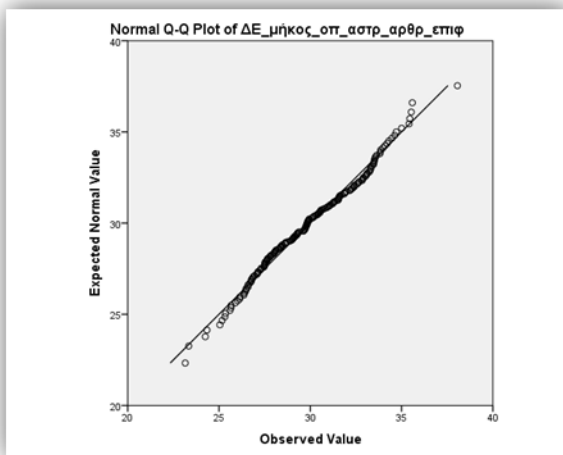
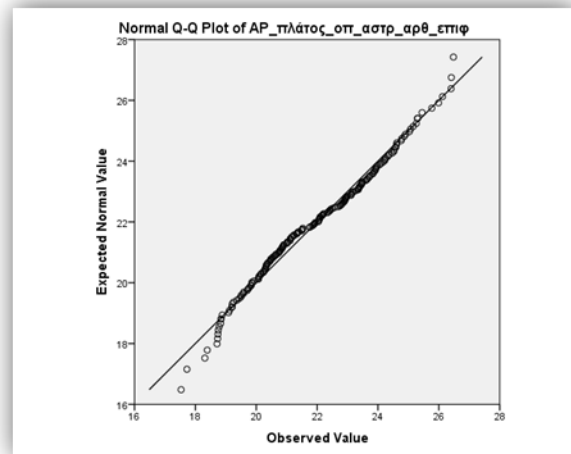
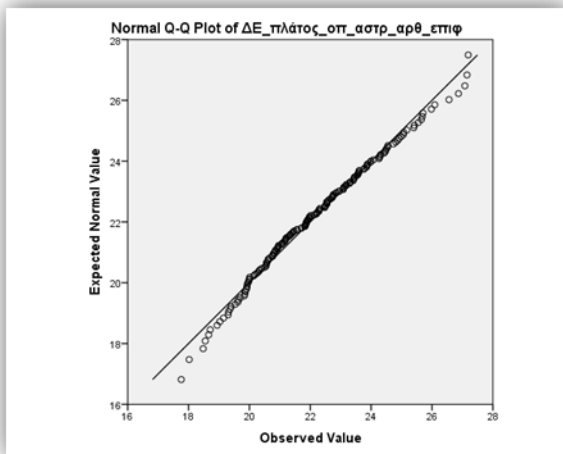
**Εικόνα 6.14** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων FHD, FEB και TPB για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.



**Εικόνα 6.15** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων TBB, TDB και TTL για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.



**Εικόνα 6.16** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων TTW, TAL και TAW για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.



**Εικόνα 6.17** Normal Q-Q Plots των μετρήσεων CAW και CAL για τη δεξιά και την αριστερή ανατομική πλευρά.

## 6.5 Εξισώσεις γραμμικής παλινδρόμησης

Αφού ελέγχθηκε η κανονικότητα και η επαναληψιμότητα των μετρήσεων, δημιουργήθηκαν 22 εξισώσεις με τη βοήθεια των οποίων μπορεί να γίνει η μετρική ταξινόμηση δύο οστών προκειμένου να αποδοθούν στο ίδιο άτομο, υπολογίζοντας κάποια μέτρηση ενός οστού με τη βοήθεια μίας ή περισσότερων μετρήσεων κάποιου άλλου οστού. Συγκεκριμένα, η αριθμητική τιμή κάθε μέτρησης πολλαπλασιάζεται με έναν συντελεστή και στο γινόμενο προστίθεται αλγεβρικά ένας σταθερός όρος. Στις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης που οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι περισσότερες από μία, η κάθε μεταβλητή πολλαπλασιάζεται με το συντελεστή της και ο σταθερός όρος προστίθεται στο αλγεβρικό άθροισμα των γινομένων. Η τιμή που προκύπτει είναι η αναμενόμενη τιμή μίας μέτρησης κάποιου οστού, ανάλογα με την εξίσωση που χρησιμοποιούμε. Οι εν λόγω εξισώσεις παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Στους πίνακες επίσης παρουσιάζονται το τυπικό σφάλμα εκτίμησης της κάθε εξίσωσης (standard error of the estimate-SEE), ο δείκτης γραμμικής συσχέτισης Pearson ή δείκτης  $r$ , ο συντελεστής προσδιορισμού  $r^2$ , καθώς και το ποσοστό επιτυχίας πρόβλεψης της εξαρτημένης μεταβλητής κάθε εξίσωσης, όταν αυτή βρίσκεται μέσα σε ένα εύρος  $\pm 2\text{mm}$  από την υπολογιζόμενη τιμή.

**Πίνακας 6.18** Εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης άνω άκρων.

	<i>Εξίσωση</i>	<i>SEE</i>	<i>R</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>Σφάλμα 0-2mm</i>
<b>1</b>	GFH=0,729*HHD+4,908	1,50	0,89	0,79	83,25%
<b>2</b>	GFB=0,698*HHB-1,635	1,51	0,85	0,73	86,08%
<b>3</b>	OMA=0,583*CTB-0,726	1,36	0,85	0,72	88,44%
<b>4</b>	OMI=0,398*CTB+1,971	1,59	0,69	0,47	81,09%
<b>5</b>	RHD=0,519*CTB-0,044	0,88	0,91	0,83	89,23%
<b>6</b>	RHD=0,694*OMA+5,190	1,22	0,83	0,69	91,28%
<b>7</b>	RHH=0,634*URH+2,830	0,98	0,71	0,50	95,12%

**Πίνακας 6.19** Εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης άνω άκρων.

	<i>Εξίσωση</i>	<i>SEE</i>	<i>R</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>Σφάλμα 0-2mm</i>
<b>1</b>	HHD=0,689*GFH +0,481*GFB+5,728	1,61	0,91	0,83	81,25%
<b>2</b>	HHB=0,479*GFH +0,568*GFB+7,828	1,58	0,89	0,79	81,25%
<b>3</b>	CTB=0,374*OMA +0,141*OMI+1,088*RHD +0,233*RHH-0,095*URH +5,488	1,42	0,93	0,86	87,57%
<b>4</b>	OMA=0,353*RHH +0,836*RHD+1,933	1,41	0,84	0,71	86,02%



**Πίνακας 6.20** Εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης κάτω άκρων.

	<i>Εξίσωση</i>	<i>SEE</i>	<i>R</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>Σφάλμα 0-2mm</i>
<b>1</b>	ODA=4,725+FHD*1,027	1,40	0,94	0,88	84,31%
<b>2</b>	TPB=4,732+0,875*FEB	1,65	0,95	0,91	80,09%
<b>3</b>	FEB=2,782+1,050*TBB	2,06	0,94	0,88	77,15%
<b>4</b>	TTL=6,951+0,563*TDB	2,14	0,74	0,54	79,42%
<b>5</b>	TTW=7,406+TDB*0,494	1,50	0,81	0,65	84,04%
<b>6</b>	CAL=0,883*TAL+0,375	1,06	0,93	0,86	94,86%
<b>7</b>	CAL=0,625*TTL+8,848	2,02	0,69	0,48	71,26%
<b>8</b>	CAW=0,832*TAW+3,936	1,06	0,85	0,70	94,86%
<b>9</b>	CAW=0,565*TTW+4,579	1,34	0,76	0,54	85,63%

**Πίνακας 6.21** Εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης κάτω άκρων.

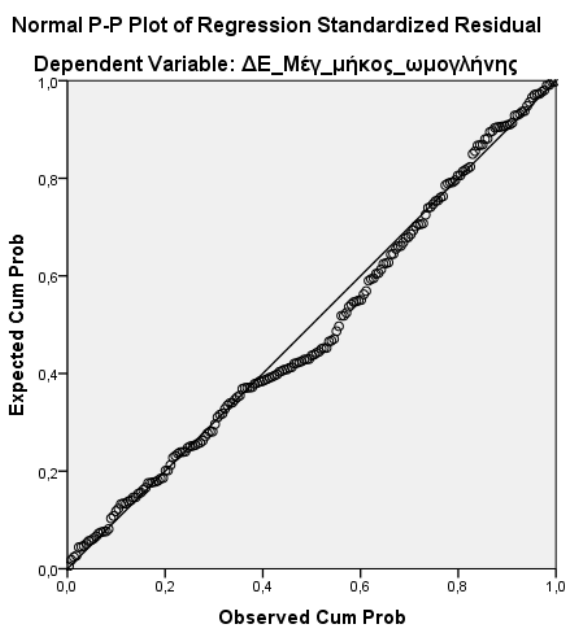
	<i>Εξίσωση</i>	<i>SEE</i>	<i>R</i>	<i>r<sup>2</sup></i>	<i>Σφάλμα 0-2mm</i>
<b>1</b>	CAL=0,021*TTL +0,077*TTW+0,730*TAL +0,141*TAW-0,684	1,03	0,93	0,87	95,40%
<b>2</b>	CAW=0,038*TTL+0,135*TTW -0,050*TAL +0,711*TAW+2,780	1,05	0,85	0,73	95,98%

## 6.6 Γραμμικότητα

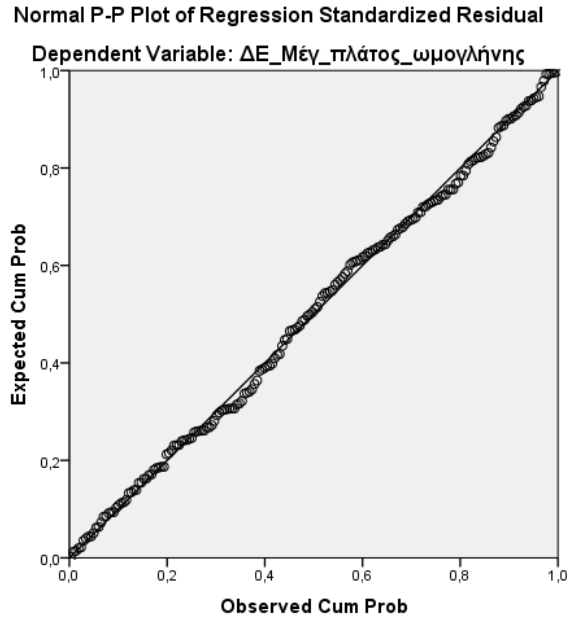
Για να ελεγχθεί η ύπαρξη γραμμικότητας μεταξύ των εξεταζόμενων μεταβλητών  $X$  και  $\Psi$  αξιολογήθηκε ο δείκτης γραμμικής συσχέτισης Pearson ή δείκτης  $r$ . Ο δείκτης  $r$  μετρά το βαθμό γραμμικής συσχέτισης μεταξύ δύο μεταβλητών. Για το σύνολο σχεδόν των μαθηματικών μοντέλων που παρουσιάζονται ισχύει πως  $r > 0,7$  (Πίνακες 6.18-6.21) πράγμα που σημαίνει πως υπάρχει ισχυρή θετική γραμμική συσχέτιση.

## 6.7 Κανονικότητα υπολοίπων

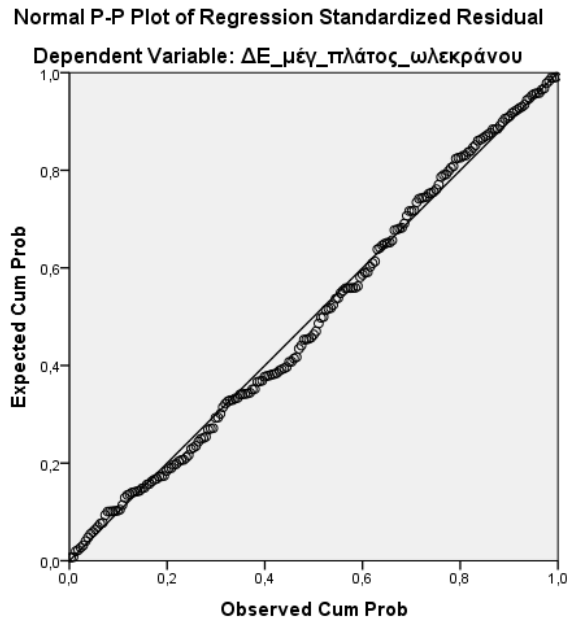
Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής εξετάστηκε αν ακολουθείται η κανονική κατανομή στα υπόλοιπα με τη χρήση γραφημάτων Normal P-P Plots. Τα συγκεκριμένα γραφήματα απεικονίζουν το πόσο απέχει το δείγμα μας (εν προκειμένω τα προσαρμοσμένα υπόλοιπα από την εφαρμογή της κάθε εξίσωσης) από την αναμενόμενη αθροιστική πιθανότητα (πιθανότητα μία τυχαία τιμή να βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος) μίας θεωρητικής κατανομής που έχουμε επιλέξει. Εδώ έχει επιλεγεί η κανονική κατανομή. Παρατηρούμε πως για το σύνολο των εξισώσεων οι τιμές που ανευρέθηκαν είναι πολύ κοντά στις θεωρητικά υπολογιζόμενες.



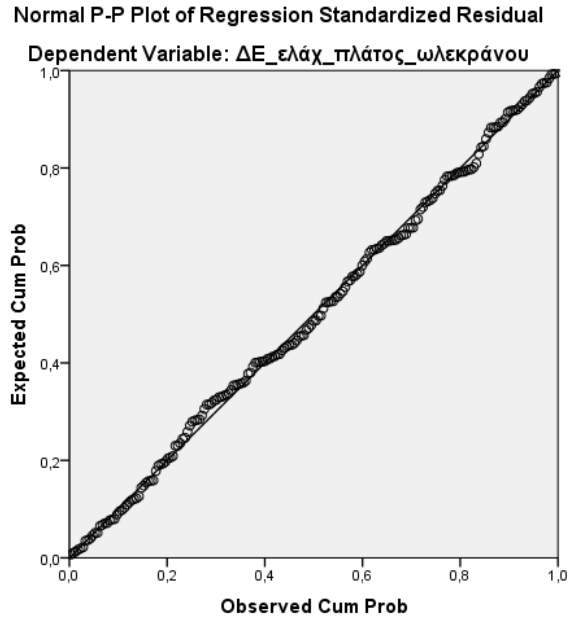
Εικόνα 6.22 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 1.



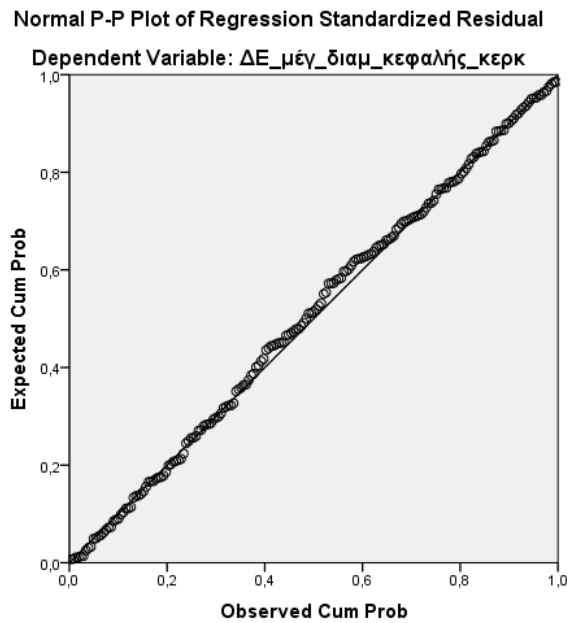
Εικόνα 6.23 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 2.



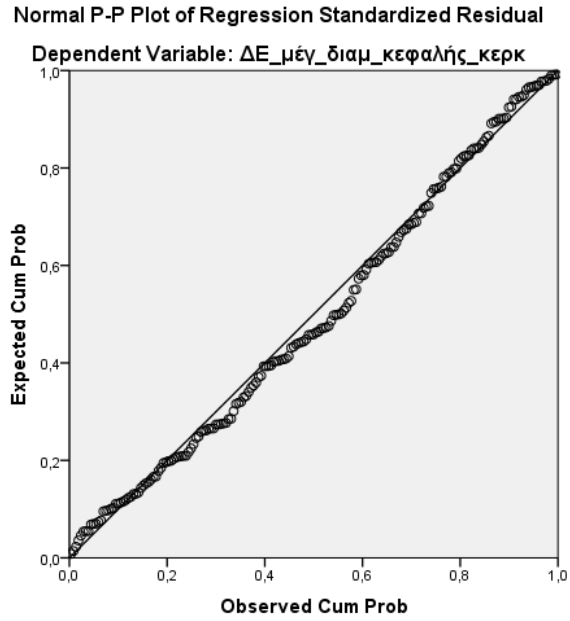
Εικόνα 6.24 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 3.



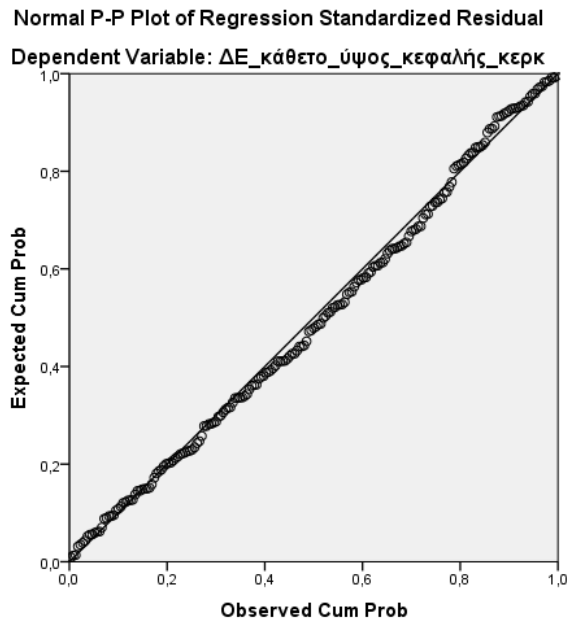
Εικόνα 6.25 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 4.



