



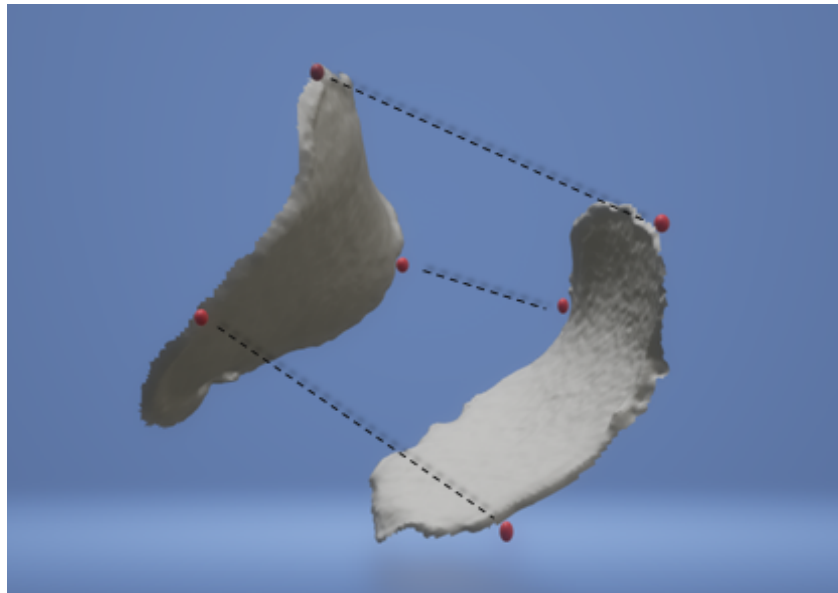
ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
**Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών**

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Εφαρμογές της Βιολογίας στην Ιατρική»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**Εφαρμογή της τρισδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρίας στη
διερεύνηση της ανατομικής συνάφειας αστραγάλου- πτέρνας
σε σκελετικό υλικό δικαστικού ενδιαφέροντος**



Όνοματεπώνυμο: Νικολέττα Μαντά

A.M.: 41707

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Μωραΐτης, Αν. Καθηγητής Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ

Αθήνα, 2019

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Κωνσταντίνος Μωραΐτης, Αν. Καθηγητής Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ
(Επιβλέπων)

Χαρά Σπηλιοπούλου, Καθηγήτρια Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ
Μαρία Στεφανίδου, Καθηγήτρια Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ

Περίληψη

Η Δικαστική Ανθρωπολογία είναι ο επιστημονικός κλάδος, που ασχολείται με τις ανθρωπολογικές τεχνικές μελέτης σκελετικού υλικού και πτωματικών υπολειμμάτων, σε υποθέσεις δικαστικού ή ποινικού ενδιαφέροντος. Ένας δικαστικός ανθρωπολόγος διαχειρίζεται σημαντικές υποθέσεις, οι πιο περίπλοκες των οποίων είναι οι υποθέσεις οστικού συμφυρμού. Η παρούσα ερευνητική πτυχιακή εργασία εντρυφεί σε αντίστοιχες υποθέσεις και προσπαθεί με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Μορφομετρίας να δώσει απάντηση στον πρωταρχικό στόχο της ανθρωπολογικής διερεύνησης: την ταυτοποίηση ενός ατόμου. Η Γεωμετρική Μορφομετρία είναι μια ταχέως εξελισσόμενη μέθοδος ανάλυσης στη Δικαστική Ανθρωπολογία, με τη χρήση της οποίας μελετάται η ποικιλομορφία του σχήματος ενός οστού βασισμένη στο Καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Τα οστά που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγμα αυτής της πτυχιακής είναι ο αστράγαλος και η πτέρνα 25 ατόμων της Οστεολογικής Συλλογής Αναφοράς της Μονάδας Δικαστικής Ανθρωπολογίας της Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ, τα οποία έχουν μικρό μέγεθος και ανευρίσκονται ακέραια συχνά σε ανθρωπολογικές υποθέσεις. Τα οστά σαρώθηκαν με τρισδιάστατο σαρωτή χειρός και ύστερα απομονώθηκαν οι αρθρικές επιφάνειες προς εξέταση με το πρόγραμμα Meshlab. Τοποθετήθηκαν 13 τοπόσημα περιμετρικά των επιφανειών, ενώ εξετάστηκαν με τη μέθοδο της Γεωμετρικής Μορφομετρίας με το λογισμικό R. Τέλος, τα αποτελέσματα ήταν θετικά, καθώς υπήρξε και επιτυχής μοναδιαία συναρμογή της αρθρικής επιφάνειας της πτέρνας με την αντίστοιχη επιφάνεια του αστραγάλου και συνεπώς επιτυχής κατ' άτομο ταξινόμηση με τη μέθοδο αυτή. Παρ' όλα αυτά είναι απαραίτητη η περαιτέρω μελέτη της προτεινόμενης μεθοδολογίας, προκειμένου να είναι δυνατή η εφαρμογή της σε υποθέσεις οστικού συμφυρμού.

Λέξεις κλειδιά: Δικαστική Ανθρωπολογία, οστικός συμφυρμός, Γεωμετρική Μορφομετρία, αστράγαλος, πτέρνα.

Abstract

Forensic anthropology is the scientific study of human skeletal remains in medico-legal contexts. A forensic anthropologist can assist in many cases and especially in the identification of commingled human remains. This study is dedicated to such cases and is providing a solution to the identification issue in commingled context using the method of Geometric Morphometrics. Geometric Morphometrics has become a rapidly evolving method in Forensic Anthropology, with the utilization of which the diversity of the shape of bone is studied based on the Cartesian coordinate system. Tali and calcanei of 25 individuals from the Osteological Collection of the Forensic Anthropology Unit of the Medical School at the National and Kapodistrian University of Athens were used in this study. Small and compact bones like those are highly resistant in taphonomic change and usually found intact in the field. The sample was scanned by a handheld 3D scanner and its articular surfaces were isolated with the assistance of the Meshlab program. Furthermore, 13 landmarks were placed and examined using Geometric Morphometrics in R software. Finally, the results were promising, as there was a successful assembly and therefore a positive individual classification with this method. However, further research on the proposed method is necessary, in order to apply Geometric Morphometrics in commingled contexts.

Keywords: forensic anthropology, commingling, geometric morphometrics, talus, calcaneus

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας σηματοδοτεί το πέρας των μεταπτυχιακών μου σπουδών στο Μεταπτυχιακό Δίπλωμα Ειδίκευσης, «Εφαρμογές της Βιολογίας στην Ιατρική», του Εθνικού Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς όλους όσους υπήρξαν συντελεστές στην πορεία μου αυτή.

Αρχικώς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κωνσταντίνο Μωραΐτη, Αναπληρωτή Καθηγητή Δικαστικής Ανθρωπολογίας του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας της Ιατρικής Σχολής Αθηνών, που μου έδωσε τη δυνατότητα να διεκπεραιώσω την παρούσα πτυχιακή εργασία υπό την επίβλεψή του, δείχνοντας εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου. Η συστηματική καθοδήγηση, οι ποιοτικές παρατηρήσεις και η αμέριστη υποστήριξή του, διαδραμάτισαν σπουδαίο ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Επίσης, θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην Χαρά Σπηλιοπούλου Καθηγήτρια Ιατροδικαστικής και στην Μαρία Στεφανίδου Καθηγήτρια Τοξικολογίας του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας της Ιατρικής Σχολής Αθηνών για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της πτυχιακής μου εργασίας.

Θερμά επίσης ευχαριστώ τους εξωτερικούς συνεργάτες τη Δρ. Ιωάννα Αναστοπούλου και τον Δρ. Αλέξανδρο Φώτιο Καρακωστή, που βρίσκονταν πλάι μου σε κάθε μου βήμα και που χωρίς την πολύτιμη συμβολή τους η εργασία αυτή, δε θα ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να σταθώ στα πρόσωπα που με στηρίζουν καθ' όλη τη διάρκεια των σχολικών και φοιτητικών μου χρόνων, τους γονείς μου Παναγιώτη και Βαΐα, τον αδερφό μου Μιλτιάδη, καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους για τη συμπαράσταση που μου δείχνουν και την αγάπη τους.

Μαντά Νικολέττα

Οκτώβριος 2019

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	σελ. 1
Abstract	σελ. 2
Ευχαριστίες	σελ. 3
2. Εισαγωγή.....	σελ. 5
2.1 Δικαστική ανθρωπολογία.....	σελ. 5
2.2 Μέθοδοι κατ' άτομο διαχωρισμού συμφυρμένων οστών	σελ. 7
2.3 Γεωμετρική μορφομετρία	σελ. 13
2.4 Μελετηθείσα ανατομική περιοχή.....	σελ. 22
3.Σκοπός.....	σελ. 27
4.Υλικό και μέθοδοι	σελ. 28
4.1 Εισαγωγικά στοιχεία	σελ. 28
4.2 Τρισδιάστατη σάρωση της οστικής περιοχής	σελ. 31
4.3 Επεξεργασία τρισδιάστατης επιφάνειας και τοποθέτηση τοποσήμων και ημιτοποσήμων στα σχηματισθέντα μοντέλα	σελ. 35
5.Αποτελέσματα	σελ. 42
6.Συζήτηση	σελ. 49
7.Βιβλιογραφία	σελ. 53

2. Εισαγωγή

2.1 Δικαστική ανθρωπολογία

“Bones are our last and best witness; they never lie and they never forget.”

Clyde Snow, Forensic Anthropologist

Η δικαστική ανθρωπολογία αποτελεί κλάδο της φυσικής ανθρωπολογίας, ο οποίος ασχολείται με ανθρωπολογικές τεχνικές μελέτης σκελετικού υλικού και πτωματικών υπολειμμάτων σε υποθέσεις δικαστικού ή ποινικού ενδιαφέροντος (Kerley and Ubelaker, 1978). Μαζί με την ιατροδικαστική, την οδοντιατροδικαστική, τη γενετική ιατροδικαστική, τη βλητική, τη δικαστική εντομολογία και τη δικαστική βοτανική, απαρτίζουν τις ιατροδικαστικές επιστήμες. Ως κλάδος συντελεί σημαντικά στην κατανόηση της ποικιλομορφίας του σύγχρονου ανθρώπινου είδους, με σκοπό την απάντηση σε καίρια ερωτήματα δικαστικής σημαντικότητας και στην εξέλιξη του εγκληματολογικού ερευνητικού κλάδου.

Ένας ανθρωπολόγος επιβάλλεται να έχει εκπαιδευτεί σε πεδία επιστημονικών κλάδων, όπως αυτό της φυσικής ανθρωπολογίας (ανατομία, εξέλιξη και συμπεριφορά πρωτεύοντων ανθρώπινων και μη), της ανθρώπινης οστεολογίας (μικροσκοπική και μακροσκοπική εξέταση του σκελετικού συστήματος) και της αρχαιολογίας (ανάλυση κουλτούρας υλικών και πολιτισμών) (Walsh- Haney, 2008). Με την κατάκτηση των γνώσεων αυτών, είναι εφικτή η εξέταση ευρημάτων σχετικά με την ταυτοποίηση, τον χρόνο που έχει παρέλθει από το θάνατο, την αξιολόγηση σκελετικών κακώσεων κ.ά.

Ο δικαστικός ανθρωπολόγος συμβάλλει στην περισυλλογή και εξέταση οστών σε τέσσερις κυρίως περιπτώσεις. Όταν ανευρίσκονται:

1. Τμήματα σορών
2. Ανθρώπινα υπολείμματα
3. Ασύντακτο σκελετικό υλικό
4. Σκελετικά υπολείμματα που έχουν αλλοιωθεί από τη δράση εξωτερικών παραγόντων (φωτιά, διαμελισμός, εκτεταμένες κακώσεις κ.λπ.)

Όσο πιο σκελετοποιημένο ή αλλοιωμένο από εξωτερικούς παράγοντες είναι ένα υλικό, τόσο πιο πιθανό είναι στην διερεύνησή του να εμπλακεί δικαστικός ανθρωπολόγος (Pickering and Bachman, 1997). Ο δικαστικός ανθρωπολόγος, κυρίως παρευρίσκεται στην τελική εργαστηριακή ανάλυση, αλλά συχνά μπορεί να συμμετέχει και στην επιτόπια έρευνα και περισυλλογή του υλικού, έτσι ώστε να συλλεχθούν όσο το δυνατόν περισσότερες πληροφορίες από το χώρο.

Ο κύριος σκοπός σε κάθε υπόθεση είναι η ταυτοποίηση και η διερεύνηση των συνθηκών θανάτου του ατόμου. Για να επιτευχθεί όμως ο στόχος αυτός, πρέπει να δοθεί απάντηση στα εννέα ερωτήματα της επιστήμης της δικαστικής ανθρωπολογίας (9 key questions):

- Πρόκειται για οστά ή για κάποιο οστεόμορφο υλικό;
- Πρόκειται για ανθρώπινα ή ζωικά οστά;
- Ποια οστά του ανθρώπινου σκελετού είναι παρόντα;
- Τα οστά προέρχονται από ένα ή περισσότερα άτομα;
- Ποια είναι η φυλετική καταγωγή, το φύλο, η ηλικία και το ανάστημα του ατόμου;
- Υπάρχουν στα οστά ιδιαίτεροι χαρακτήρες, που να συμβάλουν στην ταυτοποίησή του;
- Υπάρχουν σκελετικές κακώσεις στα οστά;
- Υπάρχουν μεταθανάτιες αλλοιώσεις στα οστά;
- Πόσος χρόνος παρήλθε από το θάνατο του ατόμου;

Όλα τα παραπάνω ερωτήματα είναι υψίστης σημασίας σε μια ανθρωπολογική διερεύνηση. Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία βασίζεται στο ζήτημα του συμφυρμού των οστών πλήθους ατόμων, δηλαδή δίνει απάντηση στο ερώτημα: υπάρχει πιθανότητα το σκελετικό υλικό να προέρχεται από περισσότερα του ενός άτομου; Οι έννοιες αυτές, καθώς και η σημαντικότητά τους, αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.2 Μέθοδοι κατ' άτομο διαχωρισμού συμφυρμένων οστών

Ο όρος «συμφυρμός» αναφέρεται στις δικαστικές υποθέσεις κατά τις οποίες ανευρίσκονται οστά που προέρχονται από δύο ή περισσότερα άτομα (Ubelaker, 2002).

Ο όρος χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τον Wilton Krogman στο βιβλίο του «*The Human Skeleton in Forensic Medicine*» (1962), αλλά αναλύεται ελάχιστα στο άρθρο του, αφού μέχρι τότε δεν αποτελούσε σημαντικό ζήτημα κατά την ανθρωπολογική διερεύνηση σκελετικού υλικού. Η επόμενη αναφορά πραγματοποιείται από τον T. Dale Stewart στο «*Essentials of Forensic Medicine*» (1979), ο οποίος επίσης θεωρεί τον συμφυρμό των οστών ως θέμα ελάσσονος σημασίας για έναν ανθρωπολόγο και αφιερώνει μόνο δύο σελίδες του βιβλίου του σε αυτόν. Συγκεκριμένα αναφέρει, πως «στις περισσότερες υποθέσεις, που χρήζουν ανθρωπολογικής διερεύνησης, τα οστά ανευρίσκονται σε μεμονωμένες ταφές». Επομένως, πέρα από λίγες σχετικές έρευνες (Baker and Newman, 1957; Kerley, 1978; Snow and Folk, 1965), ο συμφυρμός δεν ερευνάται, παρά πολύ αργότερα.

Η κατ' άτομο ταξινόμηση ενός σκελετικού συνόλου, όταν υπάρχει συμφυρμός είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση των βασικών βιολογικών γνωρισμάτων των ατόμων που το συνιστούν, όπως η φυλετική καταγωγή, το φύλο και η ηλικία τους. Παρ' όλα αυτά, δεν είναι μια εύκολη διαδικασία, αφού τα οστά μπορεί να είναι κατακερματισμένα, αλλοιωμένα από το εξωτερικό περιβάλλον ή να είναι πολυάριθμα και ακόμη και ένας ειδικός, όπως ο δικαστικός ανθρωπολόγος να αντιμετωπίζει δυσκολίες (Adams and Konigsberg, 2008; Alonso et. al, 2005; Rodriguez, 2005). Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο διαχωρισμός των οστών μπορεί να καθίσταται αδύνατος και τότε η ομαδοποίηση τους ανά ανατομική περιοχή κρίνεται αναγκαία (Keough, 2004).

Οι υποθέσεις συμφυρμού χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: μικρής και μεγάλης κλίμακας. Οι υποθέσεις μικρής κλίμακας αφορούν συμφυρμένα οστά λιγοστών ατόμων, ενώ οι υποθέσεις μεγάλης κλίμακας μεγάλο αριθμό συμφυρμένων οστών ή οστών που παρουσιάζουν έντονο κατακερματισμό (Byrd and Adams, 2003; Mundorff, 2008).

Ο συμφυρμός των οστών μπορεί να είναι ανθρωπογενής (Τύπος I) ή προκληθείς από φυσικές / μαζικές καταστροφές ή ταφονομικές αλλοιώσεις (Τύπος II). Ο τύπος I

μπορεί να προκληθεί από ανθρώπινα λάθη, όπως η εκσκαφή οστών από ανειδίκευτο προσωπικό, η τοποθέτησή τους σε κοινό σάκο, χωρίς να ληφθεί υπ' όψιν η πιθανότητα συμφυρμού (Mundorff, 2008) και η μετακίνηση οστών ομαδικών τάφων από την αρχική τοποθεσία ταφής σε μια νέα θέση (secondary inhumation sites), (Jessee and Skinner, 2005). Η διερεύνηση μιας υπόθεσης συμφυρμού τύπου II, από την άλλη, είναι μια πιο περίπλοκη διαδικασία. Σε μαζικές/ φυσικές καταστροφές, όπως είναι οι πυρκαγιές, οι πλημμύρες ή οι τρομοκρατικές επιθέσεις, τα οστά μπορεί να μη βρίσκονται σε άρθρωση μεταξύ τους, να είναι διασκορπισμένα, αλλοιωμένα από εξωτερικούς παράγοντες ή απογυμνωμένα από μαλακά μόρια (Lyman, 1994). Ακόμη, μπορεί θραύσματα οστών ενός ατόμου να ανευρεθούν με μαλακά μόρια διαφορετικού ατόμου (Rodriguez, 2005). Στην τελευταία περίπτωση, αν ληφθεί γενετικό υλικό αβίαστα, μπορεί να υπάρξει η λανθασμένη εντύπωση, ότι το οστό ανήκει στο άτομο από το οποίο προέρχονται και τα μαλακά μόρια. Επομένως, ανθρώπινα λάθη και μη εμπεριστατωμένες τεχνικές μελέτης, δυσχεραίνουν την ανθρωπολογική διερεύνηση (Sledzik and Kontanis 2005; Tuller et al. 2005). Για αυτούς τους λόγους είναι απαραίτητη η παρουσία ειδικών σε τέτοιες υποθέσεις.

Κατά την εξέταση μιας υπόθεσης που παρατηρείται συμφυρμός των οστών η εκτίμηση του αριθμού των ατόμων αποτελεί πρωταρχικό ζήτημα. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναλύσουμε δυο τεχνικές, που αφορούν στην εκτίμηση του αριθμού των ατόμων σε ένα δείγμα. Αυτές είναι ο Ελάχιστος Αριθμός Ατόμων (Minimum Number of Individuals, MNI) και ο Πιθανός Αριθμός Ατόμων (Most Likely Number of Individuals, MLNI).

Οι πρώτοι ερευνητές που εξέτασαν τον Ελάχιστο Αριθμό Ατόμων (ΕΑΑ) ήταν ο Stock (1929) και ο Howard (1930). Ο όρος αναφέρεται σε κάθε πιθανό άτομο ως ξεχωριστή μονάδα, δηλαδή εκτιμά τον αριθμό των ατόμων βασιζόμενος στο οστό με τη μεγαλύτερη συχνότητα στο δείγμα. Παρ' όλα αυτά, ο MNI δε δίνει απαραίτητα τον ακριβή αριθμό των ατόμων, αφού υπάρχει πιθανότητα από το δείγμα να λείπουν οστά, που είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό του αριθμού. Για παράδειγμα, αν το οστό με τη μεγαλύτερη αφθονία στο δείγμα είναι ένα μηριαίο, υπάρχει η πιθανότητα και πάλι να μην ανευρίσκονται όλα τα μηριαία, όλων των ατόμων στο δείγμα. Άρα πολύ συχνά ο ΕΑΑ παρουσιάζει έναν υποεκτιμημένο αριθμό ατόμων (Fieller and Turner, 1982). Για αυτό το λόγο εισήχθη από τον Krantz (1968) ο Πιθανός Αριθμός Ατόμων (ΠΑΑ), ο οποίος παρέχει πληροφορίες για τον πραγματικό

αριθμό των ατόμων στο δείγμα. Η εκτίμηση του ΠΑΑ υποθέτει πως η έλλειψη οστών στο δείγμα είναι τυχαία και συνεπώς μπορεί να γίνει υπολογισμός της (Adams and Konigsberg, 2004; Nikita and Lahr, 2011).

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα για τον κατ' άτομο διαχωρισμό συμφυρμένων οστών είναι κυρίως μακροσκοπικές. Βασίζονται σε ορισμένα κριτήρια, όπως η παρατήρηση της πιθανής ύπαρξης δύο όμοιων οστών στο δείγμα, η εμφάνιση των οστών (ταφονομικά χαρακτηριστικά), η εκτίμηση των βιολογικών χαρακτηριστικών των ατόμων, καθώς και η επιτυχής ή μη άρθρωση μεταξύ τους. Επιπλέον, πραγματοποιούνται και οστεομετρικές μέθοδοι, όπου μελετώνται τα σχετικά μεγέθη των οστών σε σχέση με ένα βασικό δείγμα (Byrd and Adams, 2003; Chew, 2014; Garrido-Varas, 2013) ή των αρθρικών επιφανειών δύο οστών και η επιβεβαίωση ή μη της άρθρωσης μεταξύ τους (Anastopoulou et. al., 2018). Σε ορισμένες περιπτώσεις μαζικών καταστροφών γίνεται χρήση ακτίνων X και φωτογραφιών στο πεδίο, καθώς και λήψη DNA από τα ανευρεθέντα οστά (Mundorff, 2011; Mundorff et. al. 2008; Perrone et. al. 2014). Τέλος, η γεωμετρική μορφομετρία φαίνεται να αποτελεί έναν σημαντικό ανερχόμενο κλάδο αναλύσεων, ο οποίος αν και δε χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως, παρέχει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα (Garrido-Varas et. al. 2014).

Ξεκινώντας με τις μακροσκοπικές τεχνικές, θα αναφερθούμε αρχικά στην παρατήρηση όμοιων οστών σε ένα δείγμα. Ο ανθρώπινος σκελετός έχει συγκεκριμένο αριθμό οστών, ο οποίος ξεκινά από 300 οστά κατά τη γέννηση ενός ατόμου και ελαττώνεται μέχρι την ενήλικη ζωή λόγω συνοστεώσης αυτών στα 206. Πολλές φορές όμως, δεν εντοπίζεται ολόκληρος ο σκελετός σε μια υπόθεση και συνεπώς, δεν είναι δυνατή η εκτίμηση του τυχόν συμφυρμού, απλά υπολογίζοντας τον αριθμό των οστών στο δείγμα. Η παρατήρηση δύο όμοιων μακρών οστών σε ένα δείγμα δεν απαιτεί ιδιαίτερη γνώση ανθρώπινης οστεολογίας, όμως η αναγνώριση της ύπαρξης ενός επιπρόσθετου μικρότερου οστού, όπως ένας σπόνδυλος, είναι σαφώς δυσκολότερη (Kleringer, 2006). Τέλος, ακόμα πιο δύσκολη ή και αδύνατη είναι η αναγνώριση του συμφυρμού σε δείγμα κατακερατισμένων οστών. Μόνο ένας δικαστικός ανθρωπολόγος θα μπορούσε να αναγνωρίσει ότι τρία θραύσματα οστού ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικό άτομο (Pickering and Bachman, 1997).

Όσον αφορά στην εμφάνιση του οστού μπορεί να γίνει σύγκριση είτε του μεγέθους και της συμμετρίας του είτε των ταφονομικών αλλοιώσεων που μπορεί να

φέρει. Αρχικά, το ανθρώπινο σώμα χαρακτηρίζεται από αμφίπλευρη συμμετρία και επομένως, ο ανθρώπινος σκελετός παρομοίως. Εάν κάποιο οστό στην αριστερή πλευρά του σώματος εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα είναι πολύ πιθανό και το αντίστοιχο οστό της δεξιάς πλευράς να την εμφανίζει και αυτό. Επιπροσθέτως, λόγω της ανθρώπινης συμμετρίας και των αναλογιών του ανθρώπινου σώματος το άνω τμήμα του σώματος έχει αναλογικά το ίδιο μέγεθος με το κάτω. Για παράδειγμα, ένα μεγάλο και εύρωστο μηριαίο αναμένεται να προέρχεται από έναν εύρωστο σκελετό εν γένει. Η κοινή χροιά, η υφή και το βάρος δύο οστών μπορεί να υποδηλώνουν την κοινή προέλευσή τους, όμως όχι πάντοτε. Δύο οστά από το ίδιο άτομο μπορεί να έχουν διαφορετική ταφονομία εξαιτίας διάφορων εξωγενών παραγόντων, όπως είναι η λεύκανση από τον ήλιο ή ο διασκορπισμός τους σε απόσταση από το υπόλοιπο σώμα λόγω βοράς σαρκοφάγων ζώων. Έρευνα σχετικά με τη δραστηριότητα σαρκοφάγων ζώων διενεργήθηκε από τον Tuller και τους συνεργάτες του (Tuller et. al., 2008), όπου σύμφωνα με αυτή, τα μη αρθρωμένα οστά που έχουν διασκορπισθεί από σαρκοφάγα ζώα θα βρίσκονται πιο κοντά στο σώμα, από το οποίο προέρχονται. Αυτή η τεχνική είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις που δεν έχει διαταραχθεί το περιβάλλον ανθρωπογενώς.

Επιπλέον, σε μια υπόθεση είναι πιθανό να μην ανευρίσκονται οστά που είναι όμοια μεταξύ τους ή η εμφάνισή τους να είναι κοινή σε όλο το υλικό. Παρ' όλα αυτά ένας δικαστικός ανθρωπολόγος μπορεί να αποφανθεί πως στο υλικό βρίσκονται περισσότερα του ενός άτομα. Αυτό μπορεί να το υποστηρίξει, εάν μελετήσει τα βιολογικά χαρακτηριστικά των ατόμων από τα οποία προέρχονται τα οστά και παρατηρήσει πως στο υλικό υπάρχουν άτομα και των δυο φύλων, διαφόρων ηλικιών, ποικίλων αναστημάτων ή διαφορετικής φυλετικής καταγωγής. Η δυσκολία επέρχεται, όταν προσπαθεί ο ειδικός να ταξινομήσει συμφυρμένα οστά, που προέρχονται από άτομα ίδιου φύλου και φυλετικής καταγωγής και παρόμοιου αναστήματος και ηλικίας (Snow and Folk, 1970).