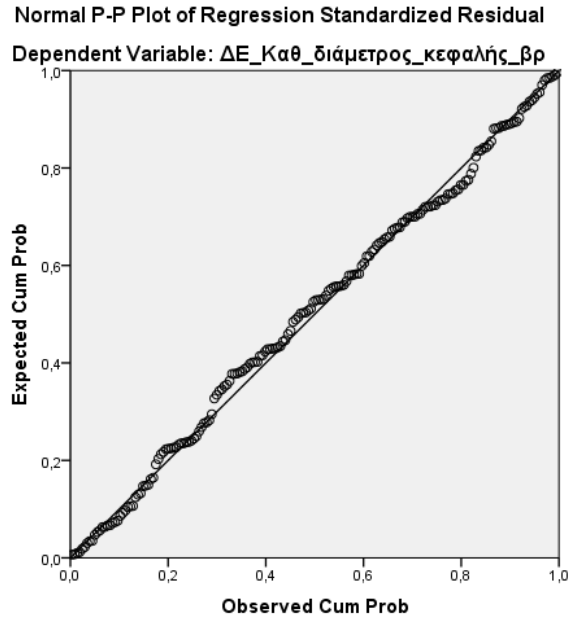
Εικόνα 6.26 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 5.



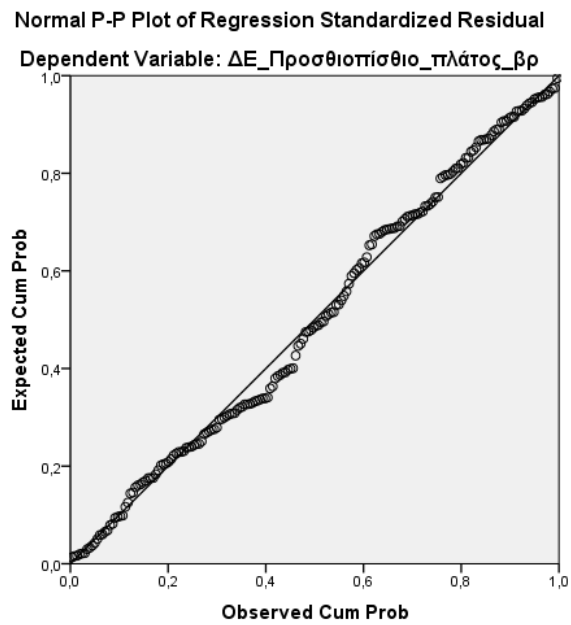
Εικόνα 6.27 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 6.



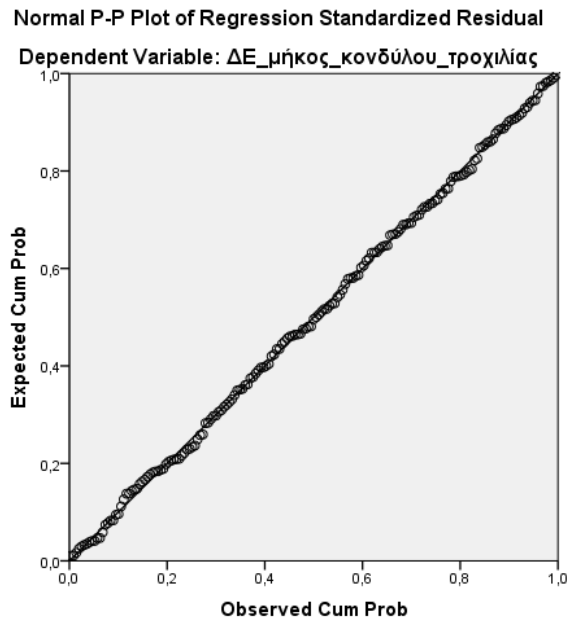
Εικόνα 6.28 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 7.



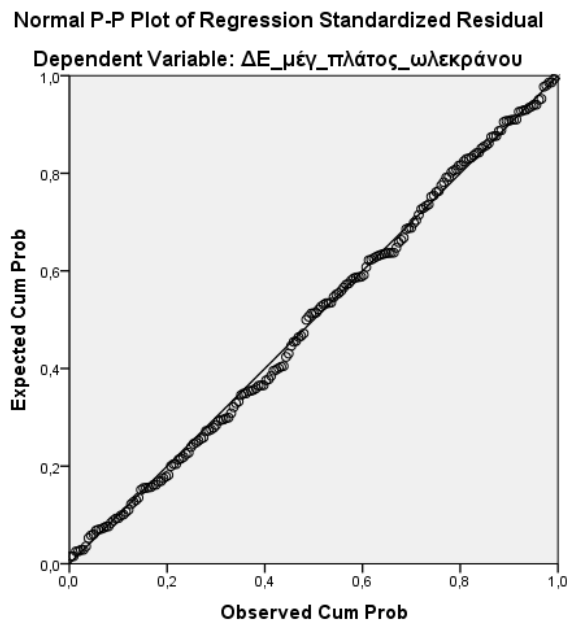
Εικόνα 6.29: Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 1.



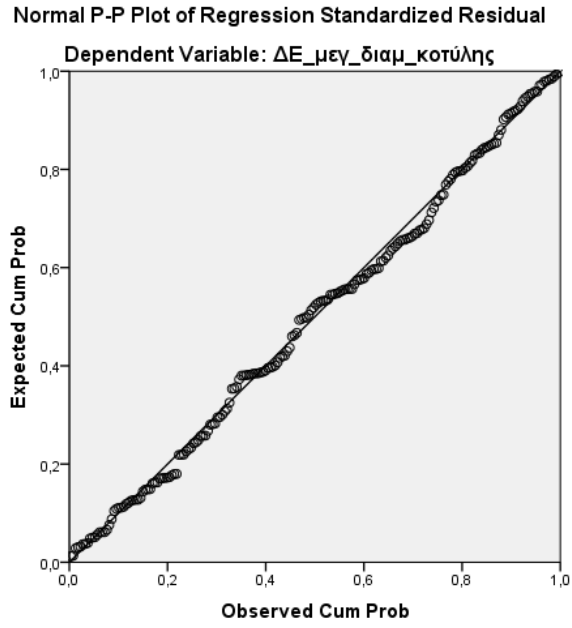
Εικόνα 6.30 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 2.



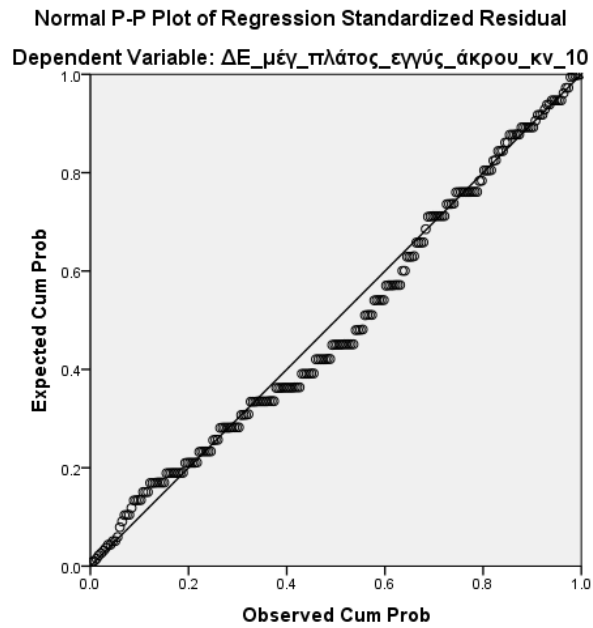
Εικόνα 6.31 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 3.



Εικόνα 6.32 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 4.

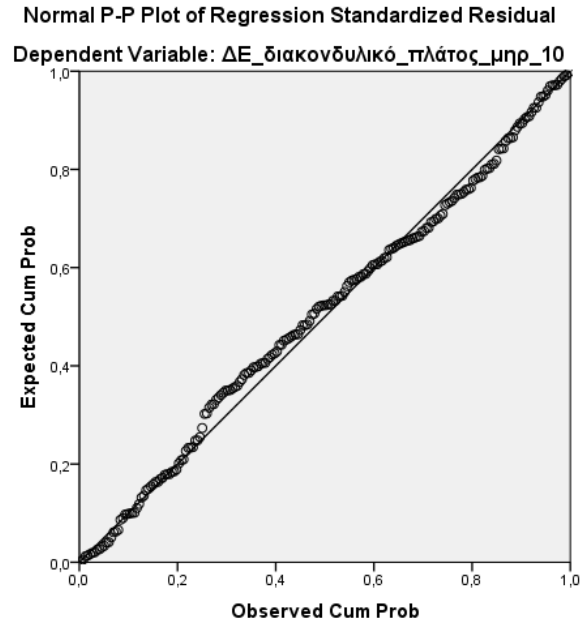


Εικόνα 6.33 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 1.

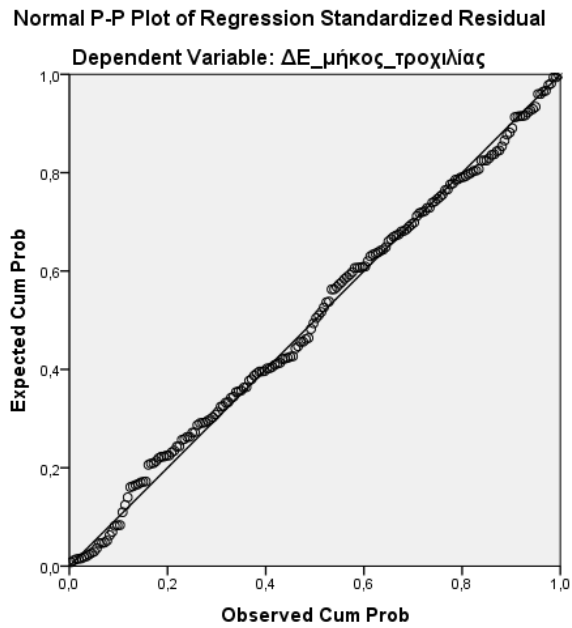


Εικόνα 6.34 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 2.

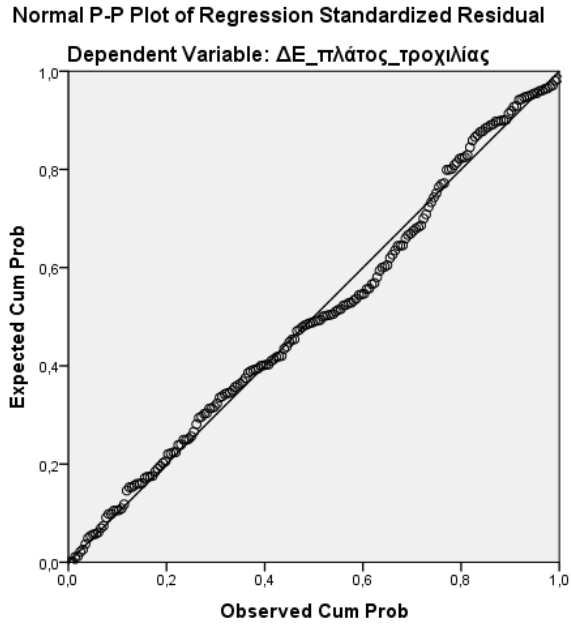




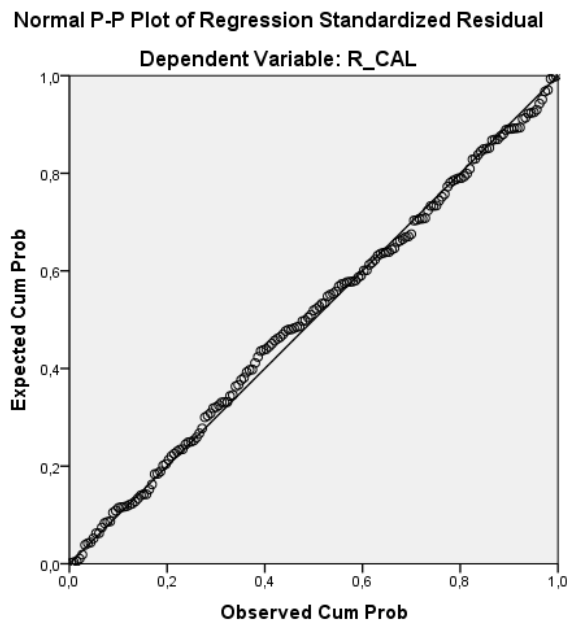
Εικόνα 6.35 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 3.



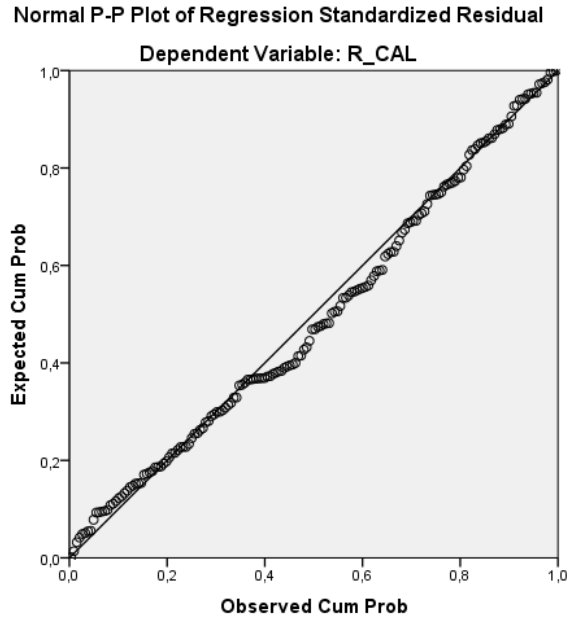
Εικόνα 6.36 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 4.



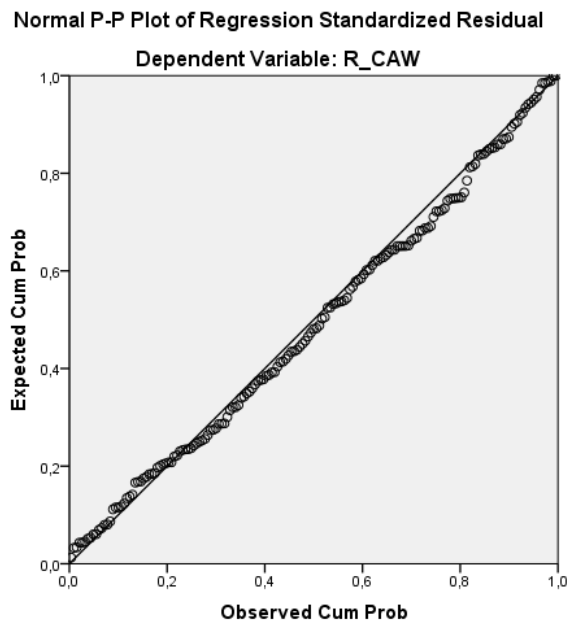
Εικόνα 6.37 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 5.



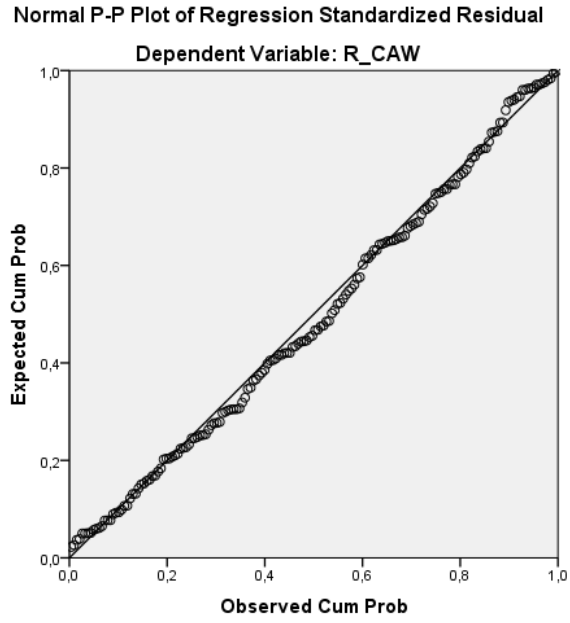
Εικόνα 6.38 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 6.



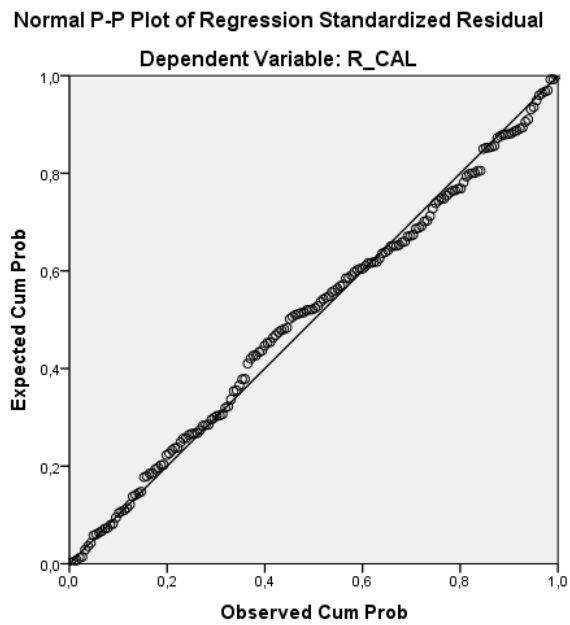
Εικόνα 6.39 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 7.