Τέλος, από τις πιο αξιόπιστες μακροσκοπικές μεθόδους για το διαχωρισμό συμφυρμένων οστών είναι αυτή της μελέτης της άρθρωσης δύο οστών (Buikstra et. al, 1984). Οι πιο συχνές αρθρώσεις που εξετάζονται είναι αυτή της πυέλου με το ιερό οστό ή των σπονδύλων μεταξύ τους (Dwight, 1878; Snow, 1948). Παρ' όλα αυτά, δεν είναι όλες οι αρθρώσεις το ίδιο αξιόπιστες. Για παράδειγμα, η άρθρωση της κάτω γνάθου με το υπόλοιπο κρανίο είναι πολύ αξιόπιστη, ενώ της ωμοπλάτης με το

βραχιόνιο ή την κλείδα όχι (Adams and Byrd, 2006). Η αξιοπιστία μιας άρθρωσης εξαρτάται από το πόσο ειδικά αρθρώνεται ένα οστό με ένα άλλο, εφόσον σε μη αξιόπιστες αρθρώσεις μπορούν να αρθρωθούν οστά διαφορετικών ατόμων με την ίδια ευκολία. Επομένως, για να αποδεχθούμε ότι μια άρθρωση είναι αξιόπιστη, πρέπει να ακολουθεί τον κανόνα ευκολίας της Mayo (2003): «Έχουμε μια καλή ένδειξη πως είμαστε σωστοί για μια υπόθεση, όταν έχουμε απορρίψει όλους τους τρόπους να είμαστε λανθασμένοι για αυτή την υπόθεση». Η πιθανότητα δύο οστά μιας ειδικής άρθρωσης από το ίδιο άτομο να μην αρθρώνονται εύκολα, είναι μηδαμινή. Συμπερασματικά, οι αξιόπιστες αρθρώσεις ακολουθούν τον κανόνα ειδικότητας της Mayo. Οι αρθρώσεις ανάλογα με την κατηγορία αξιοπιστίας τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Υψηλή	Μέση	Χαμηλή
Κρανίο - κάτω γνάθος	Κρανίο- A1	Πλευρές - Θωρακικοί σπόνδυλοι
Σπόνδυλοι Ο5 - Ιερό οστό	Κνήμη - Περόνη Μηριαίο οστό - Κνήμη	Στέρνο - Κλείδα Βραχιόνιο οστό - Ωμοπλάτη
Πύελος - Ιερό οστό	Πύελος - Μηριαίο οστό	
Βραχιόνιο οστό - Ωλένη	Μηριαίο οστό - Επιγονατίδα	
Βραχιόνιο οστό - Κερκίδα	Σκαφοειδές οστό - Κερκίδα	
Κνήμη - Αστράγαλος	Καρπιαία οστά	
Μετακάρπια	Μετακάρπια και καρπιαία	
Μετατάρσια		
Ταρσιαία οστά		
Μετατάρσια - ταρσιαία		

Πίνακας 1. Αρθρώσεις μεταξύ οστών κατηγοριοποιημένες ανάλογα με την αξιοπιστία τους (Adams and Byrd, 2006)

Συνολικά όμως, όλες οι παραπάνω τεχνικές, καθώς και η εκτίμηση του συμφυρμού μέσω αυτών περνάει υπό το πρίσμα της υποκειμενικότητας. Παρ' όλη την αναγκαιότητα χρήσης τέτοιων μεθόδων στο πεδίο, πρέπει να διενεργούνται και άλλες συμπληρωματικές τεχνικές για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων του ερευνητή, εξαιτίας του μεγάλου περιθωρίου για πιθανότητα ανθρώπινου σφάλματος.

Οι οστεομετρικές αναλύσεις, από την άλλη, είναι μια καλή λύση, όταν ο ερευνητής βρίσκεται στο πεδίο. Είναι άμεσες, γρήγορες και σαφώς πιο αξιόπιστες από τις μακροσκοπικές, αφού επιδέχονται πολύ μικρότερο περιθώριο λάθους (Garrido-Varas, 2013). Παρ' όλα αυτά οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζουν ορισμένα

μειονεκτήματα. Ένα πολύ βασικό μειονέκτημα είναι πως, όταν εξετάζονται οστά παρόμοιου μεγέθους, οι αναλύσεις φαίνεται να εμφανίζουν λανθασμένα αποτελέσματα (Byrd, 2008). Επιπλέον, αν το υλικό δεν έχει διατηρηθεί σε καλή κατάσταση, δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί οστεομετρική εξέταση (Byrd and Adams, 2003). Τέλος, αν και για συγκεκριμένα οστά το φύλο φαίνεται να μην επηρεάζει την ανάλυση (Anastopoulou et. al., 2017), το ζήτημα επιβάλλεται να μελετηθεί περαιτέρω, καθώς έχει ερευνηθεί σε πολύ μικρό βαθμό η αντιστοιχία του βιολογικού προφίλ του ατόμου με τις οστεομετρικές μελέτες.

Οι μακροσκοπικές ή οστεομετρικές μέθοδοι, δίνουν σε μεγάλο βαθμό τα ορθά αποτελέσματα και ένας ερευνητής σε μια υπόθεση συμφυρμού οστών μπορεί με αυτές τις αναλύσεις να διαμοιράσει τα οστά στους κατάλληλους σκελετούς. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα φαίνεται να επηρεάζονται άμεσα από την υποκειμενικότητα του ερευνητή (στις μακροσκοπικές αναλύσεις περισσότερο) και έτσι επιτρέπεται ένα περιθώριο σφάλματος λόγω του ανθρώπινου παράγοντα. Τα μειονεκτήματα αυτά τα υπερνικά η γεωμετρική μορφομετρία (Bookstein, 1991). Διαφέρει πολύ από τις κλασικές μακροσκοπικές μεθόδους, που χρησιμοποιούνται κατά τη διερεύνηση μιας υπόθεσης συμφυρμού οστών. Έρχεται πιο κοντά στις οστεομετρικές αναλύσεις, αφού χρησιμοποιώντας προγράμματα στον υπολογιστή μελετάται η ανάλυση του σχήματος (μορφής) των οστών, καθώς και η συμμεταβολή της με άλλες μεταβλητές (παράγοντες) (Bookstein, 1991).

Σε αντίθεση με την κλασική μακροσκοπική ή οστεομετρική ανάλυση, η γεωμετρική μορφομετρία αποτελεί μια χρήσιμη μέθοδο, καθώς δεν εξαρτάται από την υποκειμενικότητα ή την εμπειρία του ερευνητή (Kerley, 1978). Ως ανάλυση έχει καλή επαναληψιμότητα (Garrido- Varas et. al. 2014) και παράγει αποτελέσματα με λεπτομέρεια και ακρίβεια. Επιπλέον, στις μετρήσεις δεν επιδρούν παράγοντες όπως το μέγεθος του οστού, οι διακυμάνσεις του οποίου ήταν σημαντικό μειονέκτημα σε συμβατικές μεθόδους οστεομετρίας ή μορφομετρίας.

Συμπερασματικά, με τη γεωμετρική μορφομετρία μελετώνται οι επιφάνειες οστών και επομένως μπορούν να αξιολογηθούν πολλά χαρακτηριστικά του οστού, όπως οι ιδιαίτεροι χαρακτήρες τους, οι ενθέσεις των μυών πάνω στο οστό (Karakostis et.al., 2018), οι αρθρικές επιφάνειές τους (Anastopoulou et. al., 2017; Garrido-Varas et. al. 2014) κ.ά. Στην παρούσα εργασία θα εφαρμόσουμε την τεχνική αυτή σε σκελετικό υλικό υποθέσεων συμφυρμού οστών δικαστικού ενδιαφέροντος.

2.3 Γεωμετρική μορφομετρία

Η μορφομετρία αποτελείται από τις ελληνικές λέξεις μορφή και μέτρον. Στην επιστήμη της μορφομετρίας, ο όρος μορφή αφορά στην αλληλένδετη σύνδεση του μεγέθους και του σχήματος, ενώ ο όρος σχήμα χρησιμοποιείται για να τονίσει πως οι γεωμετρικές παράμετροι του σχήματος δε συνδέονται με το μέγεθος, τη θέση και τον προσανατολισμό του αντικειμένου προς μελέτη (Mitteroecker and Gunz, 2009). Για να μελετήσουμε τη μορφή ενός αντικειμένου, σημαντικό είναι να κατανοήσουμε το σχήμα του. Στους κλάδους της μορφομετρίας, που θα αναφερθούν παρακάτω, πολύ συχνά μελετάται η μορφή ενός αντικειμένου μέσω της παραμέτρου του σχήματος, δίνοντας μια ακριβή ανάλυση της γεωμετρίας του.

Η μορφομετρία είναι μια μέθοδος που συνδυάζει τη χρήση στατιστικών τεχνικών και αναλύσεων με την άμεση οπτικοποίηση της βιολογικής μορφής ενός αντικειμένου, δίνοντας απάντηση σε καίρια βιολογικά ερωτήματα (Rohlf and Slice, 1990). Χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα βιολογικών αναλύσεων από την παλαιοντολογία μέχρι τη γενετική, επιτρέποντας στον ερευνητή να μη βασίζεται σε περιγραφές και υποκειμενικές αναφορές άλλων ερευνητών, αλλά να ανάγει συμπεράσματα σύμφωνα με εμπειριστωμένα ποσοτικά δεδομένα. Συνεπώς και για τη δικαστική ανθρωπολογία αποτελεί ένα υπέρμετρα χρήσιμο εργαλείο και μπορεί να προσφέρει ακριβείς πληροφορίες σε υποθέσεις οστικού συμφυρμού.

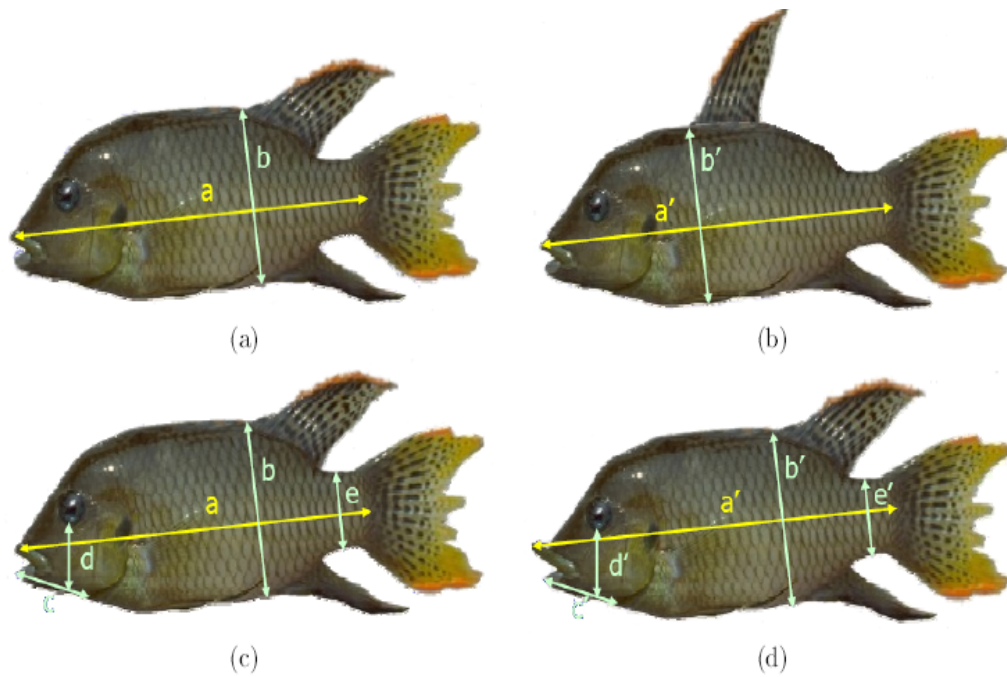
Η μορφομετρία κατηγοριοποιείται σε δύο κλάδους: την παραδοσιακή, κλασική ή πολυπαραγοντική μορφομετρία και τη γεωμετρική μορφομετρία. Η κλασική μορφομετρία ήταν η εφαρμογή πολυπαραγοντικής στατιστικής ανάλυσης σε παράγοντες ύψους, μήκους, πλάτους κ.ά. Τη δεκαετία του '80 υπήρξε μια ανατροπή στα μέχρι τότε δεδομένα και αναπτύχθηκε μια διαφορετική προσέγγιση, που έφερε την «επανάσταση στη μορφομετρία» (Rohlf and Marcus, 1993), αυτή της γεωμετρικής μορφομετρίας. Με την τεχνική αυτή λαμβάνονται πληροφορίες για τη γεωμετρική δομή ενός αντικειμένου, οι οποίες διατηρούνται καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης (Adams et al. 2004). Η αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς των προσωπικών υπολογιστών και των στατιστικών προγραμμάτων οδήγησε σε μια νέα εποχή στη μορφομετρία (Mitteroecker and Gunz, 2009). Για περισσότερες ιστορικές αναφορές προτείνονται οι μελέτες των Bookstein (1998), Rohlf and Marcus (1993), Adams et al. (2004) και Slice (2005b). Οι δυο κλάδοι της μορφομετρίας περιγράφονται παρακάτω.

Παραδοσιακή - Πολυπαραγοντική μορφομετρία

Τις δεκαετίες του 1960 και 1970 οι επιστήμονες χρησιμοποίησαν την τεχνική της παραδοσιακής μορφομετρίας με σκοπό την κατανόηση της ποικιλομορφίας του σχήματος. Συχνότερα χρησιμοποιούνταν γραμμικές μετρήσεις του αντικειμένου, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις αναλογίες και γωνίες. Αυτές οι παράμετροι εξετάζονται χωριστά (μονομερής ανάλυση), αλλά και ως επιμέρους σύνολα (διμερής ανάλυση) (Webster and Sheets, 2010).

Σημαντικά μειονεκτήματα αυτής της ανάλυσης αποτελούν το μέγεθος του αντικειμένου, η ομολογία των σημείων αναφοράς, η περιγραφική μελέτη του σχήματος, καθώς και η διαγραμματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Adams et. al., 2004).

Μια γραμμική μέτρηση διαμήκως ενός αντικειμένου, επηρεάζεται πρωτίστως από το μέγεθός του. Όσο μεγαλύτερο είναι το αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η μέτρηση. Επομένως, δεν είναι ορθή η σύγκριση μεταξύ δύο αντικειμένων με διαφορετικά μεγέθη, εφόσον οι μετρήσεις δε μπορούν να κριθούν αξιόπιστες. Τα σημεία από τα οποία θα λάβουμε μετρήσεις, δε μπορούν να υποστούν καμία στατιστική επεξεργασία, αν δεν απομονωθούν από παράγοντες, όπως είναι το μέγεθος, η θέση του αντικειμένου, ο προσανατολισμός του κ.ά. (Mitteroecker and Gunz, 2009). Πολλές μέθοδοι έχουν προταθεί για τη «διόρθωση» του παράγοντα του μεγέθους, αλλά υπάρχει μικρή συμφωνία μεταξύ ερευνητών, κυρίως λόγω της απόδοσης ελαφρώς διαφορετικών αποτελεσμάτων από την κάθε τεχνική.



Εικόνα 1. Οι παράγοντες του μεγέθους μπορεί να παρέχουν ανεπαρκή δεδομένα του σχήματος, όπως απεικονίζεται στα (a) και (b). $a=a'$ και $b=b'$. Επομένως, κάποιος θα μπορούσε να συμπεράνει, πως τα σχήματα είναι πανομοιότυπα. Παρατηρώντας τα (c) και (d), υπολογίζουμε πως οι αναλογίες των $b/a \neq b'/a'$, $c/a \neq c'/a'$, $d/a \neq d'/a'$ και $e/a \neq e'/a'$, παρ' όλο που $b=b'$, $c=c'$, $d=d'$ και $e=e'$. Πηγή: Adriaens, 2005.

Δύο σημεία στην ίδια επιφάνεια δυο αντικείμενων είναι πιθανό να εμφανίζουν ομολογία μεταξύ τους. Γενικώς, αν δύο σημεία είναι ομόλογα μεταξύ τους, τότε η τεχνική που εφαρμόζουμε μπορεί να έχει την κατάλληλη επαναληψιμότητα. Σε γραμμικές αποστάσεις, ο έλεγχος της ομολογίας κρίνεται πιο δύσκολος και ίσως βασίζεται ως ένα βαθμό στην υποκειμενικότητα του ερευνητή. Ακόμη, πολλές αποστάσεις, όπως για παράδειγμα το μέγιστο πλάτος, δεν καθορίζονται απαραίτητα από ομόλογα σημεία.

Ένα ακόμα πρόβλημα της παραδοσιακής μορφομετρίας, είναι η απώλεια δεδομένων σχήματος και συνεπώς η μη επαρκής περιγραφή της γεωμετρίας τους. Η ίδια απόσταση μπορεί να προκύψει ακόμη και από δυο εντελώς διαφορετικά σχήματα, εάν δε δίνονται επαρκή δεδομένα για την ακριβή θέση από την οποία ελήφθησαν οι μετρήσεις. Για παράδειγμα, αν λάβουμε τις μετρήσεις του μέγιστου πλάτους και μήκους από ένα αντικείμενο οβάλ σχήματος και ένα σχήματος δακρύου,

θα μας δώσουν το ίδιο αποτέλεσμα, παρ' όλο που είναι εν γένει διαφορετικά (Adams et. al., 2004).

Τέλος, δεν είναι δυνατή η γραφική αναπαράσταση του σχήματος του αντικειμένου από το οποίο ελήφθησαν οι μετρήσεις με τη μέθοδο της παραδοσιακής μορφομετρίας από τα δεδομένα των γραμμικών αποστάσεων. Αυτό συμβαίνει, γιατί οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών δε διατηρούνται κατά τη μέθοδο ή με πιο απλά λόγια, το σύνολο των γραμμικών αποστάσεων δεν είναι ικανό να αποδώσει με ακρίβεια τη γεωμετρία του αρχικού σχήματος.

Γεωμετρική μορφομετρία

Θα μπορούσε κανείς να αναφερθεί στον D' Arcy Thompson ως πατέρα της γεωμετρικής μορφομετρίας, αφού ήταν ο πρώτος που το 1917 στο έργο του "*On Growth and Form*" εξέφρασε τη θεωρία της μεταμόρφωσης (D' Arcy Thompson, 1917). Παρατήρησε λοιπόν, πως αλλάζοντας τη γεωμετρία ενός ζώντος οργανισμού μαθηματικά (ασχολήθηκε κυρίως με καβούρια και άλλα είδη του τάξου των βραχύουρων και φυτά), υφίστατο λογική σύνδεση μεταξύ τους, πράγμα που απέδειξε, πως η βιολογική γεωμετρία δε δημιουργήθηκε τυχαία, αλλά συνδέεται με μαθηματική λογική. Επομένως, παρατηρώντας τη γεωμετρία ενός αντικειμένου ή οργανισμού μας δίνεται η ευκαιρία να ανακαλύψουμε νέα βιολογικά μονοπάτια, χωρίς απαραίτητα να εξετάσουμε παραμέτρους μεγέθους, θέσης και προσανατολισμού.

Στη γεωμετρική μορφομετρία έχουμε δύο επιμέρους κατηγορίες: τη μέθοδο περιγράμματος (outline method) και τη μέθοδο τοποσήμων (landmark method).

Η μέθοδος περιγράμματος υπήρξε πρωτύτερα της μεθόδου τοποσήμων. Με αυτή την τεχνική αρχικά ψηφιοποιούνται σημεία κατά μήκος του περιγράμματος του αντικειμένου προς μελέτη (χωρίς να είναι σταθερά σημεία του περιγράμματος) (Webster and Sheets, 2010) και διενεργείται στατιστική ανάλυση, όπως η ανάλυση Fourier. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιεί τη σύγκριση καμπυλών, αφού οι συντελεστές αυτής μπορούν να αντικατασταθούν με παράγοντες σχήματος στην πολυπαραγοντική ανάλυση. Επομένως, τα σημεία στον πολυπαραγοντικό χώρο που προκύπτει από την ανάλυση είναι δυνατό να ερμηνευθούν στο φυσικό χώρο του αντικειμένου που μελετάται και να απεικονιστούν ως περίγραμμα (Adams et. al., 2004). Το βασικό μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως ανάλογα με τη

χρησιμοποιούμενη στατιστική ανάλυση, αποδίδεται και διαφορετικό αποτέλεσμα (Rohlf, 1986).

Η μέθοδος της γεωμετρικής μορφομετρίας τοποσήμων αποτελεί την πιο σύγχρονη και αξιόπιστη μέθοδο, όσον αφορά στην περιγραφή γεωμετρικών σχημάτων. Χρησιμοποιεί τα τοπόσημα για να περιγράψει με ακρίβεια το γεωμετρικό σχήμα. Ο Bookstein (1991) ορίζει τα τοπόσημα ως «σημεία με όνομα», όπως η άκρη της κάτω γνάθου κλπ. Το τοπόσημο είναι ένα δυσδιάστατο ή τρισδιάστατο βιολογικά καθορισμένο σημείο, που υφίσταται ανάμεσα στα είδη ενός τάξου (Dryden and Mardia, 1998). Το τοπόσημο πρέπει να είναι ομόλογο σημείο όλων των οργανισμών του μελετούμενου είδους. Εάν δε συμβαίνει αυτό, τότε είναι πιθανό να μην είναι δυνατή η χρήση του. Διακρίνονται σε τρεις τύπους τοποσήμων: τα ανατομικά (βιολογικά), που τοποθετούνται σε βιολογικά χαρακτηριστικά σημεία ενός ανατομικού σχηματισμού (π.χ. προεξοχές οστού που έχουν δημιουργηθεί λόγω μιας λειτουργίας που εκτελεί το αντικείμενο), τα μαθηματικά, που τοποθετούνται σε σημεία, όπως η μεσότητα μιας επιφάνειας και τα ψευδοτοπόσημα, που είναι σημεία μεταξύ δύο βιολογικών ή μαθηματικών τοποσήμων (π.χ. τοποθετημένα τοπόσημα ισομερώς σε μια επιφάνεια) (Dryden and Mardia, 1998). Επιπλέον, υπάρχουν και τα ημιτοπόσημα που τοποθετούνται σε καμπύλες και επιφάνειες, όπου δεν υπάρχει ομόλογο σημείο ή γενικά κάποιο ευδιάκριτο χαρακτηριστικό. Δυσδιάστατο τοπόσημο μπορεί να προκύψει από τη λήψη μετρήσεων μέσω φωτογραφιών σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ τα τρισδιάστατα μέσω μηχανημάτων scanner, όπως το Artec Space Spider Laser Scanner (Mitteroecker and Gunz, 2009).

Πολλές φορές η μέθοδος της γεωμετρικής μορφομετρίας τοποσήμων είναι αδύνατο να συλλάβει το ακριβές σχήμα μιας βιολογικής δομής. Επομένως, μπορεί να συνδυαστεί με τη μέθοδο γεωμετρικής μορφομετρίας περιγράμματος και να δώσουν μαζί τις κατάλληλες πληροφορίες σχήματος.

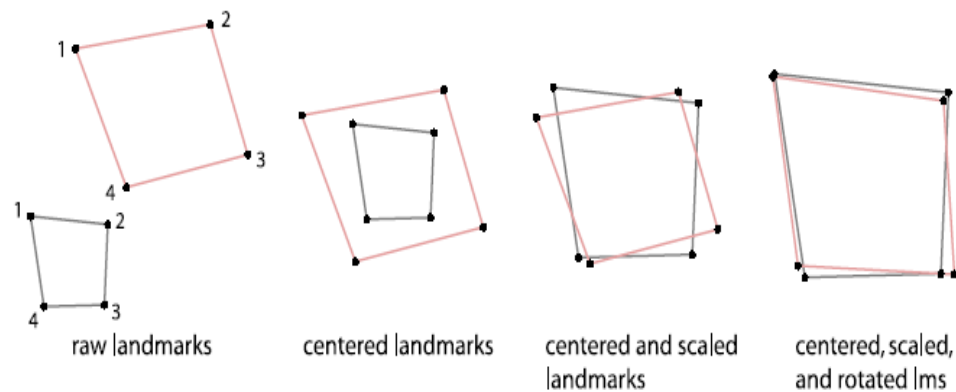
Η άμεση ανάλυση των τοποσήμων αυτών αποδεικνύεται άκαρπη, αφού τα προβλήματα της μεθόδου γεωμετρικής μορφομετρίας περιγράμματος παραμένουν. Συνεπώς, πρέπει να αφαιρεθεί από το προσκήνιο η ποικιλία των παραγόντων εκτός του σχήματος (non- shape variables). Όταν αφαιρεθούν αυτές, οι μεταβλητές μετατρέπονται σε μεταβλητές σχήματος και τα μειονεκτήματα της μεθόδου γεωμετρικής μορφομετρίας περιγράμματος δεν υφίστανται πλέον.

Ο παράγοντας του σχήματος περιέχει όλες τις απαραίτητες γεωμετρικές πληροφορίες, που παραμένουν, όταν οι παράγοντες μεγέθους, θέσης και προσανατολισμού αφαιρεθούν από ένα αντικείμενο (Kendall, 1977). Για να παραμείνει μόνο αυτός ο παράγοντας εφαρμόζονται κάποιες μέθοδοι, που ονομάζονται μέθοδοι υπέρθεσης (superimposition methods). Κάποιες από αυτές είναι η καταγραφή δύο σημείων (συντεταγμένες Bookstein), η τεχνική της λεπτής μεμβράνης τμηματικών πολωνύμων (thin-plate spline), με την οποία ασχολήθηκε ο Thompson και η γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη (general Procrustes analysis, GPA), η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Η γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη, συχνά γνωστή και ως υπέρθεση Προκρούστη, είναι μια τεχνική που χρησιμοποιεί τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων με σκοπό την αντιστοιχία των τοποσήμων των γεωμετρικών σχημάτων, έτσι ώστε η διαφορά μεταξύ τους να είναι ελάχιστη (Dryden and Mardia, 1998; Rohlf and Slice, 1990). Η τεχνική πραγματοποιείται σε τρία βήματα:

1. Αντιστοίχιση όλων των τοποσήμων μεταξύ των σχημάτων, έτσι ώστε όλα τα σχήματα να έχουν κοινό κεντροειδές. Το κεντροειδές είναι κυριολεκτικά το κέντρο των σχημάτων. Οι συντεταγμένες του κεντροειδούς είναι οι μέσες συντεταγμένες των k τοποσήμων στη διαμόρφωση (Webster and Sheets, 2010). Σε αυτό το σημείο αφαιρείται ο παράγοντας της θέσης και όλα τα σχήματα έχουν κοινή θέση, για να πραγματοποιηθεί η σύγκριση.
2. Υπολογισμός όλων των διαμορφώσεων των τοποσήμων, με σκοπό να αποκτήσουν όλα κοινό μέγεθος κεντροειδούς. Το μέγεθος κεντροειδούς είναι η τετραγωνική ρίζα του άθροισματος όλων των τετραγωνικών ριζών των αποστάσεων των τοποσήμων από το κεντροειδές (Bookstein, 1991). Το μέγεθος κεντροειδούς είναι μια μορφή μέτρησης του μεγέθους όλων των διαμορφώσεων των τοποσήμων. Σε αυτό το σημείο αφαιρείται ο παράγοντας του μεγέθους και όλα τα σχήματα έχουν κοινή θέση και μέγεθος.
3. Αν πραγματοποιείται σύγκριση δύο σχημάτων γίνεται περιστροφή του ενός γύρω από το κεντροειδές του μέχρι το άθροισμα των Ευκλείδειων αποστάσεων των τοποσήμων να είναι το ελάχιστο. Αν αναφερόμαστε σε περισσότερα των δυο σχήματα, τότε δημιουργούνται ανάλογοι αλγόριθμοι. Σε αυτό το σημείο αφαιρείται και ο παράγοντας του προσανατολισμού και όλα τα σχήματα έχουν κοινή θέση, μέγεθος και προσανατολισμό.