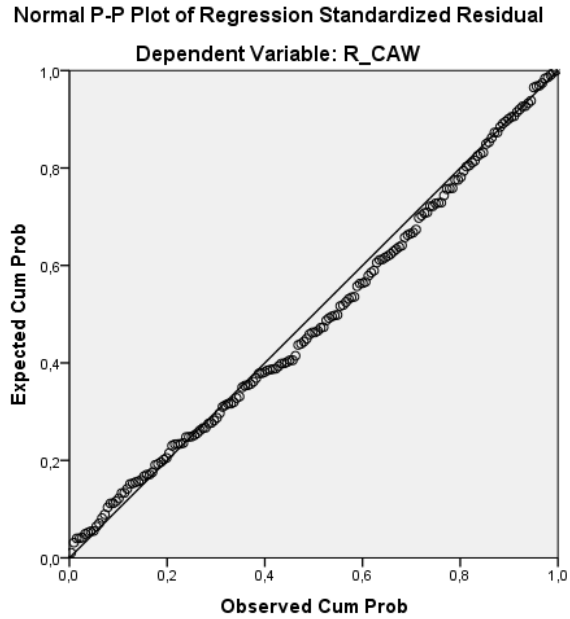
Εικόνα 6.40 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 8.



Εικόνα 6.41 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 9.



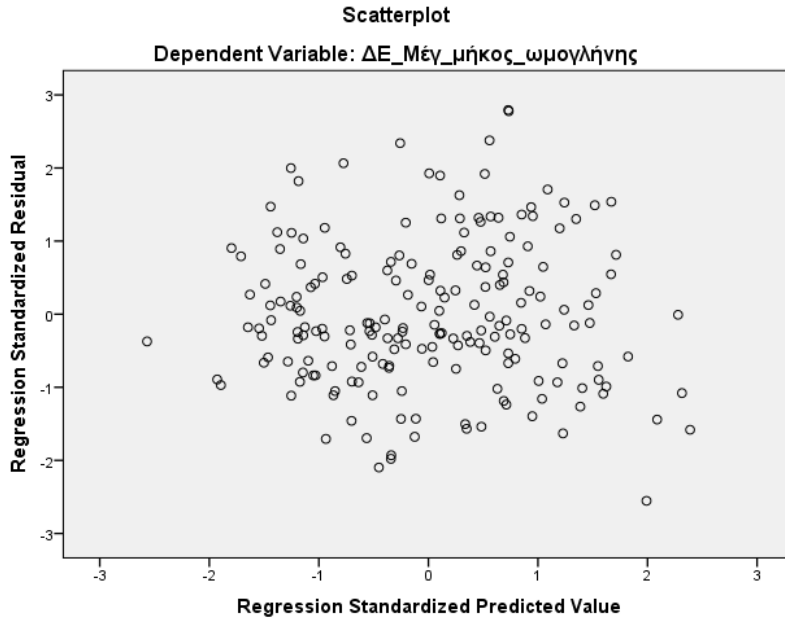
Εικόνα 6.42 Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 1.



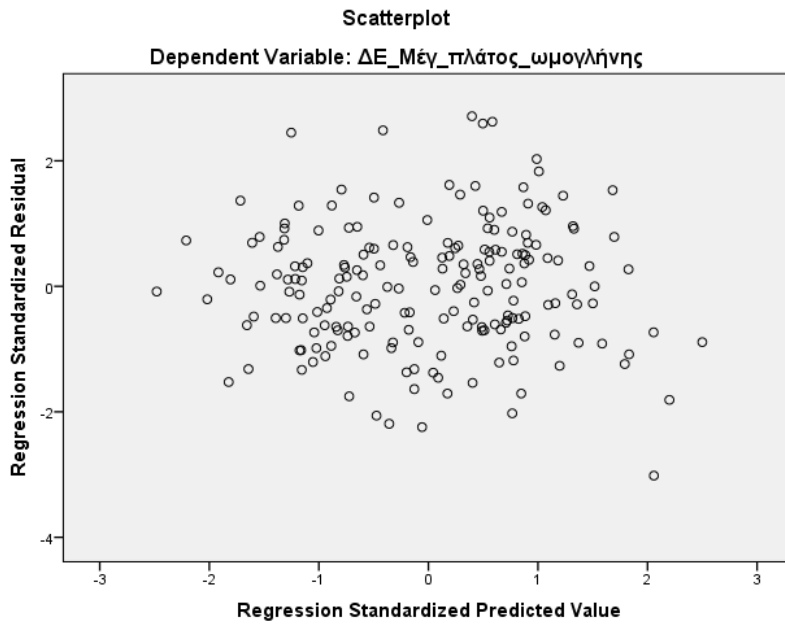
**Εικόνα 6.43** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 2.

### 6.8 Ομοσκεδαστικότητα - Σταθερότητα διασποράς

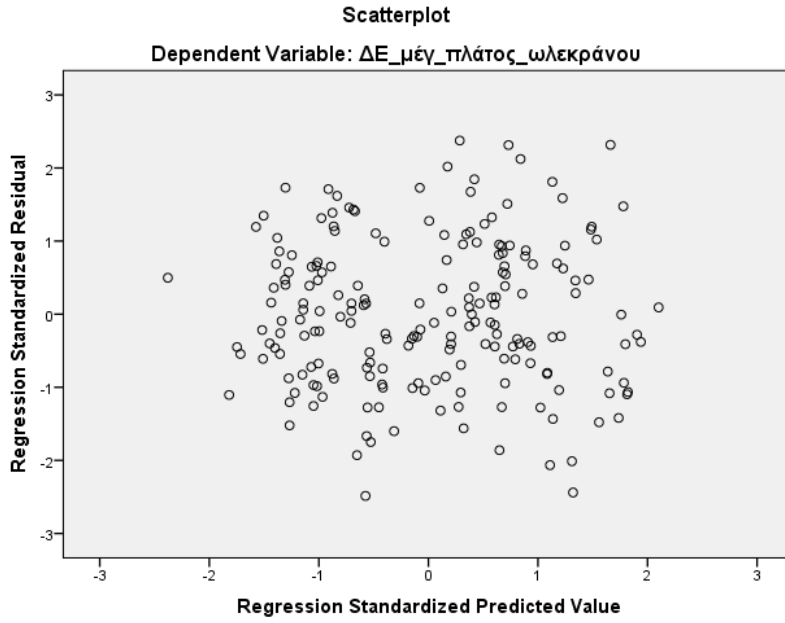
Για να υπάρχει ομοσκεδαστικότητα πρέπει η διακύμανση του διαταρακτικού όρου  $\epsilon$  να παραμένει σταθερή, όποιες και εάν είναι οι τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών. Ο έλεγχος έγινε με τη δημιουργία γραφικής παράστασης των τυποποιημένων υπολοίπων (ZRESID) συναρτήσει των τυποποιημένων προβλεπόμενων από το στατιστικό μοντέλο τιμών της εξαρτημένης μεταβλητής (ZPRED). Το σύνολο των γραφικών παραστάσεων των υπολοίπων που παρουσιάζονται εμφανίζουν ομοσκεδαστικότητα, εμφανίζοντας τυχαία τοποθέτηση γύρω από τη γραμμή που αντιστοιχεί σε υπόλοιπο "0". Πρέπει να σημειωθεί πως οι μετρήσεις που ελήφθησαν για τη δημιουργία των εξισώσεων 2-5 απλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων έγιναν με οστεομετρικό πίνακα (ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου), γι' αυτό και τα διαγράμματα διασποράς εμφανίζουν αυτή την εικόνα.



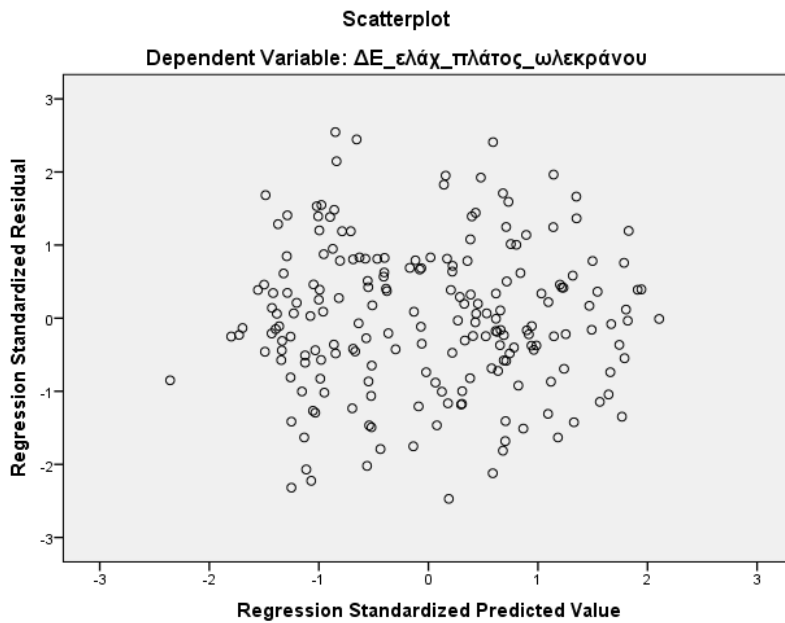
**Εικόνα 6.44** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 1.



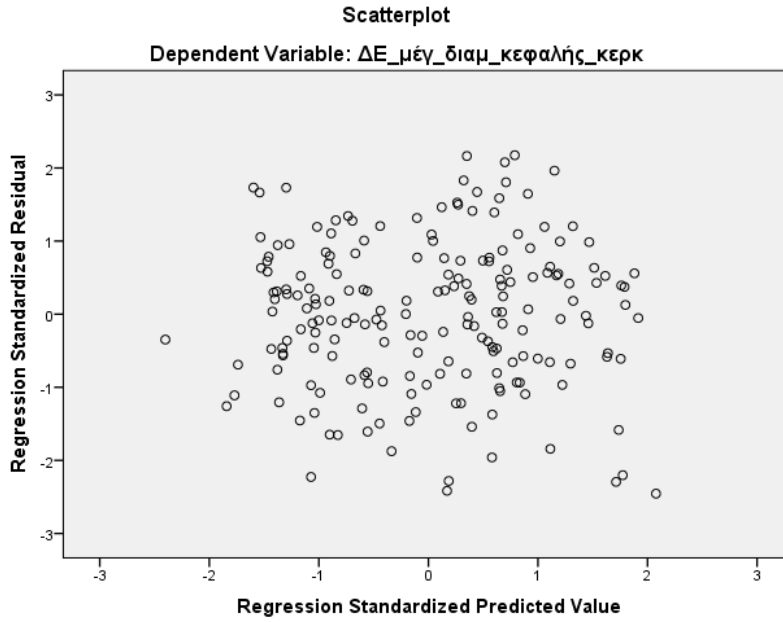
**Εικόνα 6.45** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 2.



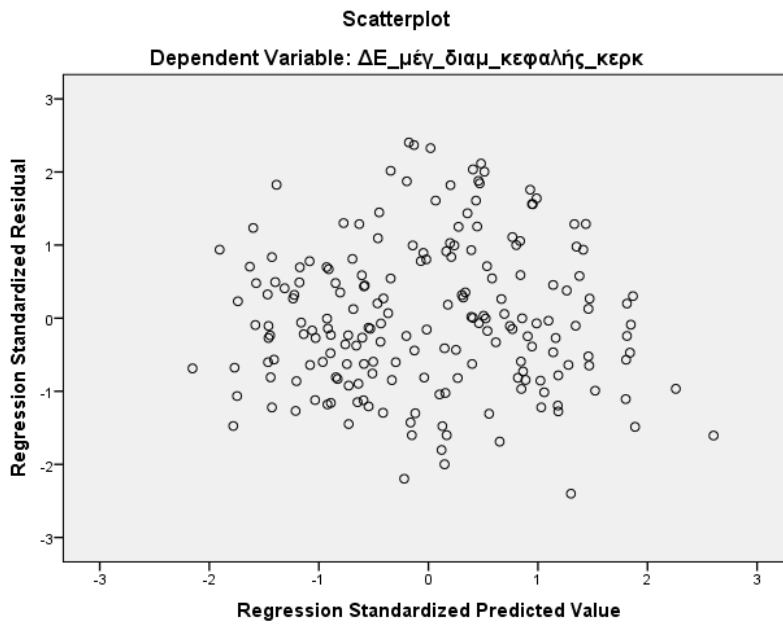
**Εικόνα 6.46** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 3.



**Εικόνα 6.47** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 4.

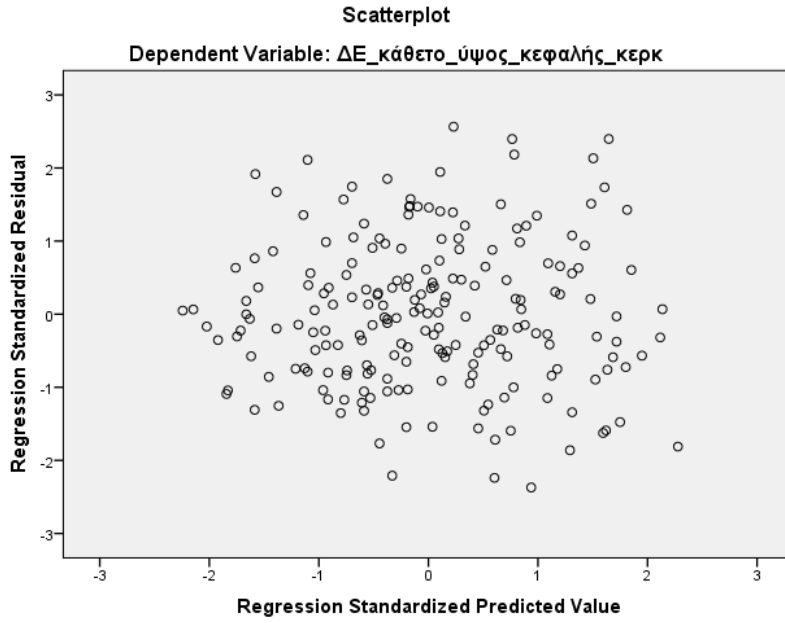


**Εικόνα 6.48** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 5.

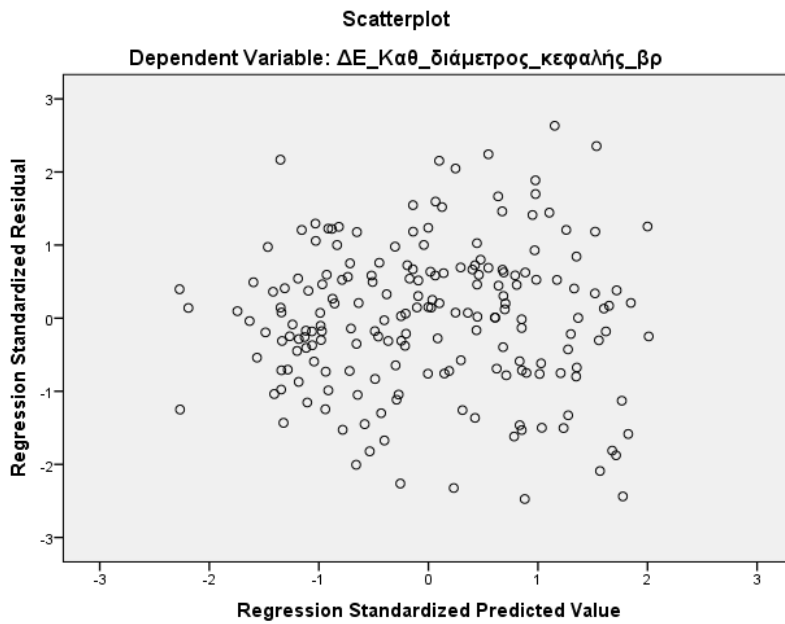


**Εικόνα 6.49** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 6.

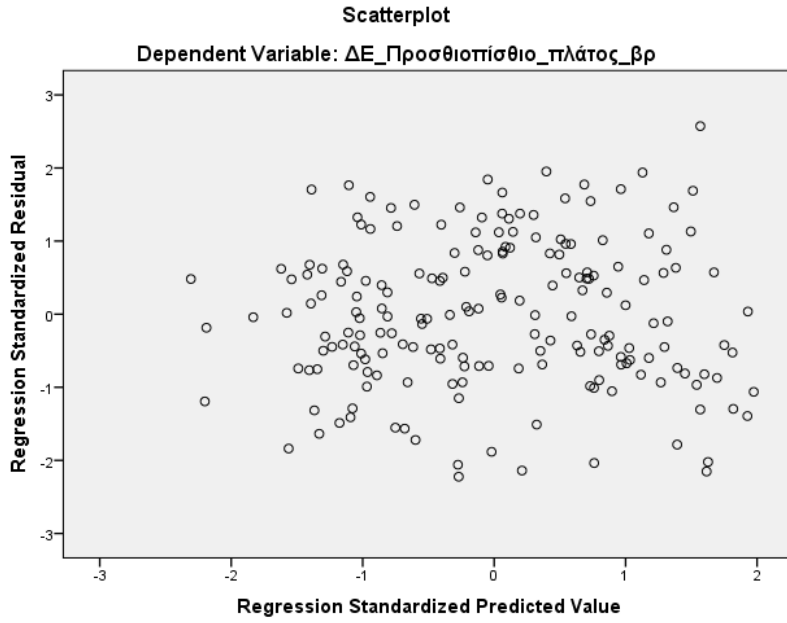




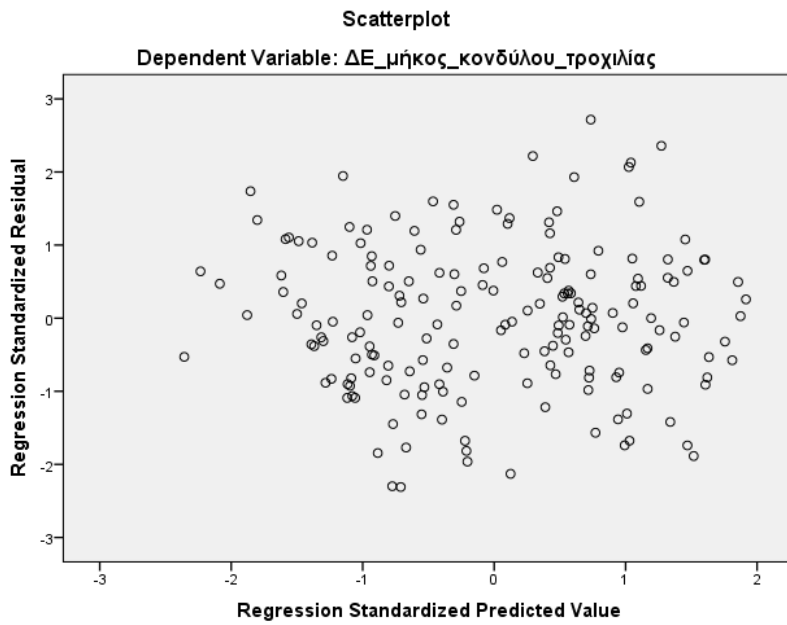
**Εικόνα 6.50** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 7.