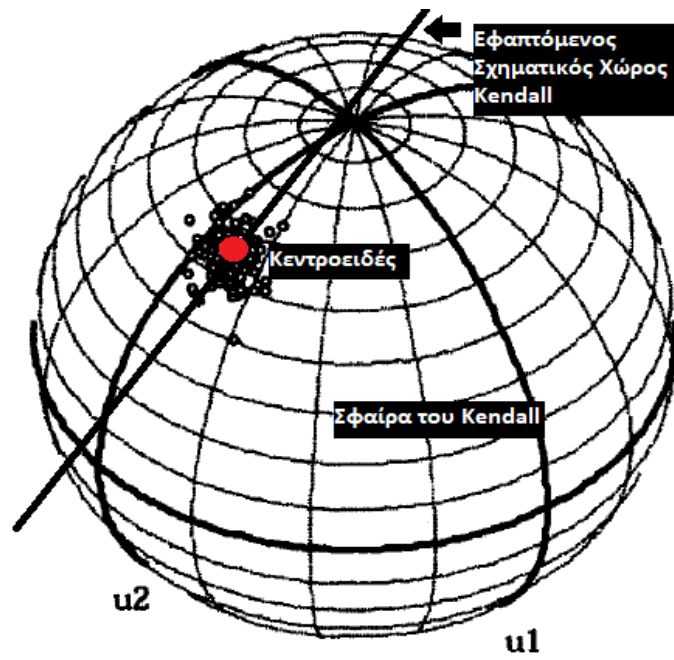
Οι συντεταγμένες των τοποσήμων που έχουν ίδια θέση, μέγεθος και προσανατολισμό καλούνται συντεταγμένες σχήματος Προκρούστη (Procrustes shape coordinates) και οι τυχόν διαφορές που ανιχνεύονται από το αρχικό σχήμα, αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως υπόλοιπα Προκρούστη (Procrustes residuals) (Mitteroecker and Gunz, 2009). Επιπλέον, η ελάχιστη τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των διαφορών των αποστάσεων μεταξύ των θέσεων των ομόλογων τοποσήμων, σε δύο σχήματα είναι η απόσταση Προκρούστη (Procrustes distance) (Adams et. al., 2004). Τέλος, το μέγεθος ενός σχήματος πλέον δε μπορεί να υπολογιστεί άμεσα, αλλά υπάρχει η έμμεση δυνατότητα μέσω σύγκρισης των αναλογιών των μεγεθών ανάμεσα στα σχήματα (Slice, 2007).



Εικόνα 2. Τα τρία βήματα της υπέρθεσης Προκρούστη. Αντιστοίχιση με κοινό κεντροειδές, απόκτηση κοινού μεγέθους κεντροειδούς και περιστροφή για ελάχιστη διαφορά ομόλογων τοποσήμων (Mitteroecker and Slice, 2009).

Μετά την εφαρμογή της οποιασδήποτε μεθόδου υπέρθεσης οι γεωμετρικές διαμορφώσεις βρίσκονται σε έναν πολυδιάστατο, μη-ευκλείδειο χώρο-, γνωστό ως σχηματικός χώρος Kendall (Kendall's shape space), προς τιμή του Σκωτσέζου μαθηματικού Kendall που τον ανακάλυψε (Kendall, 1984). Όταν αναφερόμαστε σε ένα δυσδιάστατο σχήμα αυτός ο χώρος είναι μια σφαίρα, πάνω στην οποία τοποθετούνται τα τοπόσημα-σημεία του σχήματος προς μελέτη. Για περισσότερα από τρία τοπόσημα ο σχηματικός χώρος Kendall αποτελείται από μια πιο περίπλοκη διαμόρφωση.

Επειδή οι περισσότερες στατιστικές μέθοδοι και προγράμματα λειτουργούν γύρω από μια ευκλείδεια αριθμητική προσέγγιση, είναι επιθυμητή η «ανάκλαση» των μαθηματικών μεταβλητών από τον σχηματικό χώρο Kendall σε έναν ευκλείδειο σχηματικό χώρο. Εφόσον οι βιολογικές δομές δεν έχουν σημαντικές διαφορές ακόμη και ανάμεσα σε διαφορετικά τάξα, είναι εφικτός ο αντικατοπτρισμός αυτός σε έναν ευκλείδειο σχηματικό χώρο, όπου ένα σημείο του μελετούμενου σχήματος είναι εφαπτόμενο πάνω στην σφαίρα του Kendall. Ο χώρος αυτός καλείται εφαπτόμενος σχηματικός χώρος Kendall (Kendall's tangent shape space) (Bookstein, 1991). Τα σημεία του χώρου αυτού ομοιάζουν των σημείων στη σφαίρα του Kendall, έτσι ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν σε πολυπαραγοντικές ευκλείδειες στατιστικές μεθόδους. Όπως είναι φυσικό, τα τοπόσημα στον εφαπτόμενο σχηματικό χώρο Kendall έχουν ορισμένες διαφορές σε σχέση με τα τοπόσημα στον σχηματικό χώρο Kendall, αντίστοιχες με τις αποστάσεις Προκρούστη ανάμεσα στους δύο χώρους. Οι διαφορές αυτές ελαχιστοποιούνται, όταν το σημείο αναφοράς, δηλαδή το εφαπτόμενο σημείο, είναι στο κέντρο του σχήματος, δηλαδή στο κεντροειδές του. Παρ' όλα αυτά, εάν θέλουμε να μελετήσουμε έναν συγκεκριμένο σχηματισμό πάνω σε μια βιολογική επιφάνεια, είναι συνετό να μεταθέσουμε το εφαπτόμενο σημείο όσο πιο κοντά είναι δυνατό στο σημείο του σχηματισμού που μας ενδιαφέρει, έτσι ώστε εκείνο να έχει όσο το δυνατόν μικρότερη διαφορά από τον αρχικό σχηματικό χώρο Kendall.



Εικόνα 3. Απεικόνιση της σφαίρας του Kendall και των σχηματικών χώρων που αναφέρθηκαν. Η διάμετρος της σφαίρας είναι 1 και το μέγεθος κεντροειδούς (centroid size) είναι ίσο με 1 (Slice, 2005b).

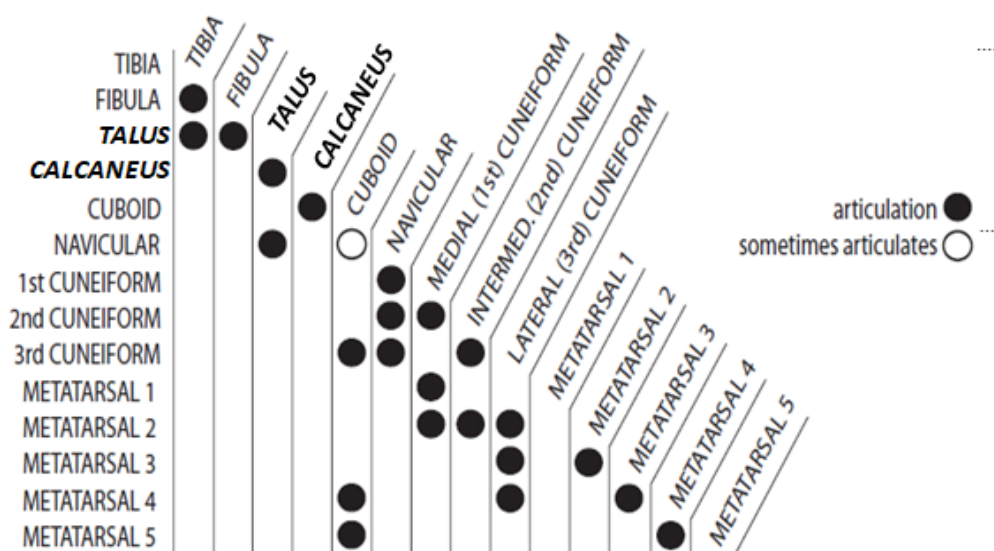
Κατά αυτό τον τρόπο η γεωμετρική μορφομετρία μαζί με τις συντεταγμένες Προκρούστη συνιστούν ένα ισχυρό εργαλείο στην κατανόηση και οπτικοποίηση των βιολογικών μορφών και διαφορών τους με ποικίλες εφαρμογές (Klöpinger, 2006; Mitteroecker and Gunz, 2009).

2.4 Μελετηθείσα ανατομική περιοχή

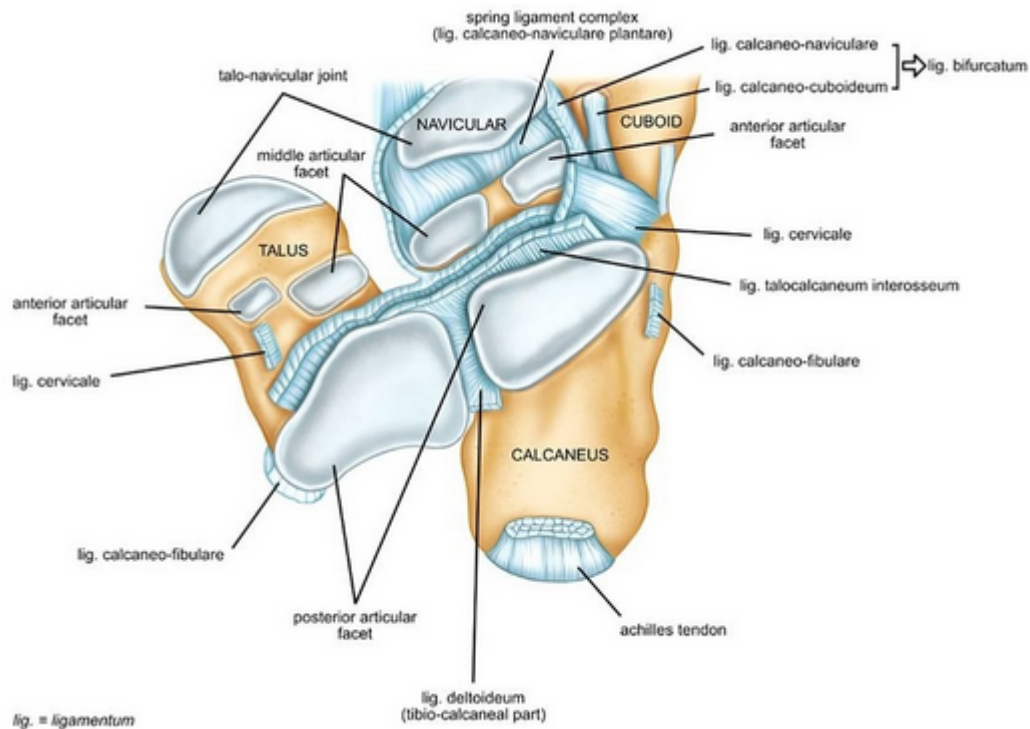
Τα οστά του άκρου ποδός ομοιάζουν των οστών της άκρας χείρας. Είναι εικοσιέξι οστά σε κάθε κάτω άκρο, από τα οποία στη συγκεκριμένη μελέτη μας ενδιαφέρουν μόνο ο αστράγαλος και η πτέρνα.

Ανήκουν στην ομάδα των ταρσιαίων οστών, δηλαδή είναι δύο από τα επτά οστά που απαρτίζουν το μέσο και οπίσθιο τμήμα του άκρου ποδός (Pickering and Bachman, 1997). Στο άνω άκρο των ταρσιαίων οστών βρίσκονται τα πέντε μετατάρσια και μετά από αυτά οι τρεις σειρές φάλαγγων των δακτύλων.

Ο αστράγαλος και η πτέρνα είναι τα μεγαλύτερα ταρσιαία οστά. Ο αστράγαλος αρθρώνεται με την κνήμη, την περόνη, την πτέρνα και το σκαφοειδές οστό, ενώ η πτέρνα με τον αστράγαλο και το κυβοειδές οστό. Είναι τα μόνα ταρσιαία οστά, που έχουν ήδη δημιουργηθεί κατά τη γέννηση και επομένως, ανευρίσκονται από πολύ μικρή ηλικία (Klempner, 2006). Η άρθρωση των οστών αυτών αποτελεί την υπαστραγαλική άρθρωση.

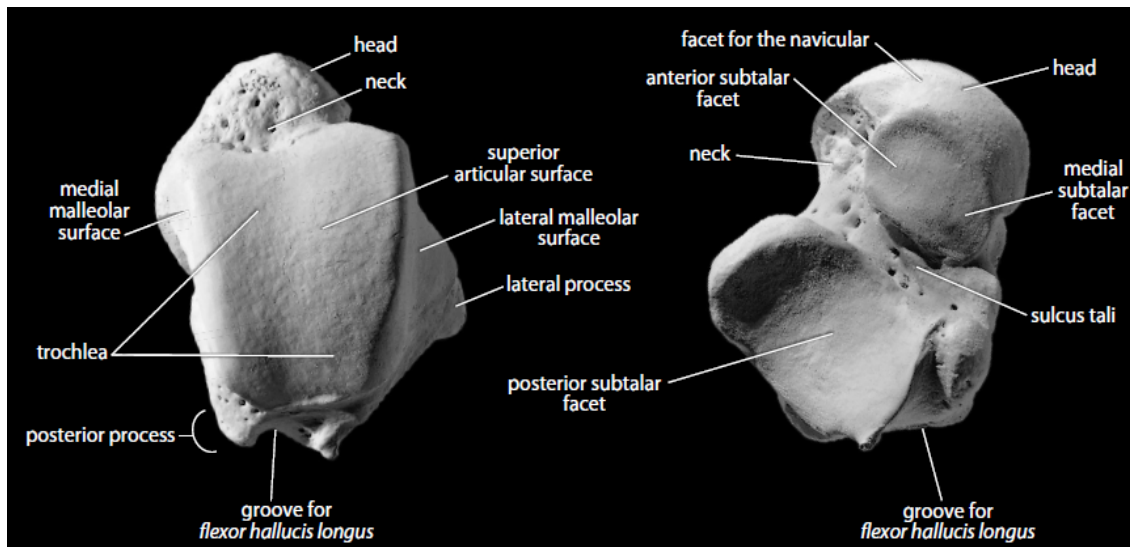


Εικόνα 4. Η άρθρωση των ταρσιαίων οστών. Με έντονη γραμματοσειρά διακρίνονται ο αστράγαλος και η πτέρνα (White and Folkens, 2005).



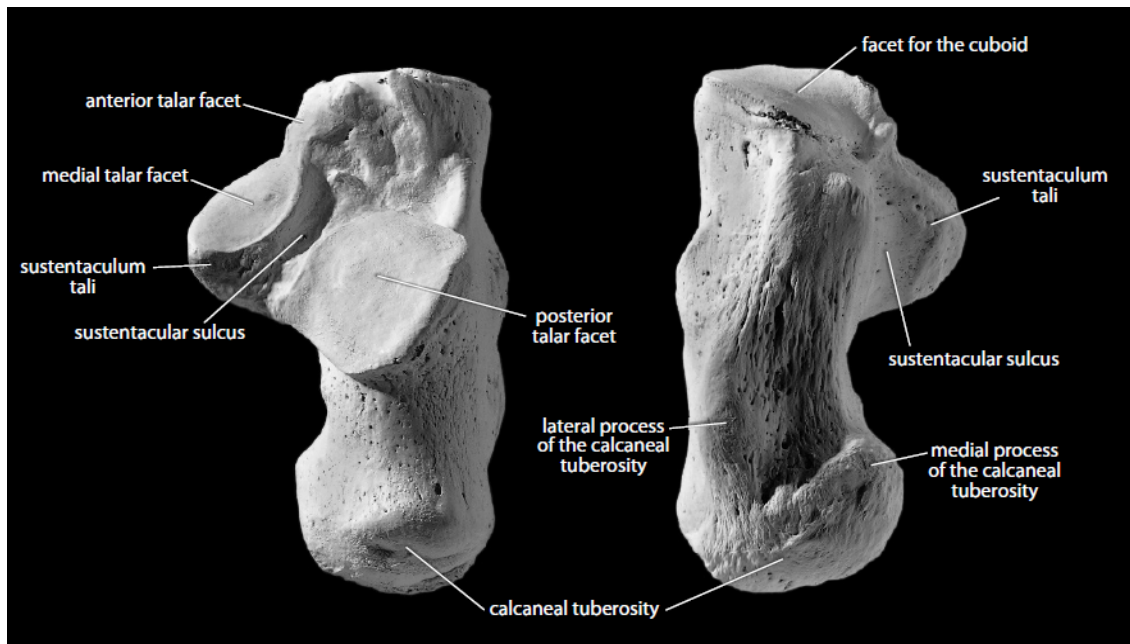
Εικόνα 5. Η υαστραγαλική άρθρωση (Krähenbühl et. al., 2017).

Ο αστράγαλος συντάσσεται προς τα άνω με την κνήμη και την περόνη, προς τα κάτω κάτω με την πτέρνα και προς τα πρόσω με το σκαφοειδές. Έχει χαρακτηριστική σφαιρική κεφαλή, η οποία αρθρώνεται με το σκαφοειδές, ενώ το σώμα του οστού είναι τετραγωνισμένο και ογκώδες. Τα δύο αυτά τμήματα του αστραγάλου συνδέονται με ένα άλλο τμήμα, που καλείται αυχέννας. Άλλα χαρακτηριστικά είναι η τροχιλία, ένας επιπιοειδής σχηματισμός, που συντελεί στην άρθρωση του οστού με την κνήμη και την περόνη και η αύλακα του τένοντα του μακρού καμπτήρα του πρώτου δακτύλου που τοποθετείται στο κάτω τμήμα του αστραγαλικού σώματος. Επιπλέον ανατομικό σχηματισμό αποτελεί και η αύλακα του αστραγάλου που βρίσκεται ανάμεσα στις τρεις πτερνιαίες αρθρικές επιφάνειες. Τέλος, υπάρχουν η πρόσθια και η μέση πτερνιαία αρθρική επιφάνεια που ορισμένες φορές διαχωρίζονται από διάμεση ζώνη, που δεν είναι αρθρική και η οπίσθια αρθρική επιφάνεια (White and Folkens, 2005), που μελετάται στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 6. Δεξιός αστράγαλος (White et. al., 2012).

Η πτέρνα είναι το μεγαλύτερο ταρσιαίο οστό. Αρθρώνεται προς τα άνω επιφάνεια της με τον αστράγαλο και τα πρόσω με το κυβοειδές οστό. Σημαντικό γνώρισμα του οστού είναι το κύρτωμα της πτέρνας (calcaneal tuber). Συνιστά μια μεγάλη, μη αρθρική, οπίσθια επιφάνεια της πτέρνας, στην οποία καταφύεται ο Αχίλλειος τένοντας. Μεταξύ των αρθρικών επιφανειών του αστραγάλου σχηματίζεται η αύλακα της πτέρνας, που μαζί με την αύλακα του αστραγάλου δημιουργούν τον ταρσιαίο κόλπο. Στην έσω επιφάνεια της πτέρνας προβάλλει το υπέρεισμα του αστραγάλου, πάνω στο οποίο βρίσκεται η μέση αρθρική επιφάνεια του ταρσού και υποστηρίζεται η κεφαλή του αστραγάλου. Κάτω από το υπέρεισμα του αστραγάλου διαγράφεται μια αύλακα, αυτή του τένοντα του μακρού καμπτήρα του μεγάλου δακτύλου. Η έξω πλευρά αυτής εμφανίζει φύμα, στο οποίο φύεται η αύλακα του μακρού περνιαίου μυός. Τέλος, η πρόσθια επιφάνεια είναι η αρθρική επιφάνεια του κυβοειδούς οστού και στην άνω επιφάνεια του οστού διακρίνονται η πρόσθια, μέση και οπίσθια αστραγαλική επιφάνεια (White and Folkens, 2005). Η οπίσθια αστραγαλική επιφάνεια είναι αυτή που είναι απαραίτητη για τη διεξαγωγή αυτής της διπλωματικής εργασίας.



Εικόνα 7. Δεξιά πτέρνα (White et. al., 2012).

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές έρευνες σχετικά με την ανάπτυξη μετρικών μεθόδων για τον προσδιορισμό του φύλου ή του αναστήματος από τον αστράγαλο και την πτέρνα. Στις έρευνές τους οι Gualdi- Russo (2006), Steele (1976) και Wilbur (1998) βρήκαν άμεση συσχέτιση του μεγέθους της πτέρνας και του αστραγάλου με το φύλο. Ειδικά ορισμένες μετρήσεις, όπως το μήκος και το πλάτος των οστών, αποδείχθηκαν με σημαντική διαφορά μεγαλύτερες στους άνδρες από ότι στις γυναίκες. Βέβαια, το εύρος αλληλοεπικάλυψης των μετρήσεων μεταξύ των δύο φύλων είναι και αυτό στατιστικά σημαντικό και όλοι οι ερευνητές συναινούν στην περαιτέρω μελέτη των οστών αυτών. Από την άλλη, σε μια υπόθεση δικαστικού ενδιαφέροντος αρκεί μόνο το πελματικό αποτύπωμα, για να μπορέσει κάποιος ειδικός να βγάλει ένα σχετικά ασφαλές συμπέρασμα για το ύψος του ατόμου. Ο Holland (1995) ανέπτυξε μέθοδο σχετική με το ύψος, η οποία ήταν ανεξάρτητη από τη φυλετική καταγωγή του ατόμου. Όμως και αυτός απεφάνθη, πως είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν νέες έρευνες στον τομέα και να γίνει επανεξέταση απαρχαιωμένων αναλύσεων.

Γενικά τα μικρά και συμπαγή οστά, όπως ο αστράγαλος και η πτέρνα, είναι πολύ ανθεκτικά στις ταφονομικές αλλοιώσεις και ανευρίσκονται συχνά στο πεδίο (Anastopoulou et. al., 2017; Anastopoulou et. al., 2018; Katzenberg and Saunders,

2008; Steele, 1976). Οι ταφονομικές αλλοιώσεις που οφείλονται στη δραστηριότητα σαρκοφάγων ζώων, είναι συχνές σε μια δικαστική υπόθεση, αλλά τα δύο οστά δεν επηρεάζονται τόσο, αφού συνήθως προστατεύονται από υποδήματα (Lyman, 1994; Moraitis and Spilioroulou, 2010). Ακόμη, αρθρώνονται με τα μακρά οστά του κάτω άκρου και συνεπώς με τον κορμό του ατόμου, καθιστώντας τα πολύ εύχρηστα σε μια υπόθεση δικαστικού ενδιαφέροντος, όπου παρατηρείται συμφυρμός οστών. Τέλος, λόγω της θέσης τους στον ανθρώπινο σκελετό δεν επιτρέπουν την αλλοίωση από παθολογικές αλλοιώσεις ή από την πάροδο της ηλικίας στον ίδιο βαθμό με άλλα οστά του υπόλοιπου σώματος. Επομένως, λόγω των πλεονεκτημάτων αυτών, αλλά και λόγω της χαρακτηριστικής γεωμετρίας τους, φαίνεται πως είναι ιδανικά για ανάπτυξη οστεομετρικών μελετών στο πεδίο. Εάν πραγματοποιηθούν και αντίστοιχες μελέτες για μεγάλες διαρθρώσεις, όπως αυτή του αγκώνα, του αστραγάλου, της κνήμης κλπ, η γεωμετρική μορφομετρία και οι οστεομετρικές αναλύσεις θα γίνουν αναπόσπαστο κομμάτι της δικαστικής ανθρωπολογίας σε υποθέσεις οστικού συμφυρμού (Anastopoulou et. al., 2017).

3. Σκοπός

Οι υποθέσεις οστικού συμφυρμού βρίσκονται στο προσκήνιο ολοένα και πιο συχνά τα τελευταία χρόνια. Συνεπώς, είναι επιτακτική ανάγκη, ο επιστημονικός κλάδος της δικαστικής ανθρωπολογίας να αναπτύξει αξιόπιστες μεθόδους για τη διερεύνηση αντίστοιχων υποθέσεων. Η γεωμετρική μορφομετρία είναι μια τέτοια μέθοδος, που παρέχει ακριβή και λεπτομερή αποτελέσματα, γεγονός που την καθιστά ένα πολύ ισχυρό εργαλείο κατά τη διερεύνηση δικαστικών υποθέσεων. Σε υποθέσεις συμφυρμού, ο αστράγαλος και η πτέρνα είναι οστά που δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τα άτομα και επομένως, μαζί με τις γνώσεις που προέρχονται από τη μέθοδο της γεωμετρικής μορφομετρίας, παρέχουν σημαντική βοήθεια στον ειδικό.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται η μέθοδος της γεωμετρικής μορφομετρίας για την απεικόνιση της γεωμετρίας αστραγάλου και πτέρνας, με σκοπό την αποκόμιση πληροφοριών σε υποθέσεις συμφυρμού των οστών. Συγκεκριμένα, μελετάται η αστραγαλοπτερνική άρθρωση, με αποτέλεσμα την έγκυρη διαπίστωση της πιθανότητας, τα δύο αξιολογούμενα οστά να ανήκουν στο ίδιο ή σε διαφορετικά άτομα. Ο αστράγαλος και η πτέρνα αποτελούν το σύνδεσμο του άκρου ποδός με τα μακρά οστά της κνήμης και της περόνης και συνεπώς με τον κορμό του ατόμου. Συμπερασματικά, αυτή η πληροφορία μπορεί να δώσει άμεση απάντηση σε ερωτήματα σε υποθέσεις συμφυρμού, καθώς πλέον θα είναι εφικτή η ταξινόμηση των οστών ενός σκελετικού συνόλου. Με αυτόν τον τρόπο διευκολύνεται η αξιολόγηση των βασικών βιολογικών γνωρισμάτων και τελική ταυτοποίησή τους.