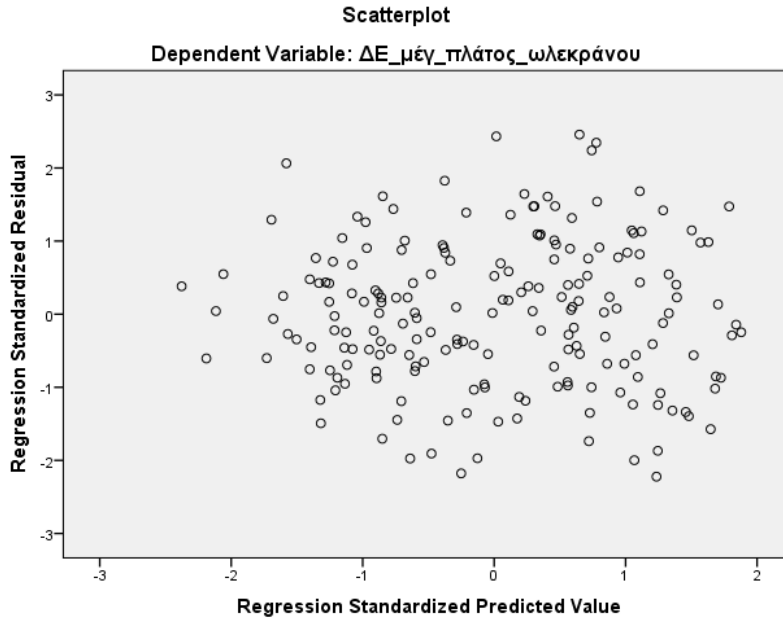
**Εικόνα 6.51** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 1.



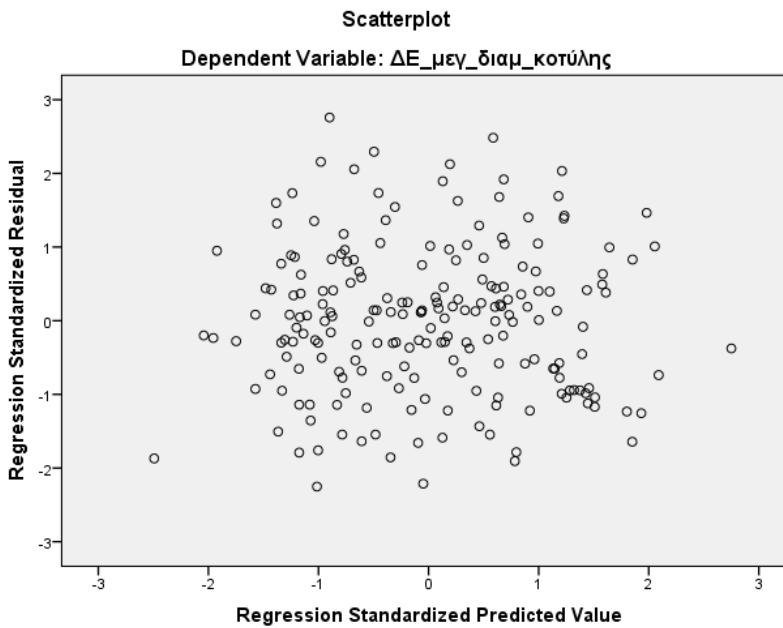
**Εικόνα 6.52** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 2.



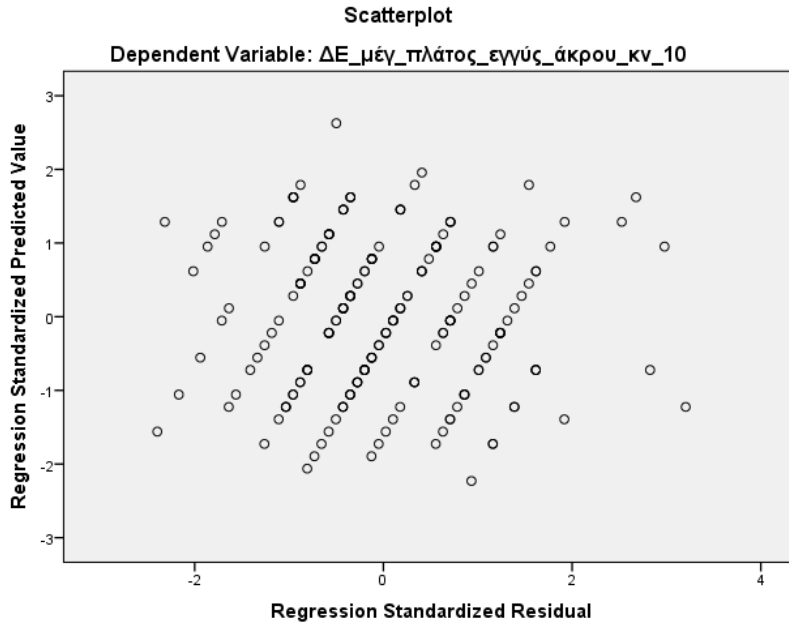
**Εικόνα 6.53** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 3.



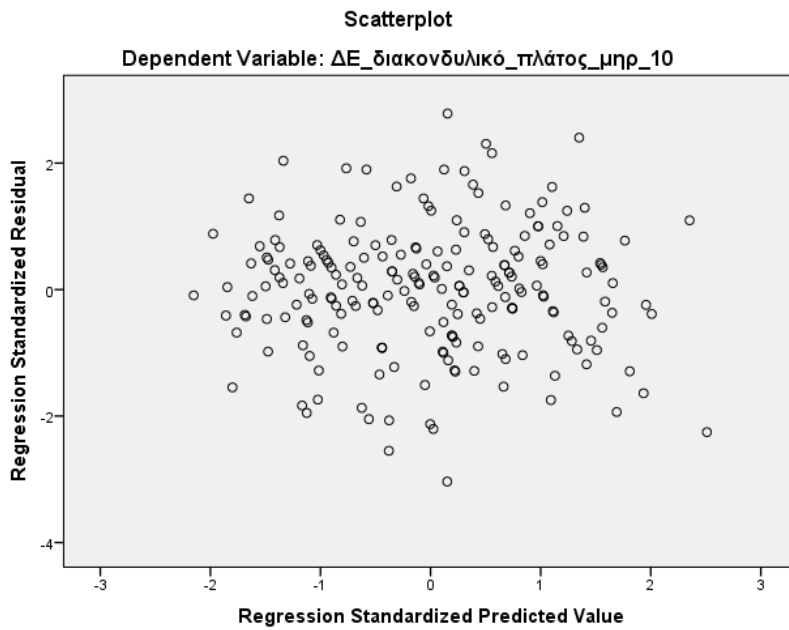
**Εικόνα 6.54** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, άνω άκρα, εξίσωση 4.



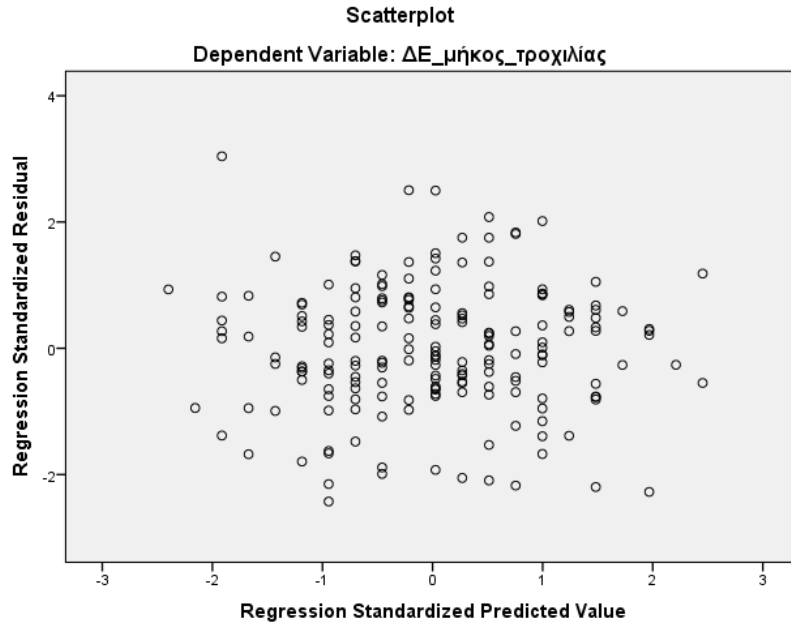
**Εικόνα 6.55** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 1.



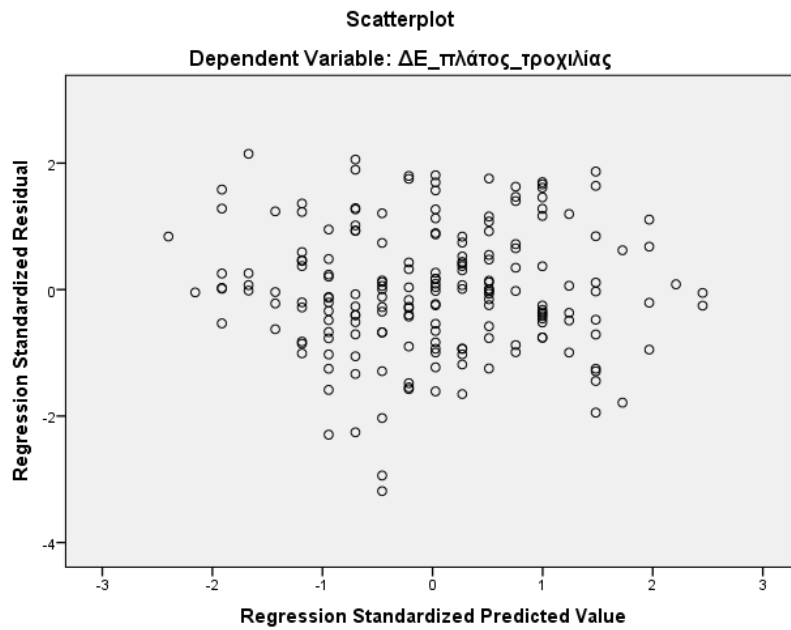
**Εικόνα 6.56** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 2.



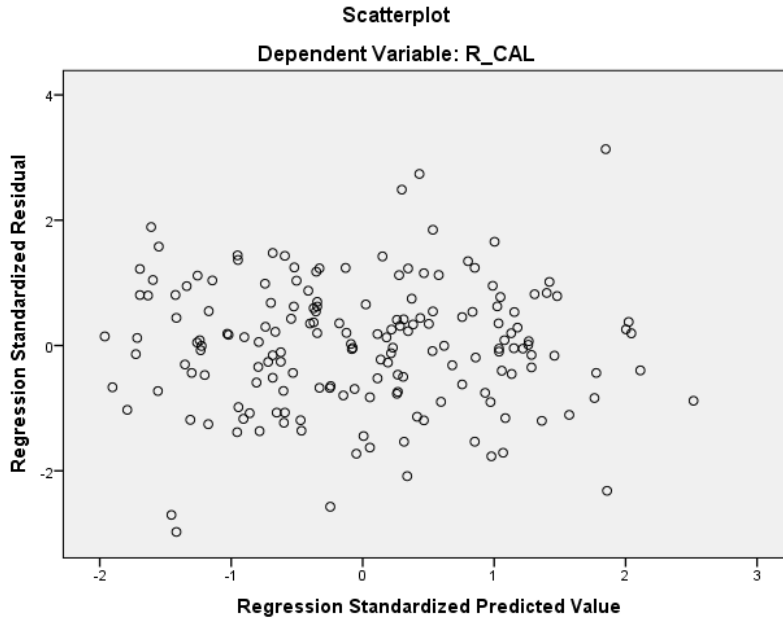
**Εικόνα 6.57** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 3.



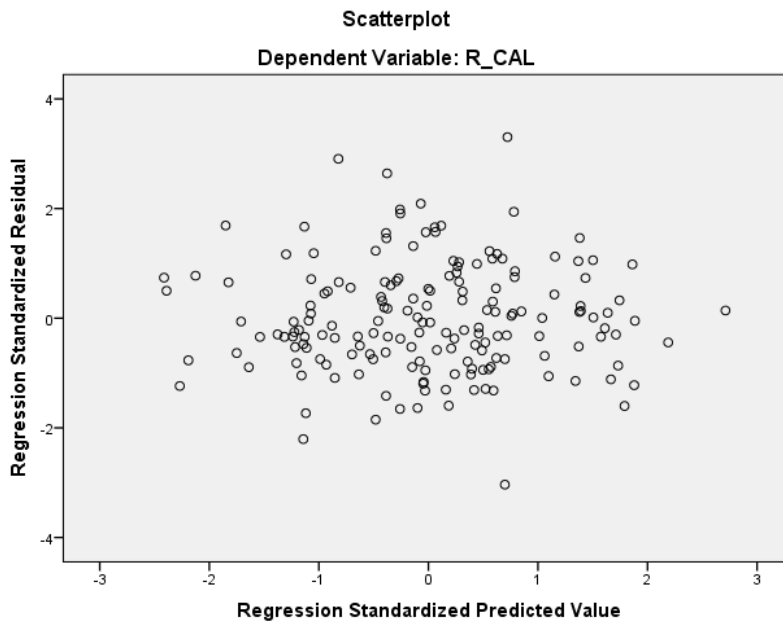
Εικόνα 6.58 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 4.



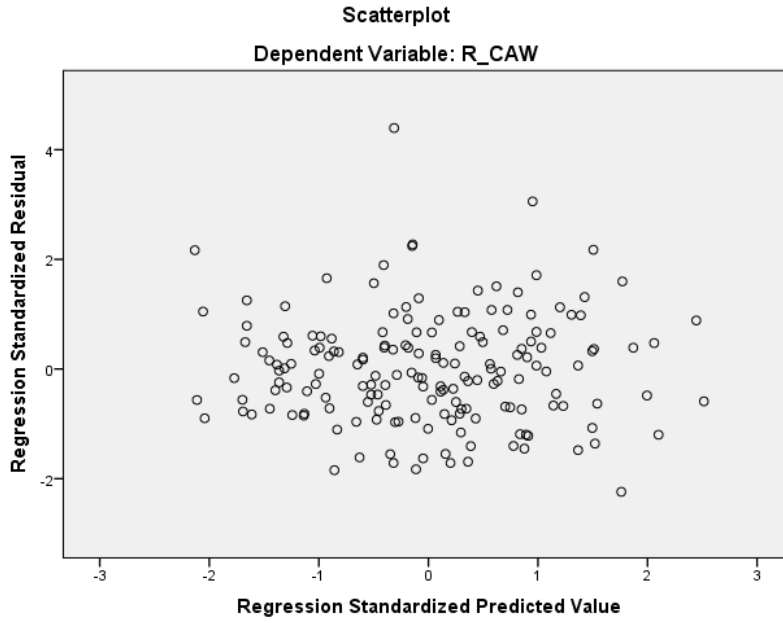
Εικόνα 6.59 Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 5.



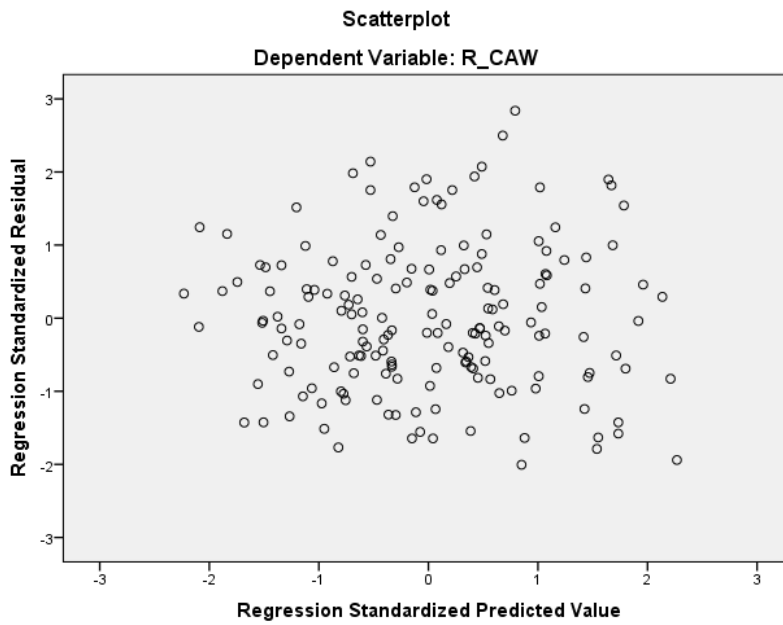
**Εικόνα 6.60** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 6.



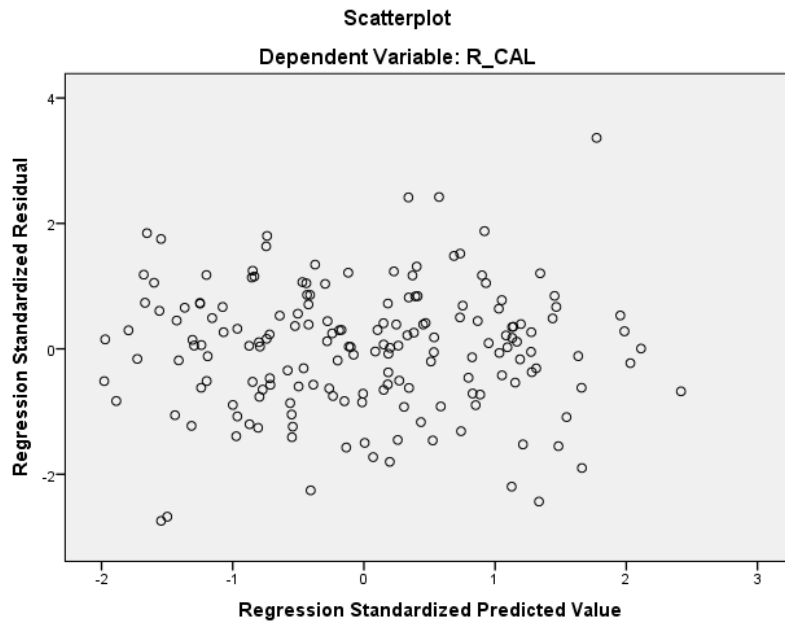
**Εικόνα 6.61** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 7.