4. Υλικό και Μέθοδοι

4.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας μελετήθηκαν 25 άτομα (10 γυναίκες και 15 άνδρες) ηλικίας από 44 έως 92 ετών. Τα άτομα αυτά προήλθαν από τη τη σκελετική συλλογή αναφοράς της Μονάδας Δικαστικής Ανθρωπολογίας του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής και Τοξικολογίας της Ιατρικής Σχολής ΕΚΠΑ. Πρόκειται για οστά ατόμων γνωστού φύλου, φυλετικής καταγωγής και αιτίας θανάτου, τα οποία έχουν δωρηθεί από διάφορα δημοτικά κοιμητήρια της Αττικής. Τα οστά που εξετάστηκαν ήταν ο δεξιός αστράγαλος και πτέρνα από κάθε άτομο (25 αστράγαλοι και 25 πτέρνες). Όλα βρίσκονται σε άριστη κατάσταση, χωρίς περιθανάτιες κακώσεις, έτσι ώστε να εξετασθεί ορθά η γεωμετρία τους. Άτομα με σοβαρές εκφυλιστικές αλλοιώσεις αποκλείστηκαν από τη μελέτη.

Στον Πίνακα 2 η κάθε στήλη είναι απαραίτητη, γιατί ο κάθε παράγοντας που περιγράφεται είναι πιθανό να έχει επίδραση στη γεωμετρία του οστού.

- Φύλο: Τα αρσενικά άτομα είναι τις περισσότερες φορές πιο εύρωστα και μεγαλόσωμα σε σχέση με τα θηλυκά. Όπως αναφέραμε στη γεωμετρική μορφομετρία, έχουμε αποκλείσει τον παράγοντα μεγέθους, συνεπώς αυτός δε φαίνεται να διαδραματίζει κάποιο μείζονα ρόλο. Από την άλλη όμως, έρευνες έχουν δείξει (Gualdi- Russo, 2006; Steele, 1976; Wilbur, 1998) πως το φύλο πιθανώς επηρεάζει τη μορφολογία του οστού. Επομένως, το φύλο κρίνεται ως μια σημαντική πληροφορία, που θα έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν.
- Ηλικία: Αυτός είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη μελέτη της γεωμετρίας οποιουδήποτε οστού. Διάφορες παθολογικές αλλοιώσεις, που παρατηρούνται με την πάροδο της ηλικίας, μπορεί να μεταβάλλουν τη μορφολογία του οστού (π.χ. οστεόφυτα, συνδεσμοφύτα), άρα και το σχήμα του. Αντίθετα, όταν ένα άτομο είναι σε νεαρή ηλικία (π.χ. A/A 8), το οστό δεν έχει διαπλασθεί στην πλήρη, λειτουργική, ενήλικη μορφολογία του. Συνεπώς, το σχήμα ενός οστού μεταβάλλεται συγκριτικά με την ηλικία του ατόμου.
- Αιτία θανάτου: Η αιτία θανάτου μπορεί να συμβάλει στη διαμόρφωση της γεωμετρίας των οστών. Ασθένειες όπως η οξεία λευχαιμία καταστρέφουν τη

δομή του οστού, αφού το καθιστούν πιο εύθρυπτο και ευαίσθητο (Bekiesinska-Figatowska et. al., 2011), ενώ σε ασθένειες, όπως το οστεοσάρκωμα, έχουμε δημιουργία νέου οστού (American Cancer Society, <https://www.cancer.org/cancer/osteosarcoma/about/what-is-osteosarcoma.html>). Υφίστανται ασθένειες, που συνδυάζουν και τις δυο αυτές ιδιότητες (οστεολυτική- οστεοβλαστική ιδιότητα), αλλά δεν είναι οι συχνότερες.

A/A	Κωδικός	Φύλο	Ηλικία	Αιτία θανάτου
1	2	Θήλυ	92	Καρδιακή ανεπάρκεια
2	3	Άρρεν	88	Γεροντική καχεξία
3	4	Άρρεν	89	Οστεοσάρκωμα
4	5	Θήλυ	84	Αιφνίδιος καρδιακός θάνατος
5	6	Άρρεν	74	Πνευμονοπάθεια
6	8	Άρρεν	73	Καρδιακή ανεπάρκεια
7	9	Θήλυ	59	Καρκίνος παγκρέατος
8	10	Θήλυ	10	Σηψαιμία
9	13	Άρρεν	62	Καρκίνος στομάχου
10	14	Άρρεν	24	Κρανιοεγκεφαλική κάκωση
11	15	Θήλυ	69	Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο
12	16	Θήλυ	56	Καρκίνος μαστού
13	17	Άρρεν	72	Αιφνίδιος καρδιακός θάνατος
14	18	Άρρεν	64	Καρκίνος λάρυγγος
15	20	Θήλυ	71	Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο
16	21	Άρρεν	78	Αιφνίδιος καρδιακός θάνατος
17	22	Θήλυ	85	Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο
18	23	Θήλυ	52	Καρκίνος τραχήλου της μήτρας

19	25	Θήλυ	57	Έμφραγμα μυοκαρδίου
20	26	Άρρεν	57	Στένωση στεφανιαίας αορτής
21	28	Άρρεν	55	Στεφανιαία θρόμβωση
22	29	Άρρεν	60	Καρκίνος λάρυγγος
23	30	Άρρεν	44	Εκφύλιση μυοκαρδίου/ ηπατίτιδα
24	31	Άρρεν	69	Αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο
25	32	Άρρεν	80	Έμφραγμα μυοκαρδίου επί εδάφους παλαιού

Πίνακας 2. Φύλο, ηλικία και αιτία θανάτου των ατόμων της σκελετικής συλλογής.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως οι επιφάνειες που προέρχονται από το άτομο 8 παρ' όλο που εξετάστηκαν, αφαιρέθηκαν εν τέλει από το σύνολο των δεδομένων. Αυτό συνέβη, γιατί υπήρξε σημαντική απόκλιση από όλες τις υπόλοιπες επιφάνειες. Εικάζουμε, πως η διαφορά αυτή οφείλεται στην ηλικία του ατόμου (10 ετών). Τα οστά σε μια τέτοια ηλικία δεν έχουν αναπτυχθεί στην πλήρη λειτουργική δομή τους, γεγονός που επηρεάζει το σχήμα τους και κατ'επέκταση και τα δεδομένα που προέρχονται από αυτό.

Τέλος, πολλές δραστηριότητες μπορεί να προκαλέσουν αλλοιώσεις στα οστά, κυρίως στα καταφυτικά πεδία ενθέσεων μυών. Παρ' όλα αυτά, δε συμπεριλαμβάνεται εδώ, καθώς δεν είναι δυνατό να συσχετισθεί μια συγκεκριμένη δραστηριότητα με κάποια συγκεκριμένη οστική αλλοίωση (Karakostis et. al., 2015).

4.2 Τρισδιάστατη σάρωση της οστικής περιοχής

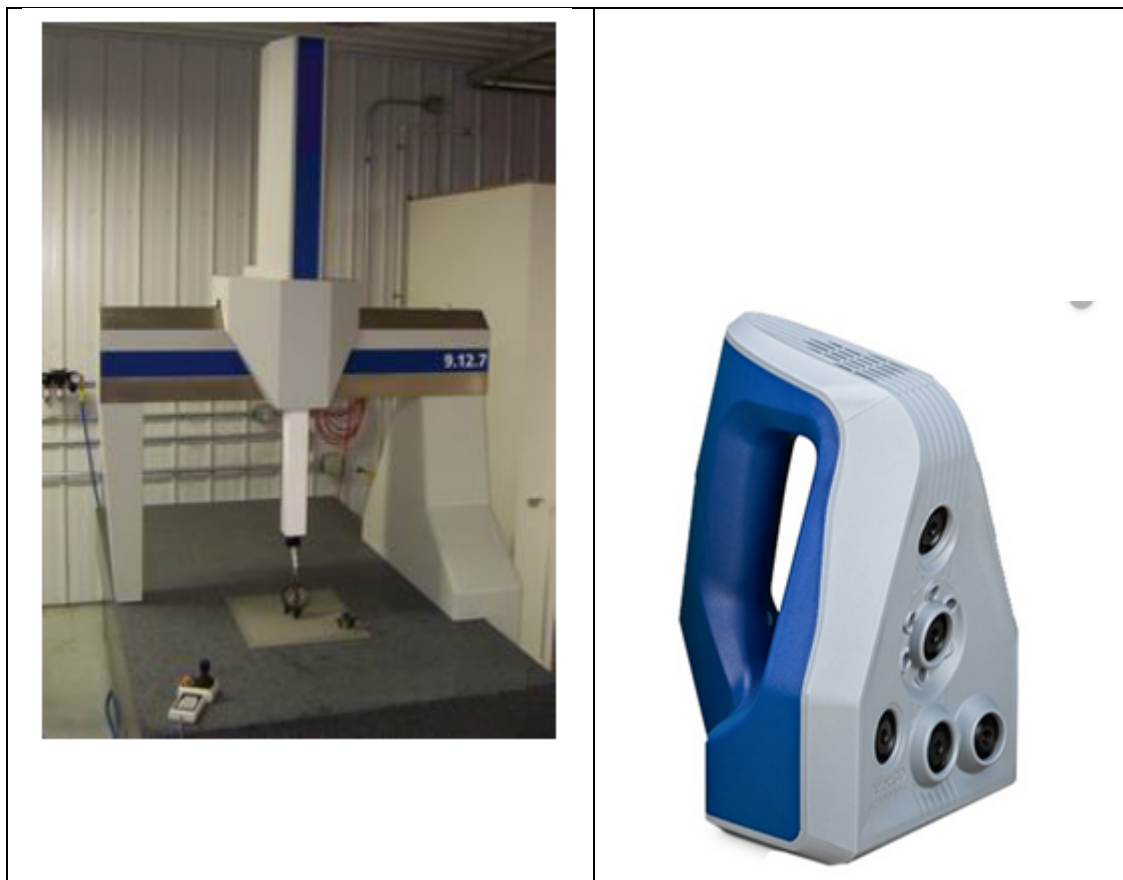
Η χρήση της τεχνολογίας των τρισδιάστατων σαρωτών αυξάνεται συνεχώς την τελευταία δεκαετία. Σε συνέχεια των αξονικών τομογράφων, αναπτύχθηκαν νέες τεχνολογίες για τη σάρωση εξωτερικών επιφανειών (Bastir et. al., 2019; Friess, 2012; Hirst et.al., 2018; Tokkari et. al., 2017; Weber, 2015). Οι τεχνολογίες αυτές έδωσαν μια νέα εναλλακτική στις μορφολογικές μελέτες και τη γεωμετρική μορφομετρία (Bastir et. al., 2019). Όπως αναφέρουν οι Mitteroecker and Gunz, «Το πλαίσιο άλλαξε: από τη μέτρηση γωνιών και μεγεθών, οδηγηθήκαμε στην τοποθέτηση τοποσήμων και ημιτοποσήμων στις μελετούμενες επιφάνειες» (Mitteroecker and Gunz, 2009). Στη δικαστική ανθρωπολογία η τεχνολογία αυτή ονομάστηκε «Οπτική Ανθρωπολογία» (Recheis et. al., 1999).

Οι τρισδιάστατοι σαρωτές, αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο σε ποικίλους τομείς. Παρέχουν οπτική απεικόνιση ενός αντικειμένου με ακρίβεια και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Οι τρισδιάστατοι scanners μετρούν αποστάσεις σημείων μέσω του φωτός που ανακλάται πάνω σε αυτά και παράγουν πολυγωνικά πλέγματα, δίνοντας μια τρισδιάστατη απεικόνιση της μορφολογίας των αντικειμένων, που αναλύονται (Friess, 2012). Λειτουργούν όπως ακριβώς οι κάμερες, με τη διαφορά πως αντί για μια σταθερή εικόνα, πολλές σαρώσεις ευθυγραμμίζονται με σκοπό την παροχή μιας ολοκληρωμένης τρισδιάστατης απεικόνισης ενός αντικειμένου (Ebrahim, 2011). Το φως που εκπέμπεται από το έναν σαρωτή μπορεί να είναι λευκό ή και laser. Τέλος, το εύρος σάρωσής τους μπορεί να κυμαίνεται από νανόμετρα έως και μερικά χιλιόμετρα.

Τα δεδομένα από τους σαρωτές εμφανίζονται ως ένα νέφος σημείων (point cloud). Όσο περισσότερα σημεία αποτελούν το νέφος, τόσο πιο λεπτομερές τρισδιάστατο αποτέλεσμα δίνεται. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται ανακατασκευή (reconstruction) (Ebrahim, 2011; 2013). Αυτά τα δεδομένα επεξεργάζονται με συγκεκριμένο λογισμικό (Tokkari et. al., 2017) και καταγράφονται ως σημειακά δεδομένα σε πλέγματα στον τρισδιάστατο χώρο. Σοβαρό ζήτημα αποτελούν τα κενά που τυχόν εμφανίζονται σε αυτά τα πλέγματα. Ένα κενό σε ένα σημείο μπορεί να αποβεί σημαντικό, αφού κατά την τοποθέτηση τοποσήμων, δύναται το συγκεκριμένο σημείο να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Υπάρχουν προγράμματα για την πλήρωση

των κενών και άλλων μικρών λεπτομερειών, όπως το ArtecStudio, Meshlab, Rvcg κ.λπ. (Bastir et.al., 2019).