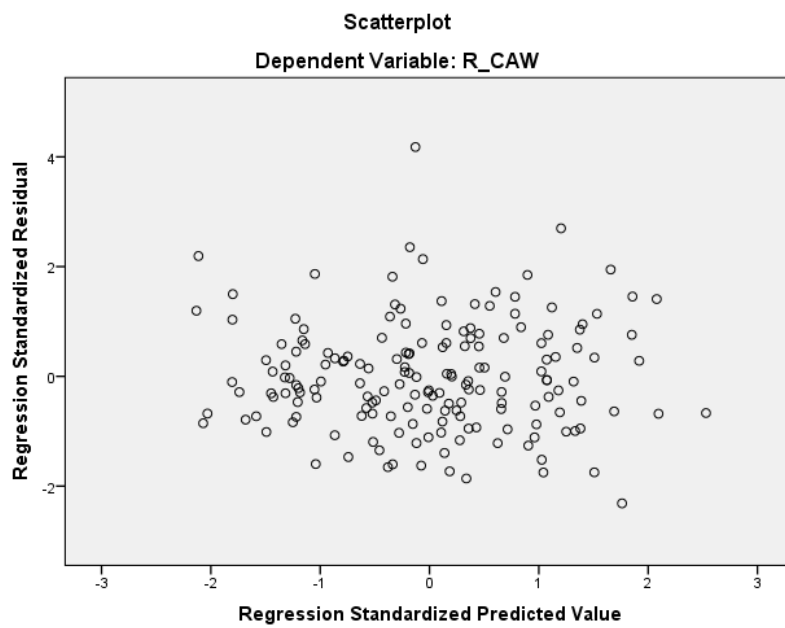
**Εικόνα 6.62** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 8.



**Εικόνα 6.63** Απλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 9.



**Εικόνα 6.64** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 1.



**Εικόνα 6.65** Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση, κάτω άκρα, εξίσωση 2.



## 6.9 Ανεξαρτησία

Ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος έλεγχος για την διαπίστωση του κατά πόσο τα υπόλοιπα σε ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης είναι αυτοσυσχετιζόμενα είναι ο έλεγχος Durbin-Watson. Η αριθμητική τιμή που προκύπτει από την εφαρμογή του εν λόγω ελέγχου στο κάθε μαθηματικό μοντέλο κυμαίνεται από 0 έως 4. Οι τιμές κοντά στο 2 υποδεικνύουν ανεξαρτησία (μη αυτοσυσχέτιση), οι τιμές κοντά στο 0 υποδεικνύουν θετική αυτοσυσχέτιση, ενώ οι τιμές κοντά στο 4 αρνητική αυτοσυσχέτιση (Durbin και Watson, 1950). Οι τιμές ανά εξίσωση υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Παρατηρούμε πως για το σύνολο των μοντέλων που παρουσιάζονται ισχύει πως τα υπόλοιπα είναι ανεξάρτητα.

**Πίνακας 6.66** Τιμές ελέγχου Durbin-Watson για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

	<i>Εξίσωση</i>	<i>Durbin-Watson</i>
1	$GFH=0,729*HHD+4,908$	1,86
2	$GFB=0,698*HHB-1,635$	1,88
3	$OMA=0,583*CTB-0,726$	1,88
4	$OMI=0,398*CTB+1,971$	1,94
5	$RHD=0,519*CTB-0,044$	1,67
6	$RHD=0,694*OMA+5,190$	2,06
7	$RHH=0,634*URH+2,830$	1,79

**Πίνακας 6.67** Τιμές ελέγχου Durbin-Watson για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

	<i>Εξίσωση</i>	<i>Durbin-Watson</i>
<b>1</b>	HHD=0,689*GFH +0,481*GFB+5,728	1,83
<b>2</b>	HHB=0,479*GFH +0,568*GFB+7,828	1,93
<b>3</b>	CTB=0,374*OMA +0,141*OMI+1,088*RHD +0,233*RHH-0,095*URH +5,488	1,70
<b>4</b>	OMA=0,353*RHH +0,836*RHD+1,933	1,93

**Πίνακας 6.68** Τιμές ελέγχου Durbin-Watson για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

	<b>Εξίσωση</b>	<b>Durbin-Watson</b>
<b>1</b>	$ODA=4,725+FHD*1,027$	1,43
<b>2</b>	$TPB=4,732+0,875*FEB$	1,88
<b>3</b>	$FEB=2,782+1,050*TBB$	1,97
<b>4</b>	$TTL=6,951+0,563*TDB$	1,90
<b>5</b>	$TTW=7,406+TDB*0,494$	2,10
<b>6</b>	$CAL=0,883*TAL+0,375$	1,89
<b>7</b>	$CAL=0,625*TTL+8,848$	2,10
<b>8</b>	$CAW=0,832*TAW+3,936$	1,99
<b>9</b>	$CAW=0,565*TTW+4,579$	1,97

**Πίνακας 6.69** Τιμές ελέγχου Durbin-Watson για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

	<b>Εξίσωση</b>	<b>Durbin-Watson</b>
<b>1</b>	$CAL=0,021*TTL$ $+0,077*TTW+0,730*TAL$ $+0,141*TAW-0,684$	1,88
<b>2</b>	$CAW=0,038*TTL$ $+0,135*TTW-0,050*TAL$ $+0,711*TAW+2,780$	1,99

### 6.10 Πολυσυγγραμμικότητα

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας, στην παρούσα διατριβή η ύπαρξη πολυσυγγραμμικότητας ελέγχθηκε μέσω υπολογισμού των παραγόντων VIFs (Variance Inflation Factors), θέτοντας ως όριο απόρριψης το 5 (Sheather, 2009). Η υπόθεση αυτή ελέγχθηκε μόνο για τις εξισώσεις πολλαπλής παλινδρόμησης. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι τιμές VIF όλων των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν ανά εξίσωση πολλαπλής παλινδρόμησης. Παρατηρούμε πως για το σύνολο των μεταβλητών που παρουσιάζονται ισχύει πως δεν διαπιστώνεται πολυσυγγραμμικότητα.

**Πίνακας 6.70** Παράγοντες VIF των εξαρτημένων μεταβλητών που συμμετέχουν στις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

Εξίσωση	Εξαρτημένη μεταβλητή	VIF
1	GFH	4,103
1	GFB	4,103
2	GFH	4,103
2	GFB	4,103
3	OMA	4,098
3	OMI	2,101
3	RHD	3,647
3	RHH	2,349
3	URH	2,549
4	RHH	1,805
4	RHD	1,805

**Πίνακας 6.71** Παράγοντες VIF των εξαρτημένων μεταβλητών που συμμετέχουν στις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

Εξίσωση	Εξαρτημένη μεταβλητή	VIF
1	TTL	2,323
1	TTW	3,591
1	TAL	4,003
1	TAW	3,793
2	TTL	2,323
2	TTW	3,591
2	TAL	4,003
2	TAW	3,793

### 6.11 Επίδραση του φύλου στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης

Προκειμένου να διαπιστωθεί αν το φύλο επηρεάζει τη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης που παρουσιάζονται, υπολογίστηκε το τυπικό σφάλμα εκτίμησης ανά φύλο για την κάθε εξίσωση ξεχωριστά. Για το σύνολο των εξισώσεων που παρουσιάζονται, η διαφορά βρέθηκε να είναι από 0,04 έως 0,34. Επιπλέον, εφαρμόστηκε μη συσχετισμένος έλεγχος t στα υπόλοιπα των δύο φύλων για κάθε εξίσωση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Δεδομένου ότι οι διαφορές στα τυπικά σφάλματα εκτίμησης είναι πολύ μικρές και οι διαφορές των υπολοίπων στατιστικά μη σημαντικές, είναι δυνατή η χρήση κοινών εξισώσεων στην επίλυση των ζητημάτων συμφυρμού και δεν υπάρχει ανάγκη δημιουργίας ξεχωριστών εξισώσεων ανά φύλο.

**Πίνακας 6.72** Αποτελέσματα μη συσχετισμένου ελέγχου t για τα υπόλοιπα των δύο φύλων για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-1,67	194	0,10
2	-1,07	191	0,29
3	-1,28	197	0,20
4	0,35	198	0,73
5	-0,34	192	0,74
6	-1,30	193	0,20
7	-1,57	202	0,12

**Πίνακας 6.73** Αποτελέσματα μη συσχετισμένου ελέγχου t για τα υπόλοιπα των δύο φύλων για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-1,27	189	0,21
2	-1,94	189	0,06
3	1,04	183	0,30
4	0,61	185	0,54

**Πίνακας 6.74** Αποτελέσματα μη συσχετισμένου ελέγχου t για τα υπόλοιπα των δύο φύλων για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-0,02	201	0,98
2	-0,05	207	0,96
3	-0,44	207	0,66
4	-0,28	188	0,78
5	-0,09	188	0,93
6	0,76	173	0,45
7	-0,12	172	0,90
8	-1,73	173	0,08
9	-1,84	172	0,07

**Πίνακας 6.75** Αποτελέσματα μη συσχετισμένου ελέγχου t για τα υπόλοιπα των δύο φύλων για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-1,83	172	0,07
2	-1,86	170	0,07

## 6.12 Επίδραση της ανατομικής πλευράς στη χρήση των μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης

Για να διερευνηθεί αν οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την κατ' άτομο ταξινόμηση των οστών της αριστερής πλευράς ή αν η πλευρική ασυμμετρία επηρεάζει το αποτέλεσμα, καθώς και αν είναι δυνατή η πρόβλεψη των μετρήσεων της μιας ανατομικής πλευράς από μετρήσεις της άλλης, εφαρμόστηκε συσχετισμένος έλεγχος  $t$  μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες. Δεδομένου ότι οι τιμές  $p$  είναι μεγαλύτερες του 0,05 είναι δυνατή η χρήση κοινών εξισώσεων για τα οστά της δεξιάς και αριστερής ανατομικής πλευράς στην επίλυση των ζητημάτων συμφυρμού και δεν υπάρχει ανάγκη δημιουργίας ξεχωριστών εξισώσεων.

**Πίνακας 6.76** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου  $t$  μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή $t$	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή $p$
1	0,43	201	0,63
2	1,63	198	0,10
3	-1,94	194	0,05
4	-1,08	197	0,28
5	0,35	195	0,72
6	1,80	192	0,08
7	0,94	199	0,35



**Πίνακας 6.77** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου t μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των άνω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-1,36	203	0,18
2	-1,32	199	0,19
3	-1,10	190	0,25
4	0,32	192	0,74

**Πίνακας 6.78** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου t μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς για τις εξισώσεις απλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-16,30	201	0,10
2	-12,66	205	0,21
3	-16,13	203	0,11
4	-10,61	167	0,29
5	-15,59	167	0,12
6	-17,68	171	0,09
7	-14,43	171	0,13
8	-16,83	171	0,14
9	-14,73	171	0,13

**Πίνακας 6.79** Αποτελέσματα συσχετισμένου ελέγχου t μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών της δεξιάς ανατομικής πλευράς ανά εξίσωση και των πραγματικών τιμών της αριστερής ανατομικής πλευράς για τις εξισώσεις πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των κάτω άκρων.

Εξίσωση	Τιμή t	Βαθμοί ελευθερίας	Τιμή p
1	-13,30	171	0,19
2	-17,31	171	0,09

### 6.13 Τυφλή δοκιμασία (blind test)

Προκειμένου να εκτιμηθεί η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου σε πραγματικές υποθέσεις, δημιουργήθηκαν τεχνητά δείγματα συμφурμένων οστών 8-19 ατόμων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε αναφέρεται στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας και τα αποτελέσματα της εφαρμογής της μορφομετρικής μεθόδου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 6.80** Αποτελέσματα επιτυχών συναρμογών οστών ανά διάρθρωση στο πλαίσιο της τυφλής δοκιμασίας.

Διάρθρωση	Επιτυχείς συναρμογές
Όμου	8\10
Αγκώνα	10\10
Κερκιδωλενική	10\10
Ισχίου	10\10
Γόνατος	10\10
Αστραγαλοκνημική	5\8
Υπαστραγαλική	17\19



**Εικόνα 6.81** Τα μηριαία οστά που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της τυφλής δοκιμασίας.



**Εικόνα 6.82** Οι κνήμες που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της τυφλής δοκιμασίας.

## 7. Συζήτηση

---

### 7.1 Αξιολόγηση υπαρχόντων στατιστικών μεθόδων ταξινόμησης οστών κατ' άτομο

Ενώ η προσπάθεια ανάπτυξης στατιστικών μεθόδων για την επίλυση του συμφυρμού των οστών έχει ξεκινήσει εδώ και τρεις δεκαετίες, σχετικά πρόσφατα ξεκίνησαν να τραβούν το επιστημονικό ενδιαφέρον.

Στις εργασίες των Buikstra και Gordon (1980), αλλά και της Buikstra και συν. (1984) αναφέρεται πως οι ανθρωπολόγοι σπάνια χρησιμοποιούν τη συναρμογή των αρθρώσεων ως δείκτη της ανατομικής συνάφειας των οστών του σκελετού ενός ατόμου (intra-individual patterning) ή ως δείκτη βιολογικής ποικιλομορφίας μεταξύ των οστών του σκελετού διαφορετικών ατόμων (interindividual variability). Ανέπτυξαν λοιπόν μία ποσοτική οστεομετρική μέθοδο προκειμένου να εξετάσουν το βαθμό της ανατομικής συνάφειας μεταξύ των αυχενικών σπονδύλων με σκοπό τη χρήση της στην ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο σε δικαστικές υποθέσεις. Στο πλαίσιο της μελέτης τους ελήφθησαν μετρήσεις αυχενικών σπονδύλων ατόμων που ανήκαν στη σκελετική συλλογή Terry. Υπολογίστηκε μία σειρά μεταβλητών που καθόριζαν τη φυσιολογική διαφορά μεγέθους μεταξύ αλληλοδιαδόχων σπονδύλων. Οι εν λόγω μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς ως μέτρα διασποράς και κεντρικής τάσης που αξιολογούσαν τη μηδενική υπόθεση που όριζε πως δύο σπόνδυλοι ανήκουν στο ίδιο άτομο (Buikstra και συν. 1984: 125). Συνεπώς, οι ληφθείσες μετρήσεις είτε επιβεβαίωναν, είτε απέρριπταν την υπόθεση ότι δύο σπόνδυλοι που ανευρέθησαν σε μία δικαστική υπόθεση ανήκουν στο ίδιο άτομο, χωρίς να γίνεται πρόβλεψη του μεγέθους του οστού που θεωρητικά θα συνάρμοζε με το εξετασθέν.

Λίγα χρόνια αργότερα οι London και συν. (1986, 1998) παρατήρησαν ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων της κεφαλής του μηριαίου και της κοτύλης. Η πρώτη μελέτη που περιελάμβανε δείγμα 100 ατόμων από τη συλλογή του Μουσείου Maxwell του Πανεπιστημίου του Νέου Μεξικού των ΗΠΑ

ενισχύθηκε από πρόσθετες μετρήσεις της κοτύλης που μπορούν να εφαρμοστούν σε δείγμα που παρουσιάζει εκτεταμένες οστεοαρθρικές αλλοιώσεις. Συμπέραναν πως η μετρική ταξινόμηση των δύο ανατομικών σχηματισμών είναι δυνατή όταν υποστηρίζεται και μακροσκοπικά.

Αντιθέτως, οι Rösing και Pischtschan (1995) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η οστεομετρική ταξινόμηση έχει περιορισμένη συμβολή στην επίλυση ζητημάτων συμφурμού των οστών. Χρησιμοποιώντας ένα αρχαιολογικό δείγμα 32 ατόμων, έλαβαν μετρήσεις που περιελάμβαναν το μέγιστο μήκος των μακρών οστών, το μήκος της περιμέτρου στη μεσότητα του σώματός τους, καθώς και δύο μετρήσεις του κρανίου. Δημιούργησαν ένα γραμμικό μοντέλο συσχέτισης, με μικρή -όπως αναφέρουν- επιτυχία, καθώς κάποια αποτυχημένα ζεύγη προσέγγιζαν το γραμμικό μοντέλο. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στο μικρό μέγεθος του δείγματος, αλλά και στο γεγονός ότι οι ερευνητές έθεσαν πολύ αυστηρά κριτήρια συσχέτισεων, αγνοώντας την ποικιλομορφία του ανθρώπινου σκελετού.

Οι Byrd και Adams (2003) ανέπτυξαν στατιστικά μοντέλα παλινδρόμησης και εισήγαγαν μία νέα μεθοδολογία ταξινόμησης συμφурμένων οστών κατ' άτομο χρησιμοποιώντας μετρήσεις μακρών οστών που δεν αρθρώνονται. Αφού έλαβαν τα μετρικά δεδομένα, τα άθροισαν και τα μετέτρεψαν σε ένα φυσικό λογάριθμο (λογάριθμος που έχει ως βάση τον αριθμό Euler  $e \approx 2,72$ ), ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει την εκάστοτε εξαρτημένη μεταβλητή. Η εξαρτημένη μεταβλητή αντικαθίσταται σε έναν μαθηματικό τύπο υπολογίζοντας μία τιμή  $t$  ( $t$ -value) και την τιμή  $p$  ( $p$ -value) την οποία χρησιμοποιούν ως δείκτη απόρριψης ή επιβεβαίωσης της μηδενικής υπόθεσης. Η ίδια μεθοδολογία παρουσιάστηκε και από τον Byrd (2008) και τους Byrd και LeGarde (2014). Τα αποτελέσματά τους κατέδειξαν πως οι συντελεστές συσχέτισης  $r$  ήταν υψηλοί ( $r=0,91-0,99$ ) στα μαθηματικά μοντέλα που περιελάμβαναν μετρήσεις του μεγίστου μήκους των μακρών οστών. Παρ' όλα αυτά, στις περιπτώσεις συμφурμού, είναι πολύ συνηθισμένο τα μακρά οστά να μην ανευρίσκονται ακέραια και έτσι το μέγιστο μήκος τους να μην μπορεί να ληφθεί. Στις περιπτώσεις αυτές, είναι δυνατή η ανάπτυξη μοντέλων αλλά με σημαντικά χαμηλότερους συντελεστές συσχέτισης ( $r=0,79-0,90$ ). Οι εν λόγω ερευνητές δεν επέκτειναν αυτή τη μεθοδολογία σε οστά που αρθρώνονται. Επιπλέον, πρότειναν

πως για κάθε υπόθεση συμφурμού θα πρέπει να δημιουργούνται νέα μαθηματικά μοντέλα με βάση τις μετρήσεις που μπορούν να ληφθούν από τα διαθέσιμα οστά. Η προσέγγιση αυτή προϋποθέτει την ύπαρξη σκελετικής συλλογής αναφοράς ή έστω έτοιμων μετρικών δεδομένων διαθέσιμων σε κάθε εργαστήριο για κάθε οστό που μπορεί να ανευρεθεί σε κάποια υπόθεση. Επίσης, προϋποθέτει κάθε ερευνητής να έχει στη διάθεσή του χρόνο και γνώσεις για να δημιουργήσει νέα μαθηματικά μοντέλα εξειδικευμένα για την κάθε υπόθεση, πράγμα μη ρεαλιστικό. Τέλος, αυτή τη στιγμή δεν έχει μελετηθεί επαρκώς η συσχέτιση κάθε συνδυασμού μετρήσεων και τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανής εξίσωσης ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια για τη διερεύνηση μίας δικαστικής υπόθεσης.

Οι παραπάνω ερευνητές, πέρα από την ανάλυση παλινδρόμησης για την ταξινόμηση των μακρών κυρίως οστών, χρησιμοποίησαν και δοκιμασίες t (t-tests) προκειμένου να ταξινομήσουν κατ' άτομο οστά που αρθρώνονται μεταξύ τους. Τα οστά εξετάζονται ανά δύο και ανάλογα με το αποτέλεσμα της δοκιμασίας είτε απορρίπτεται, είτε επιβεβαιώνεται πως τα δύο αυτά οστά ανήκουν στο ίδιο άτομο. Παρά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι σχετικά απλή και στατιστικά αποδεκτή, θα μπορούσε κανείς να πει πως ένα επιβεβαιωμένο ζεύγος οστών δεν ανήκει απαραίτητα στο ίδιο άτομο, αλλά σε ένα άλλο άτομο παρόμοιου ύψους και ευρωστίας. Για το λόγο αυτό, οι μετρικές μέθοδοι είναι μείζονος σημασίας να χρησιμοποιούνται προκειμένου να ταξινομηθούν τα εξετασθέντα οστά σε πιθανά ζεύγη και η οριστική επιβεβαίωση να γίνεται μακροσκοπικά.

Η παραπάνω μεθοδολογία, σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους ταξινόμησης κατ' άτομο (οπτική επισκόπηση, ταξινόμηση σε ζεύγη, συμπλησίαση αρθρικών επιφανειών, διαδικασία αποκλεισμού, ταφονομία) χρησιμοποιήθηκε από τους Adams και Byrd (2006) για την επίλυση μίας υπόθεσης συμφурμού μικρής κλίμακας. Ο συνδυασμός των μεθόδων οδήγησε στον επιτυχημένο διαχωρισμό δύο κατακερματισμένων σκελετών που ανευρέθηκαν μέσα σε ένα ελικόπτερο που έπεσε το 1969 κατά τον πόλεμο του Βιετνάμ. Αργότερα, οι Rodríguez και συν. (2016) εφάρμοσαν επίσης επιτυχώς τη μέθοδο του Byrd σε ένα μικρό τυχαίοποιημένο δείγμα οστών που εμφάνιζε συμφурμό. Στο πλαίσιο της εργασίας τους, ελήφθησαν μετρήσεις από εννέα οστά. Ωστόσο, για την αξιολόγηση κάθε μαθηματικού μοντέλου έγινε

διαχωρισμός οστών που ανήκαν σε μόλις δύο έως τέσσερα άτομα, πράγμα που σημαίνει ότι η μέθοδος λειτουργεί σε μικρά δείγματα χωρίς όμως να μπορεί να αξιολογηθεί η χρησιμότητά της σε μεγαλύτερα.

Πρόσφατα, ο Lynch (2018) συνέκρινε τη μεθοδολογία του Byrd με μία νέα αυτοματοποιημένη ταξιθετική μέθοδο (ordination method) με τη βοήθεια του πακέτου Osteosort (Lynch, 2017) που ο ίδιος δημιούργησε. Πρόκειται για ένα στατιστικό πακέτο για τη γλώσσα προγραμματισμού ανοικτού κώδικα R που διατίθεται δωρεάν μέσω της ιστοσελίδας <http://osteosort.net>. Η μέθοδος βασίζεται στη δημιουργία νέων μαθηματικών μοντέλων για τη διερεύνηση κάθε υπόθεσης που περιλαμβάνουν τις εκάστοτε διαθέσιμες μετρήσεις. Ο συγγραφέας αναφέρει μόνο μέτρια βελτίωση των ποσοστών ακριβείας σε σχέση με τη μέθοδο του Byrd και προτείνει τη χρήση της αυτοματοποιημένης μεθόδου μόνο για υποθέσεις συμφурμού μεγάλης κλίμακας, καθώς η δημιουργία πολύπλοκων μαθηματικών μοντέλων δεν είναι δυνατή σε υποθέσεις που αφορούν μικρό αριθμό ατόμων. Η εν λόγω παρατήρηση του συγγραφέα πιθανότατα σχετίζεται με την φύση της στατιστικής ανάλυσης που ακολουθήθηκε. Αυτή περιελάμβανε ανάλυση σε κύριους παράγοντες (Principal Component Analysis, PCA) που ακολουθήθηκε από ανάλυση κανονικοποιημένης συσχέτισης (Canonical Correlation Analysis, CCA) των κύριων συνιστωσών (principal components) που υπολογίστηκαν. Η πλειοψηφία των βιβλιογραφικών αναφορών (Field, 2009· Weinberg και Abramowitz, 2008· Tabachnick και Fidell, 2007) κάνει λόγο για συγκεκριμένους περιορισμούς στο μέγεθος του δείγματος όταν χρησιμοποιούνται οι παραπάνω στατιστικές αναλύσεις. Για παράδειγμα, η ανάλυση σε κύριους παράγοντες (PCA) απαιτεί δείγμα 5 ή 10 δειγμάτων ανά χρησιμοποιούμενη μεταβλητή, ενώ κάποια άλλα στατιστικά εγχειρίδια προτείνουν έναν ελάχιστο αριθμό ατόμων 150 ή 200 (Field, 2009· Osborne και Costello, 2004). Η ανάλυση κανονικοποιημένης συσχέτισης (CCA) παράγει ασφαλή αποτελέσματα όταν το προς ανάλυση δείγμα αποτελείται τουλάχιστον από εικοσαπλάσιο αριθμό ατόμων σε σχέση με τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται (Stevens, 2009) ή κατ' άλλους από τουλάχιστον 40-60 άτομα ανά μεταβλητή (Barcikowski και Stevens, 1975· Hill και Lewicki, 2006). Συνεπώς, παρατηρούμε πως ο ελάχιστος αριθμός ατόμων που απαιτούνται για την ανάπτυξη εξειδικευμένων

μοντέλων ανά υπόθεση είναι κατά κανόνα πολύ μεγάλος. Παρ' όλα αυτά, δεδομένου ότι αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει μία ευρέως αποδεκτή άποψη για το μέγεθος του χρησιμοποιούμενου δείγματος, η μεθοδολογία του Lynch θα πρέπει να διερευνηθεί αν και κατά πόσο μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρά δείγματα.

## 7.2 Αξιολόγηση παρούσας μεθόδου

Η παρούσα μέθοδος οστεομετρικής ταξινόμησης των οστών αποτελεί μια αποτελεσματική μέθοδο για την κατ' άτομο ταξινόμηση συμφυρμένων οστών όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τις μορφολογικές μεθόδους. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν πως οι γραμμικές μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν εμφάνιζαν επαναληψιμότητα. Στο σύνολό τους ακολουθούν την κανονική κατανομή και σύμφωνα με τους δείκτες γραμμικής συσχέτισης Pearson εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους ( $r=0,69-0,95$ ). Οι συντελεστές προσδιορισμού  $r^2$  είναι υψηλοί για τις περισσότερες εξισώσεις ( $r^2=0,47-0,91$ ), δείχνοντας το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από το μοντέλο. Ο συγκεκριμένος συντελεστής χρησιμοποιείται ως μέτρο καλής προσαρμογής και γενικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο επιλογής του μοντέλου. Τα τυπικά σφάλματα εκτίμησης (SEE) είναι χαμηλά ( $SEE=0,88-2,14$ ) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως μέτρα καλής προσαρμογής. Όσον αφορά στα υπόλοιπα, τηρούνται οι υποθέσεις της κανονικότητας, της ανεξαρτησίας και της ομοσκεδαστικότητας, που αποτελούν προϋποθέσεις για την επιβεβαίωση ότι οι παρατηρήσεις προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο μοντέλο, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν να θεωρούνται αξιόπιστα. Τα ποσοστά επιτυχίας των εξισώσεων όταν αυτές εφαρμόστηκαν στο δείγμα με σφάλμα μόλις 0-2mm ήταν ιδιαίτερος υψηλά για την πλειονότητα των εξισώσεων (71,26-95,98%). Η τυφλή δοκιμασία των εξισώσεων σε προσομοιώσεις πραγματικών δικαστικών υποθέσεων κατέδειξε πως η μέθοδος μπορεί να έχει από ικανοποιητικά έως άριστα αποτελέσματα (5/8 έως και 10/10 επιτυχείς συναρμογές).



Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν εύκολη και ανέξοδη εφαρμογή, εξαγωγή αποτελεσμάτων σε σύντομο χρονικό διάστημα, ενώ έχει και χαμηλό ποσοστό σφάλματος. Επιπλέον, έχει αξιολογημένη ισχύ εφαρμογής, ειδικά όταν εφαρμόζεται σε άτομα διαφορετικής σωματικής διάπλασης και βασίζεται σε μετρήσεις και στατιστική επεξεργασία που είναι σχετικά απλές, καλά θεμελιωμένες και ευρέως γνωστές στη Δικαστική Ανθρωπολογία. Τέλος, η εφαρμογή της δεν απαιτεί ακέραια οστά, αλλά μόνο σχετικά καλά διατηρημένες αρθρικές επιφάνειες.

Ωστόσο, η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί αξιόπιστα σε δείγμα ατόμων που έχουν παρόμοια σωματική διάπλαση. Επίσης, δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της όταν μία μέτρηση δε μπορεί να ληφθεί λόγω κακής διατήρησης της αρθρικής επιφάνειας του οστού, κακώσεων ή παθολογικών οστικών αλλοιώσεων. Τέλος, δεν έχει μελετηθεί η επίδραση του διαφορετικού πληθυσμού στην εφαρμογή των εξισώσεων.

### **7.3 Σύγκριση υπαρχόντων μεθόδων και παρούσας έρευνας**

Είναι εμφανές πως το σύνολο των υπαρχόντων μεθόδων είτε απορρίπτει είτε επιβεβαιώνει πως ένα ζεύγος οστών ανήκει στο ίδιο άτομο. Επομένως, δεν είναι δυνατή η άμεση σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας με τις ήδη υπάρχουσες καθώς πρόκειται για εντελώς διαφορετικές προσεγγίσεις.

Σύμφωνα με τις υπάρχουσες μεθόδους, για να γίνει η ταξινόμηση κατ' άτομο ενός δείγματος με συμφυρμό απαιτείται να γίνουν με στατιστικό τρόπο όλες οι συγκρίσεις, απορρίπτοντας ή μη τη μηδενική υπόθεση για κάθε πιθανό συνδυασμό οστών, πράγμα ιδιαίτερα χρονοβόρο. Η προσέγγιση της παρούσας μεθόδου είναι ο υπολογισμός της μέτρησης κάποιου οστού με βάση τις μετρήσεις κάποιου άλλου. Έτσι σε ένα δείγμα γίνεται ευκολότερα η αναζήτηση ενός οστού του οποίου η διάσταση βρίσκεται μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος  $\pm 2\text{mm}$  από την υπολογισθείσα τιμή, χωρίς την πραγματοποίηση επιπλέον δοκιμασιών για κάθε πιθανό ζεύγος οστών.

Έως σήμερα σε καμία έρευνα δεν έχει γίνει εκτίμηση της διάστασης ενός οστού με σκοπό την αναζήτησή του σε ένα δείγμα με συμφυρμό. Οι Byrd και Adams (2003) -

και οι μετέπειτα έρευνες που βασίστηκαν στο άρθρο αυτό- δημιούργησαν μαθηματικά μοντέλα που το κάνουν, όμως δεν αξιολογούν καθόλου την τιμή που προκύπτει, αλλά τη χρησιμοποιούν αποκλειστικά για τον υπολογισμό των τιμών  $t$  και  $p$  ώστε να απορρίψουν ή να δεχτούν τη μηδενική υπόθεση. Επιπλέον, οι εν λόγω ερευνητές δεν έχουν επεκτείνει αυτή τη μεθοδολογία σε οστά που αρθρώνονται.

Οι έρευνες των Byrd και Adams (2003), Byrd (2008) και Byrd και LeGarde (2014) πρότειναν πως για κάθε υπόθεση συμφурμού θα πρέπει να δημιουργούνται νέα μαθηματικά μοντέλα με βάση τις μετρήσεις που μπορούν να ληφθούν από τα διαθέσιμα οστά. Η συγκεκριμένη προσέγγιση μπορεί να εμφανίσει μεθοδολογικά προβλήματα καθώς δεν έχει μελετηθεί επαρκώς η συσχέτιση κάθε συνδυασμού μετρήσεων, ούτε τα ποσοστά επιτυχίας κάθε πιθανής εξίσωσης ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια για τη διερεύνηση μίας δικαστικής υπόθεσης. Η παρούσα διατριβή παρουσιάζει έτοιμα μαθηματικά μοντέλα επαρκώς μελετημένα ως προς την εφαρμοσιμότητά τους. Έτσι, είναι στη διακριτική ευχέρεια του κάθε ερευνητή και εξαρτάται από την ιδιαιτερότητα κάθε υπόθεσης ποιο από αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με ποιο ποσοστό ακρίβειας. Αξίζει να σημειωθεί πως οι συντελεστές συσχέτισης των μοντέλων που επέλεξαν να παρουσιάσουν οι εν λόγω ερευνητές ( $r=0,79-0,90$ ) είναι παρόμοιοι με αυτούς της παρούσας διατριβής ( $r=0,69-0,95$ ). Ωστόσο, τα τυπικά σφάλματα εκτίμησής τους ( $SEE=0,05-0,08$ ) είναι σημαντικά μικρότερα από αυτά της παρούσας έρευνας ( $SEE=0,88-2,14$ ). Αυτό συμβαίνει διότι η τιμή του τυπικού σφάλματος εκτίμησης εξαρτάται από την αριθμητική τιμή των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του μοντέλου. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των ληφθησών μετρήσεων σε mm, ενώ οι εν λόγω ερευνητές, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, μετέτρεψαν τις μετρήσεις τους σε φυσικό λογάριθμο πριν δημιουργήσουν τα μαθηματικά μοντέλα.

Επιπλέον, σε καμία έρευνα σχετική με οστεομετρική ταξινόμηση το τελικό αποτέλεσμα δεν επιβεβαιώνεται με τις παραδοσιακές οπτικές μεθόδους. Κάτι τέτοιο αυξάνει την πιθανότητα σφάλματος, καθώς το ζεύγος οστών που ταξινομήθηκε μετρικά μπορεί να μην ανήκει στο ίδιο άτομο, αλλά σε άλλο άτομο παρομοίου μεγέθους. Τέλος, οι υπάρχουσες έρευνες δεν συμπεριλαμβάνουν τυφλές δοκιμασίες σε δείγμα μεγαλύτερο των τεσσάρων ατόμων προκειμένου να αξιολογήσουν τα

αποτελέσματά τους. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε δείγμα 8 έως και 19 ατόμων δίνοντας πολύ καλά αποτελέσματα.

#### **7.4 Μελλοντική έρευνα**

Η μεθοδολογία που παρουσιάζεται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, έχει τη δυνατότητα να συμβάλει στην κατ' άτομο ταξινόμηση του μεγαλύτερου μέρους των οστών του σκελετού. Στο πλαίσιο της, συναρμόστηκαν μετρικά όλες οι μεγάλες διαρθρώσεις από μετρήσεις των αρθρικών επιφανειών οστών που είναι απαραίτητα για τον καθορισμό του βιολογικού προφίλ ενός ατόμου. Ωστόσο, οι διαρθρώσεις του ώμου, του αγκώνα, του ισχίου, του γόνατος και του αστραγάλου δεν είναι οι μοναδικές αρθρώσεις του σώματος και προτείνεται η εν λόγω μεθοδολογία να επεκταθεί και σε άλλες αρθρώσεις των οστών του σκελετού.

Επιπλέον, τα αποτελέσματα της τυφλής δοκιμασίας κατέδειξαν πως ενώ για τις περισσότερες αρθρώσεις η ορθή κατ' άτομο ταξινόμηση φτάνει το 100%, για τις αρθρώσεις του αστραγάλου και την άρθρωση του ώμου το ποσοστό είναι χαμηλότερο. Για την άρθρωση του ώμου, το γεγονός αυτό πιθανότατα οφείλεται στο ότι οι αρθρικές επιφάνειες δεν συναρμόζουν ισχυρά, καθώς πρόκειται για σφαιροειδή άρθρωση. Έτσι, ενώ η μετρική μέθοδος καταλήγει σε κάποια πιθανά ζεύγη ωμοπλάτης-βραχιονίου η αξιολόγηση βασίζεται κυρίως στη χροιά ή την υφή των εμπλεκόμενων οστών. Η ίδια δυσκολία εντοπίστηκε και κατά την τυφλή δοκιμασία για τις αρθρώσεις του αστραγάλου. Ενώ το ορθό ζεύγος κνήμης-αστραγάλου και αστραγάλου-πτέρνας βρισκόταν πάντα μέσα στα πιθανά που προέκυπταν από την εφαρμογή της μετρικής μεθόδου, υπήρχαν περισσότερα του ενός ζεύγη που παρουσίαζαν ομοιότητες μακροσκοπικά. Προτείνεται λοιπόν, οι αρθρώσεις αυτές να μελετηθούν με την εφαρμογή μεθόδων τρισδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρίας. Οι μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να εστιάσουν στην ανάπτυξη τεχνικών με βάση κάποια τοπόσημα (landmarks) για την κατ' άτομο ταξινόμηση συμφυρμένων οστών. Μία τέτοια προσέγγιση, θα συμπεριλάμβανε και το σχήμα στην αξιολόγηση των εμπλεκόμενων αρθρικών επιφανειών και όχι μόνο το μέγεθος όπως στην περίπτωση των γραμμικών μετρήσεων.

Τέλος, δεδομένου ότι οι μετρικές μέθοδοι τείνουν να εξαρτώνται από τον πληθυσμό στον οποίο εφαρμόζονται (Byers, 2011), η εν λόγω μεθοδολογία προτείνεται να εφαρμοστεί και σε άλλους πληθυσμούς. Έτσι, θα εξακριβωθεί αν οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να εφαρμοστούν διεθνώς ή αν θα πρέπει να προσαρμοστούν ανάλογα με τον πληθυσμό στον οποίο εφαρμόζονται.

## 8. Συμπεράσματα

---

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή καταδεικνύεται η χρησιμότητα και η εφαρμοσιμότητα της απλής και της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης στην επίλυση ζητημάτων που ανακύπτουν κατά την εξέταση συμφυρμένου σκελετικού δικαστικού ή αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Μέχρι σήμερα, η χρήση στατιστικών μεθόδων στον διαχωρισμό των οστών κατ' άτομο δεν έχει τραβήξει σε μεγάλο βαθμό το επιστημονικό ενδιαφέρον συγκρινόμενη με άλλα θέματα που απασχολούν τη Δικαστική Ανθρωπολογία και τη Βιοαρχαιολογία, όπως για παράδειγμα ο προσδιορισμός του φύλου ή η εκτίμηση της ηλικίας θανάτου από τον σκελετό. Έως αυτή τη στιγμή, η παρούσα διδακτορική διατριβή και οι δημοσιεύσεις που έχουν προκύψει από αυτή αποτελούν τις μοναδικές βιβλιογραφικές αναφορές για την οστεομετρική ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο σε δείγμα του ελληνικού πληθυσμού. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι διαφορές μεταξύ των πληθυσμών καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή και αξιολόγηση των διαφόρων ανθρωπολογικών μεθόδων σε διαφορετικούς πληθυσμούς, προκειμένου να βελτιωθεί η αξιοπιστία και η ακρίβειά τους.

Στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής, η μεθοδολογία που προτείνεται για την επίλυση του ζητήματος του συμφυρμού των οστών μπορεί να χαρακτηριστεί ως αξιόπιστη, καθώς οι προς εξέταση μετρήσεις εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους. Επίσης, η μεθοδολογία παρουσιάζει επαναληψιμότητα και ακρίβεια.

Η οστεομετρική προσέγγιση που προτείνεται λειτουργεί καλύτερα ως μέσο απόρριψης κάποιων πιθανών ζευγών οστών, παρά ως μέσο επιβεβαίωσης. Αυτό συμβαίνει διότι στο δείγμα μπορεί να υπάρχουν περισσότερα του ενός άτομα με παρόμοιες διαστάσεις των οποίων οι μετρήσεις να ταιριάζουν στις υπολογιζόμενες τιμές του μαθηματικού μοντέλου. Για το λόγο αυτό, αν μετρικά έχουν ανευρεθεί πάνω από ένα πιθανά ζεύγη οστών στο δείγμα, η τελική επιβεβαίωση θα πρέπει να γίνεται μακροσκοπικά μέσω των παραδοσιακών οστεολογικών μεθόδων ταξινόμησης

των οστών κατ' άτομο. Συνεπώς, είναι εμφανές πως ο συνδυασμός των δύο μεθόδων δίνει τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Τα γενικά συμπεράσματα που μπορούν να προκύψουν από τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής είναι τα εξής:

- Η μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί σε δείγμα ατόμων ανεξαρτήτου φύλου. Η μη ύπαρξη στατιστικά σημαντικών διαφορών στο σφάλμα των εξισώσεων μεταξύ αρρένων και θηλέων ατόμων καταδεικνύει πως η εφαρμογή της μεθόδου ταξινόμησης κατ' άτομο είναι δυνατή πριν την εκτίμηση του φύλου των προς εξέταση ατόμων.
- Η εφαρμογή της μεθοδολογίας είναι ανεξάρτητη από την ανατομική πλευρά που μπορεί να είναι διαθέσιμη κατά τη διερεύνηση μίας υπόθεσης, καθώς δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του μέσου σφάλματος των υπολογιζόμενων τιμών των μετρήσεων της δεξιάς και αριστερής πλευράς.
- Είναι δυνατός ο υπολογισμός των τιμών της μίας ανατομικής πλευράς αν αντικατασταθούν οι τιμές της άλλης ανατομικής πλευράς στα μαθηματικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των υπολογιζόμενων τιμών της μίας ανατομικής πλευράς και των πραγματικών τιμών της άλλης.
- Η εφαρμογή της μεθόδου είναι δυνατή και σε κατακερματισμένα οστά. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη των μαθηματικών μοντέλων λαμβάνονται αποκλειστικά από τις αρθρικές επιφάνειες των οστών. Η καλή διατήρηση των αρθρικών επιφανειών αποτελεί προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου, ωστόσο δεν απαιτείται η διατήρηση της ακεραιότητας του οστού προκειμένου να ληφθεί το μέγιστο μήκος του.
- Οι εξισώσεις της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης εμφανίζουν κατά κανόνα καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με αυτές της απλής γραμμικής παλινδρόμησης. Ωστόσο, για την εφαρμογή των εξισώσεων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης απαιτείται η αντικατάσταση περισσότερων της μίας αριθμητικής τιμής στο μαθηματικό μοντέλο. Συνεπώς, σε περιπτώσεις κατακερματισμού ή έλλειψης κάποιου οστού η εφαρμογή τους δεν είναι δυνατή.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

---

Η ακριβής ταξινόμηση των οστών κατ' άτομο αποτελεί πρωταρχικό στάδιο της ανθρωπολογικής εξέτασης σε περιπτώσεις που παρατηρείται συμφурμός του ανευρεθέντος σκελετικού υλικού. Η μορφολογία συγκεκριμένων οστών όπως της ωμοπλάτης, του βραχιονίου, της κερκίδας, της ωλένης, του ανωνύμου οστού, του μηριαίου, της κνήμης, του αστραγάλου και της πτέρνας χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του βιολογικού προφίλ ενός ατόμου (φύλο, ηλικία, ανάστημα κ.ά.). Για το λόγο αυτό, στο πλαίσιο της παρούσας διδακτορικής διατριβής μελετήθηκαν ως προς την ανατομική τους συνάφεια 6 διαρθρώσεις 214 ατόμων (114 άρρενα, 100 θήλεα) που προέρχονται από τη Σκελετική Συλλογή Αναφοράς του Τμήματος Βιολογίας ΕΚΠΑ. Από τις 23 γραμμικές μετρήσεις που ελήφθησαν, αναπτύχθηκαν 22 εξισώσεις με τη βοήθεια της απλής και πολλαπλής ανάλυσης παλινδρόμησης με σκοπό την ταξινόμηση των συμφурμένων οστών κατ' άτομο, με βάση την οστεομετρική συνάφεια των αρθρικών επιφανειών των συντασσόμενων οστών. Οι εξισώσεις στο σύνολό τους εμφανίζουν υψηλή συσχέτιση μεταξύ τους ( $r=0,69-0,95$ ). Οι συντελεστές προσδιορισμού είναι υψηλοί για τις περισσότερες εξισώσεις ( $r^2=0,47-0,91$ ), ενώ τα τυπικά σφάλματα εκτίμησης (SEE) είναι χαμηλά ( $SEE=0,88-2,14$ ). Η πλευρική ασυμμετρία και το φύλο δεν επηρεάζουν τη μέθοδο.

Για τη μελλοντική εφαρμογή τη μεθόδου προτείνονται δύο βήματα. Το πρώτο βήμα είναι η πρόβλεψη μίας μέτρησης ενός οστού με τη βοήθεια μίας ή περισσότερων μετρήσεων κάποιου άλλου ή άλλων οστών μέσω των εξισώσεων που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής. Αυτό θα οδηγήσει σε κάποια πιθανά ζεύγη οστών. Στη συνέχεια, τα πιθανά ζεύγη εξετάζονται μορφολογικά πριν την τελική επιλογή αξιολογώντας γνωρίσματα των εμπλεκόμενων οστών όπως είναι η χροιά, η υφή, η ανατομική συνάφεια και το μυϊκό τους ανάγλυφο, καθώς και συμβατές παθολογικές οστικές αλλοιώσεις.

Προκειμένου να αξιολογηθεί η εφαρμοσιμότητα της μεθόδου δημιουργήθηκαν τεχνητά δείγματα 8-20 ατόμων και έγινε προσπάθεια ταξινόμησης των οστών τους με την εφαρμογή της παραπάνω μεθοδολογίας. Η τυφλή δοκιμασία κατέδειξε πως η μέθοδος μπορεί να έχει άριστα αποτελέσματα της τάξεως του 100% για τις περισσότερες διαρθρώσεις. Η μελλοντική έρευνα θα πρέπει να επικεντρωθεί στην επέκταση της μεθοδολογίας και σε άλλες αρθρώσεις του σκελετού, αλλά και στη χρήση μεθόδων τρισδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρίας για τη βελτίωση των ποσοστών επιτυχίας στις αρθρώσεις του αστραγάλου και των οστών της διάρθρωσης του ώμου.



## ABSTRACT

---

In commingled contexts, the accurate sorting of human skeletal remains constitutes the basis for further anthropological examination, including the identification of the individual's basic biological characteristics. Particularly, the morphology of certain bone elements (i.e., scapula, humerus, radius, ulna, os coxa, femur, tibia, talus, and calcaneus) is widely used by forensic anthropologists for accurate estimation of sex, age, body height, and body mass. In this doctoral thesis, a total of 23 standard anthropological measurements were obtained in a total of 214 adult individuals (114 males, 100 females) originating from the "Athens Collection". The Collection represents a sample of late 20<sup>th</sup> century individuals who lived in the broader region of Athens, Greece. Simple and multiple regression analysis were used for developing a total of 22 mathematical equations (16 simple, 6 multiple) for sorting commingled human bone remains based on the dimensions of adjoining articular surfaces. The results of these analyses revealed very strong and positive correlations ( $r=0,69 - 0,95$ ,  $p\text{-value} < 0,05$ ), relatively high coefficients of determination ( $r^2=0,47 - 0,91$ ) and low standard error of the estimate ( $SEE=0,88-2,14$ ). Bilateral asymmetry and sex did not have an effect on the accuracy of the functions developed.

For future application of the methodology introduced in this doctoral thesis, two steps are recommended. The first step requires the employment of the metric method developed. Particularly, linear measurements of a skeletal element or multiple skeletal elements are used to predict a dimension of another skeletal element. This leads to a small number of possible matches for each bone specimen. The second step involves a systematic morphoscopic examination of these matches, in order to determine the best fit.

For further demonstrating the applicability of the introduced methodology, consequent blind tests were performed in random samples of 8 to 20 individuals which were not part of the material used to develop the regression equations. The

results showed that the percentage of correct classification was 100% for most joints examined. Further research is necessary for improving the classification rates for certain joints (shoulder, ankle, subtalar) on the basis of alternative approaches, such as the application of three-dimensional geometric morphometrics. Furthermore, future forensic research on commingled bone assemblages would benefit from further expanding these sorting methods to other joints of the human skeleton, aiming to gradually provide a reliable methodological toolkit for reconstructing the biological characteristics of each individual skeleton.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

**Αδαμόπουλος, Λ., Δαμιανού, Χ., Σβέρκος, Α.** (2000) Μαθηματικά και στοιχεία στατιστικής Γ' ενιαίου λυκείου. Αθήνα: Οργανισμός εκδόσεως διδακτικών βιβλίων.

**Abramowitz, M., Stegun, I.A.** (1965) Handbook of mathematical functions. New York, NY: Dover.

**Adams, B.J., Konigsberg, L.W.** (2004) Estimation of the most likely number of individuals from commingled human skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 125(2):138-151.

**Adams, B.J., Byrd, J.E.** (2006) Resolution of small-scale commingling: a case report from the Vietnam War. *Forensic Science International* 156(1):63-69.

**Adams, B.J., Konigsberg, L.W.** (2008) How many people? Determining the number of individuals represented by commingled human remains. In: Adams, B.J., Byrd, J.E. (eds) *Recovery, analysis, and identification of commingled human remains*. Totowa, NJ: Humana Press, 241-255.

**Anastopoulou, I., Karakostis, F.A., Borrini, M., Moraitis, K.** (2018a) A statistical method for reassociating human tali and calcanei from a commingled context. *Journal of Forensic Sciences* 63(2):381-385.

**Anastopoulou, I., Karakostis, F.A., Moraitis, K.** (2018b) A reliable regression-based approach for reassociating human skeletal elements of the lower limbs from commingled assemblages. *Journal of Forensic Sciences*, DOI: 10.1111/1556-4029.13884.

**Asteriou, D., Hall, S.G.** (2006) *Applied econometrics: a modern approach using reviews and microfit*. 3rd edition. New York: Palgrave Mcmillan.

**Baker, P.T., Newman, R.W.** (1957) The use of bone weight for human identification. *American Journal of Physical Anthropology* 15(4):601-618.

**Barcikowski, R.S., Stevens, J.P.** (1975) A Monte Carlo study of the stability of canonical correlations, canonical weights and canonical variate-variable correlations. *Multivariate Behavioural Research* 10(3):353-364.

**Barrier, I.L.O., L'Abbé E.N.** (2008) Sex determination from the radius and ulna in a modern South African sample. *Forensic Science International* 179(1):85.e1-7.

**Bass, W.M.** (1995) *Human Osteology: a laboratory and field manual*. 4th edition. Columbia: Missouri Archaeological Society.

**Brooks, S., Suchey J.M.** (1990) Skeletal age determination based on the Os Pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Journal of Human Evolution* 5: 227-238.

**Brothwell, D.R.** (1981) *Digging up Bones*. 3rd edition. Oxford: Oxford University Press/British Museum (Natural History).

**Brues, A.M.** (1977) *People and races*. New York: MacMillan.

**Buikstra, J.E., Gordon, C.C.** (1980) Individuation in forensic science study: decapitation. *Journal of Forensic Sciences* 25(1):246-59.

**Buikstra, J.E., Gordon, C.C., St. Hoyme, L.** (1984) The case of the severed skull: individuation in forensic anthropology. In: Rathbun, T.A., Buikstra, J.E. (eds) *Human identification: case studies in forensic anthropology*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 121-147.

**Buikstra, J.E., Ubelaker, D.H.** (1994) Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville, AR: Arkansas Archaeological Survey Research Series No. 44.

**Byers, S.N.** (2011) Εισαγωγή στη δικαστική ανθρωπολογία. 2η Έκδοση. Επιμέλεια Ελληνικής Έκδοσης Κ. Μωραΐτης, Χ. Σπηλιοπούλου. Αθήνα: Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιάνου.

**Byers, S.N.** (2011) *Introduction to Forensic Anthropology*. 4th edition. Boston: Pearson, Allyn and Bacon.

**Byrd, J.E., Adams B.J.** (2003) Osteometric sorting of commingled human remains. *Journal of Forensic Sciences* 48(4):717-724.

**Byrd, J.E.** (2008) Models and methods for osteometric sorting. In: Adams, B.J., Byrd, J.E. (eds) *Recovery, analysis, and identification of commingled human remains*. Totowa, NJ: Humana Press, 199-220.

**Byrd, J.E., LeGarde, C.B.** (2014) Osteometric sorting. In: Adams, B.J., Byrd, J.E. (eds) *Commingled human remains: methods in recovery, analysis, and identification*. San Diego, CA: Academic Press, 167-191.

**Γαλάνης, Π.** (2014) Μονομεταβλητή ανάλυση επιδημιολογικών δεδομένων. *Αρχεία Ελληνικής Ιατρικής* 31(2): 221-243.

**Cheverko, C.M., Steadman, D.** (2012) Osteoarthritis as a means to reassociate commingled skeletal remains. The 81st Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists (Poster Abstract). 11-14 April 2012, Portland, OR.

**Christensen, A.M., Passalacqua, N.V., Bartelink, E.J.** (2014) *Forensic anthropology: current methods and practice*. Amsterdam: Academic Press.

**Cohen, J.** (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd Edition. Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.

**Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., Aiken, L.S.** (2003) *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. 3rd edition. Mahwah, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.

**Correia, P.M.M.** (1997) Fire modification of bone: a review of the literature. In: Haglund, W.D., Sorg, M.H. (eds) *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. Boca Raton, FL: CRS Press, 275-293.

- Cowal L.S., Pastor R.F.** (2008) Dimensional variation in the proximal ulna: evaluation of a metric method for sex assessment. *American Journal of Physical Anthropology* 135: 469-478.
- Durbin, J., Watson, G.S.** (1950) Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika* 37(3-4):409-428.
- Eliopoulos, C., Lagia, A., Manolis, S.** (2007) A modern, documented human skeletal collection from Greece. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 58:221-228.
- Eyman, C.E.** (1965) Ultraviolet fluorescence as a means of skeletal identification. *American Antiquity* 31(1):109-112.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., Buchner, A.** (2007) G\* Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior research methods* 39(2):175-191.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., Lang, A.G.** (2009) Statistical power analyses using G\*Power 3.1: tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods* 41:1149-1160.
- Field, A.** (2009) *Discovering statistics using SPSS*. 3rd edition. London, UK: Sage publications.
- Fotheringham, A.S., Barmby, T., Brunsdon, C., Champion, T., Charlton, M., Kalogirou, S., Tremayne, A., Rees, P., Eyre, H., Macgill, J., Stillwell, J., Bramley, G., Hollis, J.** (2002) *Development of a migration model: analytical and practical enhancements*. London: Office of the Deputy Prime Minister.
- Gill, J.R., Desire, M., Dickerson, T., Adams, B.J.** (2011) The 9/11 Attacks: the medicolegal investigation of the world trade center fatalities. In: Turk, E. (ed) *Forensic Pathology Reviews*. *Forensic Pathology Reviews*, vol 6. New York, NY: Humana Press, 181-196.
- Guinn, V.P.** (1970) Forensic neutron activation analysis. In: Stewart, T.D. (ed) *Personal Identification in Mass Disasters*. Washington, DC: Smithsonian Institution, 25- 35.
- Hall, S.J.** (2005) *Εμβιομηχανική*. Αθήνα: Εκδόσεις Παρισιάνου.
- Hamilton, N., Luttgens, K.** (2003) *Κινησιολογία*. Αθήνα: Εκδόσεις Παρισιάνου.
- Hill, T., Lewicki, P.** (2006) *Statistics: methods and applications*. Tulsa, OK: StatSoft.
- Işcan, M.Y., Loth, S.R., Wright, R.K.** (1984) Age estimation from the rib by phase analysis: white males. *Journal of Forensic Sciences* 29: 1094-1104.
- Işcan, M.Y., Loth, S.R., Wright, R.K.** (1985) Age estimation from the rib by phase analysis: white females. *Journal of Forensic Sciences* 30: 853-863.
- Jantz, R.L.** (1992) Modification of the Trotter and Gleser female stature estimation formulae. *Journal of Forensic Sciences* 37(5):1230-1235.
- Kahle W., Leonhardt H., Platzer W.** (1985) *Εγχειρίδιο ανατομικής του ανθρώπου με έγχρωμο άτλαντα, Τόμος 1: Μυοσκελετικό σύστημα*. 2η έκδοση. Μετάφραση-Επιμέλεια Ν. Παπαδόπουλος Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Λίτσας.

- Knüsel, C.** (2000). Bone adaptation and its relationship to physical activity in the past. In: Cox, M., Mays, S., (eds) *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*. London: Greenwich Medical Media, 381-402.
- Konigsberg, L.W., Frankenberg, S.R.** (2013) Bayes in Biological Anthropology. *American Journal of Physical Anthropology* 57:153-184.
- Krogman, W.M.** (1962) *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- London, M.R., Curran, B.K.** (1986) The use of the hip joint in the separation of commingled remains. *American Journal of Physical Anthropology* 69:231.
- London, M.R., Hunt, D.R.** (1998) Morphometric segregation of commingled remains using the femoral head and acetabulum. *American Journal of Physical Anthropology* 26:152.
- Lovejoy, O.C., Meindl, R.S., Pryzbeck, T.R., Mensforth, R.P.** (1985) Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: a new method for the determination of adult skeletal age at death. *American Journal of Physical Anthropology* 68: 15-28.
- Lynch, J.J.** (2017) OsteoSort: an osteological sorting package for R. 2017 (<http://osteosort.net>, retrieved 3/11/2017).
- Lynch, J.J.** (2018) The Automation of regression modeling in osteometric sorting: an ordination approach. *Journal of Forensic Sciences* 63(3):798-804.
- Μωραΐτης, Κ.** (2015) Ταφονομικές αλλοιώσεις στον ανθρώπινο σκελετό. Στο: Παπαγεωργοπούλου, Χ., Μωραΐτης, Κ., Νικήτα, Ε., Ηλιόπουλος, Κ., Βήκα, Ε. Ειδικά θέματα σκελετικής ανθρωπολογίας, ταφονομίας και βιοαρχαιολογίας (ηλεκτρονικό βιβλίο). Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών (<http://hdl.handle.net/11419/4764>, τελευταία πρόσβαση 30/11/2018).
- Martin, R., Knussmann, R.** (1988) *Lehrbuch der anthropologie und humangenetik*. Stuttgart: Nueva York.
- Meindl, R.S., Lovejoy, O.C.** (1985) Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology* 68: 57-66.
- McKern, T.W.** (1958) The use of short wave ultra-violet rays for the segregation of commingled skeletal remains (No. EP-98). Headquarters Quartermaster Research and Engineering Command, U.S. Army. Natick.
- Montagu, M.F.** (1960). *Methods of measurement. A Handbook of anthropometry*. Chicago: Charles C Thomas, 15-9.
- Moorrees, C.F., Fanning, E.A., Hunt Jr, E.E.** (1963a) Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *American Journal of Physical Anthropology* 21(2):205-213.
- Moorrees, C.F., Fanning, E.A., Hunt Jr, E.E.** (1963b) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *Journal of Dental Research* 42(6):1490-1502.

**Moore-Jansen, P.M., Ousley, S.D., Jantz, R.L.** (1994) Data collection procedures for forensic skeletal material. Report of Investigations No. 48. Department of Anthropology, University of Tennessee, Knoxville.

**Neter, J., Wasserman, W., Whitmore, G.A.** (1988) Applied statistics. 3rd edition. Boston: Allyn and Bacon.

**Neuman, W.L.** (1997) Social research methods: qualitative and quantitative approaches. Needham Heights, MA: Allyn & Bacon.

**O'Brien, M., Storlie, C.B.** (2011) An alternative bilateral refitting model for zooarchaeological assemblages. *Journal of Taphonomy* 9:245-268.

**Osborne, J.W., Costello, A.B.** (2009) Sample size and subject to item ratio in principal components analysis. *Practical Assessment, Research & Evaluation* 9(11):8.

**Osterholtz, A.J.** (2014) Extreme processing at Mancos and Sacred Ridge: The value of comparative studies. In: Osterholtz, A.J., Baustian, K.M., Martin, D.L. (eds) *Commingle and Disarticulated Human Remains*. New York: Springer, 105-127.

**Osterholtz, A.J., Baustian, K.M., Martin, D.L., Potts, D.T.** (2014) Commingle human skeletal assemblages: Integrative techniques in determination of the MNI/MNE. In: Osterholtz, A.J., Baustian, K.M., Martin, D.L. (eds) *Commingle and Disarticulated Human Remains*. New York: Springer, 35-50.

**Πανάρετος, Ι.** (1994) Γραμμικά μοντέλα με έμφαση στις εφαρμογές. 2<sup>η</sup> έκδοση. Αθήνα: Εκδόσεις Μπένου.

**Pederson, D., Gore, C.** (2000) Error en la medición antropométrica. In: Norton, K., Olds, T., (eds) *Antropométrica*. Argentina: Biosystem Servicio Educativo, 71-86.

**Perini, T.A., Oliveira, G.L.D., Ornellas, J.D.S., Oliveira, F.P.D.** (2005) Technical error of measurement in anthropometry. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 11(1): 81-85.

**Phenice, T.W.** (1969) A newly developed method for sexing the os pubis. *American Journal of Physical Anthropology* 30: 297-301.

**Philipp, R.A.** (1992) The many uses of algebraic variables. *Mathematics Teacher* 85(7): 557-561.

**Ρούσσος, Π.Λ., Τσαούσης, Γ.** (2006) Στατιστική εφαρμοσμένη στις κοινωνικές επιστήμες. 2<sup>η</sup> έκδοση. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα.

**Rhine, S.** (1990) Non-metric skull racing. In: Gill, G.W., Rhine, J.S. (eds) *Skeletal attribution of race*. Anthropological Papers 4, Albuquerque, NM: Maxwell Museum of Anthropology, 9-20.

**Robertson, G., Caldwell, G., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S.** (2004) *Research Methods in Biomechanics*. Champaign, IL: Human Kinetics.

**Robson, D.S., Regier, H.A.** (1964) Sample size in Petersen mark-recapture experiments. *Transactions of the American Fisheries Society* 93:215-226.

- Rodríguez, J.M.G., Hackman, L., Martínez, W., Medina, C.S.** (2016) Osteometric sorting of skeletal elements from a sample of modern Colombians: a pilot study. *International Journal of Legal Medicine* 130:541-550.
- Rösing, F.W., Pischtschan, E.** (1995) Re-individualisation of commingled skeletal remains. In: Jacob, B., Bonte, W. (eds) *Advances in Forensic Sciences*. Berlin: Verlag 38-41.
- Royston, P.** (1995) A Remark on Algorithm AS 181: The W-test for Normality. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 44: 547-551.
- Τριχόπουλος, Δ.** (1975) *Ιατρική Στατιστική*. Αθήνα: Επιστημονικές εκδόσεις Παρισιάνου.
- Tabachnick, B.G., Fidell, L.S.** (2007) *Using multivariate statistics*. 5th edition. Boston, MA: Allyn & Bacon.
- Schneider, T., Wheeler-Kingshott, C.A.M.** (2014) Q-Space Imaging: a model-free approach. In: Cohen-Adad, J., Wheeler-Kingshott, C.A.M. (eds) *Quantitative MRI of the Spinal Cord*. San Diego, CA: Academic Press, 146-155.
- Schour, I., Massler, M.** (1940) Studies in tooth development: the growth pattern of human teeth. *The Journal of the American Dental Association* 27(11):1778-1793.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B.** (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591-611.
- Sheather, S.** (2009) *A modern approach to regression with R*. New York, NY: Springer.
- Snell, R.** (2009) *Κλινική ανατομική*. 1η Έκδοση. Μετάφραση Γ., Βαράκης, Ε. Παπαδόπουλος, Ε. Παπαδάκη-Πέτρου. Αθήνα: Ιατρικές εκδόσεις Λίτσας.
- Snow, C.E.** (1948) The Identification of the unknown war dead. *American Journal of Physical Anthropology* 6:323-328.
- Snow, C., Folk, E.D.** (1970). Statistical assessment of commingled skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 32(3):423-427.
- Sorg, M.H., Haglund, W.D.** (eds) (1996) *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Stevens, J.** (2009) *Applied multivariate statistics for the social sciences*. 5th edition. New York, NY: Taylor & Francis.
- Stewart, T.D.** (1979) *Essentials of Forensic Anthropology*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.
- Scientific Working Group for Forensic Anthropology (SWGANTH)** (2012) Resolving Commingled Human Remains, Issue date: 25/01/2012, Revision: 3. (<http://www.swganth.org>, retrieved 15/4/2018).
- Taylor, J.R.** (1997) *An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements*, 2nd edition, Sausalito, CA: University Sciences Books.
- Trotter, M.** (1970) Estimation of stature from intact long limb bones. Personal identification in mass disasters. Washington DC: Smithsonian Institution, 71-83.



**Ubelaker, D.H.** (1986) Estimation of age at death from histology of human bone. In: Zimmerman, M.R, Angel, J.L. (eds) Dating and age determination of biological materials. London: Croom Helm, 240-247.

**Ubelaker, D.H.** (1987) Estimating age at death from immature human skeletons: an overview. *Journal of Forensic Sciences* 32(5):1254-1263.

**Ubelaker, D.H.** (2002) Approaches to the study of commingling in human skeletal biology. In: Haglund, W.D., Sorg, M.H. (eds) *Advances in Forensic Taphonomy II: method, theory, and archaeological perspectives*. London: CRC Press, 331-351.

**Ubelaker, D.H.** (2008) Methodology in commingling analysis: an historical overview. In: Adams, B.J., Byrd, J.E. (eds) *Recovery, analysis, and identification of commingled human remains*. Totowa, NJ: Humana Press, 1-6.

**Ubelaker, D.H.** (2014) Commingling analysis: historical and methodological perspectives. In: Adams, B.J., Byrd, J.E. (eds) *Commingled human remains: methods in recovery, analysis, and identification*. San Diego: Academic Press, 1-6.

**Weinberg, S.L., Abramowitz, S.K.** (2008) *Statistics using SPSS: an integrative approach*, 2nd edition. New York, NY: Cambridge University Press.

**Weineck, J.** (1998) *Ανατομική της άθλησης*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σάλτο.

**White, T.D., Black, M.T., Folkens, P.A.** (2011) *Human Osteology*, 3<sup>rd</sup> edition. San Diego: Academic Press.

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### Βιβλιογραφικές αναφορές μετρήσεων

---

Διάρθρωση	Οστό	Μέτρηση
Όμου	Ωμοπλάτη	Μέγιστο μήκος ωμογλήνης (Martin και Knussmann, 1988· Bass, 1995)
	Ωμοπλάτη	Μέγιστο πλάτος ωμογλήνης (Martin και Knussmann, 1988· Thomas και συν., 2013)
	Βραχιόνιο	Μέγιστη κάθετη διάμετρος κεφαλής (Martin, 1957· Moore-Jansen και Jantz, 1994· Bass, 1995)
	Βραχιόνιο	Μέγιστο προσθιοπίσθιο πλάτος κεφαλής (Bass, 1995)
Αγκώνα	Βραχιόνιο	Διακονδυλικό πλάτος (Bass, 1995· Moore-Jansen και Jantz, 1994)
	Βραχιόνιο	Πλάτος κονδύλου-τροχιλίας (Bass, 1995)
	Ωλένη	Μέγιστο πλάτος ωλεκράνου (Martin και Knussmann, 1988· Barrier και L'Abbé, 2008)
	Ωλένη	Ελάχιστο πλάτος ωλεκράνου (Barrier και L'Abbé, 2008)
	Ωλένη	Ύψος κερκιδικής εντομής (Cowal και Pastor, 2008)
	Κερκίδα	Κάθετο ύψος κεφαλής (Barrier και L'Abbé, 2008)
	Κερκίδα	Μέγιστη διάμετρος κεφαλής (Montagu 1960· Barrier και L'Abbé, 2008)

<i>Ισχίου</i>	Μηριαίο	Μέγιστη διάμετρος κεφαλής (Bass, 1995· Moore-Jansen και Jantz, 1994)
	Ανώνυμο	Μέγιστη διάμετρος κοτύλης (Byrd και LeGarde, 2014)
<i>Γόνατος</i>	Μηριαίο	Διακονδυλικό πλάτος (Bass, 1995· Moore-Jansen και Jantz, 1994· Martin και Saller 1959)
	Κνήμη	Μέγιστο πλάτος εγγύς άκρου (Moore-Jansen και Jantz, 1994· Martin και Saller 1959)
	Κνήμη	Διακονδυλικό πλάτος (Bass, 1995)
<i>Ποδοκνημική</i>	Κνήμη	Πλάτος άπω άκρου (Moore-Jansen και Jantz, 1994· Martin και Saller, 1959)
	Αστράγαλος	Μήκος τροχιλίας (Martin και Knuβmann, 1988)
	Αστράγαλος	Πλάτος τροχιλίας(Martin και Knuβmann, 1988)
<i>Υπαστραγαλική</i>	Αστράγαλος	Μήκος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας (Martin και Knuβmann, 1988)
	Αστράγαλος	Πλάτος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας (Martin και Knuβmann, 1988)
	Πτέρνα	Πλάτος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας (Martin και Saller 1959)
	Πτέρνα	Μήκος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας (Martin και Saller, 1959)

---

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Χρησιμοποιούμενες συντομογραφίες μετρήσεων

Μέτρηση	Συντομογραφία
Μέγιστο μήκος ωμογλήνης	GFH
Μέγιστο πλάτος ωμογλήνης	GFB
Μέγιστη κάθετη διάμετρος κεφαλής βραχιονίου	HHD
Μέγιστο προσθιοπίσθιο πλάτος κεφαλής βραχιονίου	HHB
Διακονδυλικό πλάτος βραχιονίου	HBB
Πλάτος κονδύλου-τροχιλίας	CTB
Μέγιστο πλάτος ωλεκράνου	OMA
Ελάχιστο πλάτος ωλεκράνου	OMI
Ύψος κερκιδικής εντομής	URH
Κάθετο ύψος κεφαλής κερκίδας	RHH
Μέγιστη διάμετρος κεφαλής κερκίδας	RHD
Μέγιστη διάμετρος κεφαλής μηριαίου	FHD
Μέγιστη διάμετρος κοτύλης	ODA
Διακονδυλικό πλάτος μηριαίου	FEB
Μέγιστο πλάτος εγγύς άκρου κνήμης	TPB
Διακονδυλικό πλάτος κνήμης	TBB
Πλάτος άπω άκρου κνήμης	TDB
Μήκος τροχιλίας αστραγάλου	TTL
Πλάτος τροχιλίας αστραγάλου	TTW
Μήκος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας	TAL
Πλάτος οπίσθιας πτερνιαίας αρθρικής επιφάνειας	TAW
Πλάτος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας	CAW
Μήκος οπίσθιας αστραγαλικής αρθρικής επιφάνειας	CAL