Υπάρχουν δύο είδη σαρωτών: οι σταθεροί (stationary) και οι χειρός ή φορητοί (hand- held). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ένας σαρωτής χειρός, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω. Οι φορητοί σαρωτές είναι πολύ πρακτικοί, αφού μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόμη και στο πεδίο με τον κατάλληλο εξοπλισμό. Έτσι, καθίσταται πλέον εφικτή η σάρωση ενός σταθερού ή μεγάλου μεγέθους δείγματος. Επιπλέον, δεν είναι αναγκαία πια η μεταφορά ενός ευαίσθητου δείγματος στην τοποθεσία του σαρωτή με κίνδυνο την καταστροφή του.



Εικόνα 8. Σταθερός σαρωτής Coordinate Measuring Machine (αριστερά) και Φορητός σαρωτής Artec Spider Scanner (δεξιά).

Πρακτικά, όταν χρησιμοποιείται ένας σαρωτής χειρός, το μελετούμενο αντικείμενο τοποθετείται πάνω σε έναν περιστρεφόμενο δίσκο και σαρώνεται από όλες τις γωνίες. Για μεγάλα αντικείμενα, που δεν είναι δυνατή η τοποθέτησή τους σε κάποιο

αντίστοιχο δίσκο, περιστρέφεται το scanner γύρω από το αντικείμενο. Γενικά, είναι ευκολότερη η χρήση τους και προσφέρουν άνεση στον ερευνητή (Bastir et. al., 2019).

Στους τρισδιάστατους σαρωτές χειρός το σφάλμα σάρωσης, ως συνήθως, έγκειται στην κίνηση εκτός πεδίου ή στην τυχόν μετακίνηση του αντικειμένου. Ύστερα από την περιστροφή του σαρωτή γύρω από το αντικείμενο ή του αντικειμένου γύρω από τον εαυτό του οι σαρώσεις ευθυγραμμίζονται. Συνεπώς, εάν υπάρξει κάποια λανθασμένη κίνηση εκτός πεδίου, ο σαρωτής δε μπορεί να ευθυγραμμίσει ορθά τις διάφορες σαρώσεις.

Περνώντας στα μειονεκτήματα των τρισδιάστατων laser σαρωτών παρατηρούμε το γεγονός ότι, αντίθετα με τους αξονικούς τομογράφους (CT scanners), σαρώνεται μόνο η εξωτερική επιφάνεια ενός αντικειμένου. Επομένως, εάν ο ερευνητής επιθυμεί την σάρωση κάποιας εσωτερικής κοιλότητας, ο τρισδιάστατος σαρωτής laser δεν είναι το κατάλληλο βοήθημα. Ένα επιπλέον αρνητικό είναι πως, εφόσον η τεχνολογία των laser σαρωτών είναι ακόμα νέα, δεν έχουν αναπτυχθεί τυποποιημένα πρωτόκολλα για τη δημιουργία και τη ανάλυση τρισδιάστατων μοντέλων. Η ακρίβεια και λεπτομέρεια της ανάλυσης εξαρτάται από τις δυνατότητες των λογισμικών με τα οποία λειτουργούν οι σαρωτές (Tocheri, 2009). Συνεπώς και η ακρίβεια των τεχνικών αυτών μειώνεται σε σύγκριση με τις τεχνικές που χρησιμοποιούν την πιο παλαιά αλλά εξακριβωμένη και τυποποιημένη τεχνολογία των σταθερών σαρωτών. Τέλος, η ανάλυση πολύπλοκων δομών, όπως ένα κρανίο, μπορεί να πάρει αρκετό χρόνο, για να ολοκληρωθεί σε υψηλή ανάλυση και έτσι ο τρισδιάστατος laser σαρωτής να μην αποτελεί την ιδανική λύση για υποθέσεις που απαιτούν άμεση απάντηση (Kuzminsky and Gardiner, 2012).

Στην κλινική έρευνα και το πεδίο, είναι απαραίτητος ένας σαρωτής με υψηλή ακρίβεια και ανάλυση, έτσι ώστε να μπορεί να αποδώσει ορθά την τρισδιάστατη απεικόνιση περίπλοκων δομών, όπως το αυτί, το κρανίο ή ο αστράγαλος και η πτέρνα (Tokkari et. al., 2017).

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε το Artec Space Spider Laser Scanner, ένα αναβαθμισμένο μοντέλο τρισδιάστατου σαρωτή χειρός, που είναι γρήγορο, ακριβές και οικονομικό σε σύγκριση με άλλους φορητούς σαρωτές (Official product site, www.artec3d.com). Θεωρείται το χρυσό πρότυπο των σαρωτών. Παρέχει σαρώσεις υψηλής ανάλυσης με λεπτομερές νέφος σημείων, ειδικά για βιολογικά υλικά και μπορεί να φτάσει στην κατάλληλη θερμοκρασία για την έναρξη της σάρωσης δέκα

φορές πιο γρήγορα από τα παλαιότερα μοντέλα σαρωτών (Sense, Next Engine Scanner κ.λπ.). Σκανάρει και ευθυγραμμίζει τις σαρώσεις σε πραγματικό χρόνο με το πρόγραμμα ArtecStudio, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα της γεωμετρίας και της υφής, που έχει λάβει από τον σαρωτή (Bastir et. al., 2019). Επιπρόσθετα, μπορεί με μεγάλη ακρίβεια να διακρίνει οξείες γωνίες, επομένως, είναι το ιδανικό εργαλείο για τη μελέτη βιολογικών υλικών. Βέβαια, λόγω του μικρού εύρους που σκανάρει απαιτούνται αρκετές σαρώσεις, έτσι ώστε να αποδοθεί η τρισδιάστατη έκδοση του αντικειμένου προς μελέτη (Tokkari et. al., 2017).

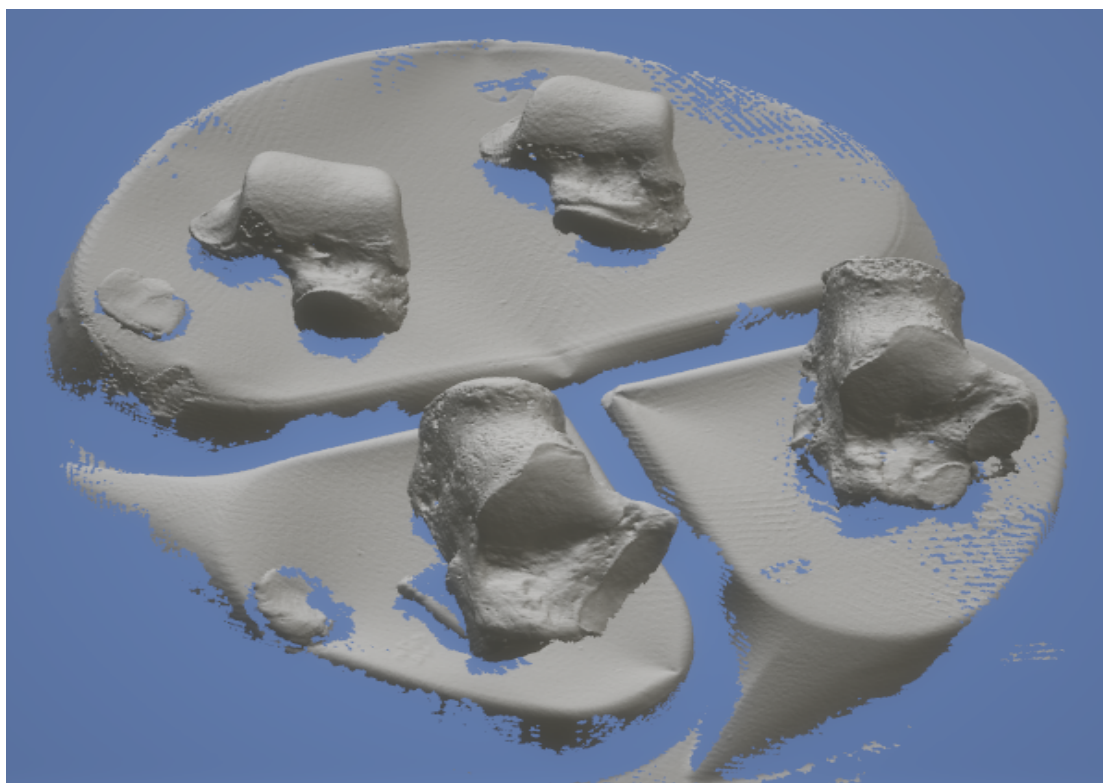
Η σάρωση με το Artec Spider Scanner μπορεί να αποδειχθεί πρόκληση. Επειδή είναι σαρωτής χειρός, το αποτέλεσμα εξαρτάται άμεσα από τον χειριστή. Εάν ένας άπειρος χειριστής προσπαθήσει να σαρώσει ένα αντικείμενο πολύ γρήγορα, οι πιθανότητες πρόκλησης λάθους αυξάνονται. Ο σαρωτής εμφανίζει μια προειδοποιητική ένδειξη, δίνοντας τη δυνατότητα στον ερευνητή να βελτιώσει το λάθος του, χωρίς όμως, αυτό να είναι πολλές φορές εφικτό. Επομένως, όσο δελεαστική και αν είναι η ταχύτητα, που έχει ένας τέτοιος σαρωτής, πρέπει να αποφεύγονται ταχείες κινήσεις και η σάρωση να πραγματοποιείται σε κατάλληλη ταχύτητα ανάλογα με την εμπειρία του χειριστή (Tokkari et. al., 2017).

4.3 Επεξεργασία τρισδιάστατης επιφάνειας και τοποθέτηση τοποσήμων και ημιτοποσήμων στα σχηματισθέντα μοντέλα

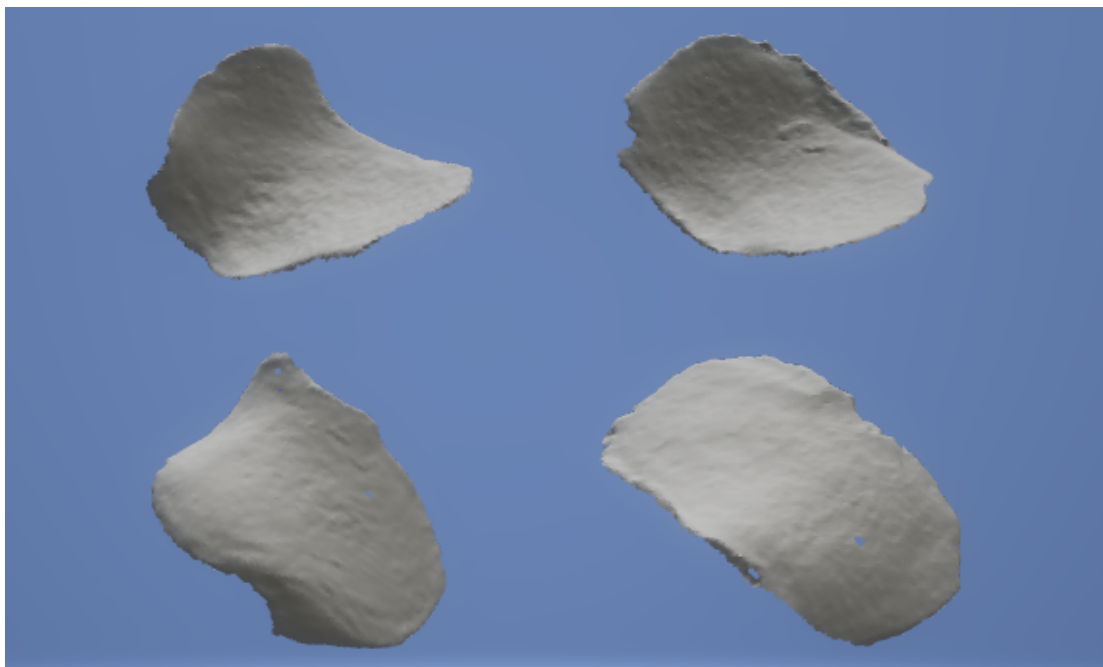
Σύμφωνα με αυτά που περιγράφηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, μετά τη σάρωση και την ευθυγράμμιση των εικόνων του 3D σαρωτή, προκύπτουν πολυγωνικά πλέγματα, που αναδεικνύουν το σχήμα του αντικειμένου που μελετάται. Τα πλέγματα αυτά πρέπει να υποστούν επεξεργασία, έτσι ώστε να γίνει δυνατή η τοποθέτηση των τοποσήμων και να ληφθούν τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην παρούσα εργασία η επεξεργασία έγινε με το πρόγραμμα Meshlab και συγκεκριμένα την έκδοση 2016.12.

Το Meshlab είναι ένα πρόγραμμα ανοικτού κώδικα και είναι ιδανικό για την επεξεργασία τρισδιάστατων επιφανειών, που έχουν προκύψει από δεδομένα ενός ή πολλών σαρωτών (Cignoni et. al., 2008). Προσφέρει μια ποικιλία ειδικών εργαλείων για επεξεργασία, καθαρισμό, πλήρωση κενών, παρατήρηση και προσθήκη χρώματος στα πολυγωνικά πλέγματα (Callieri et. al., 2012; Cignoni et. al., 2008). Ως πρόγραμμα που δημιουργήθηκε από μια πανεπιστημιακή ομάδα (Cignoni et.al.) παρέχει άμεση βοήθεια στον μέσο ερευνητή, με πλεονεκτήματα όπως η ευκολία χρήσης, η ευελιξία του στις ανάγκες κάθε χρήστη, η αποδοτικότητά του, καθώς και η δυνατότητα λειτουργικής διατήρησής του για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε για πλήρωση κενών και για την απομόνωση των επιφανειών προς ανάλυση, δηλαδή της οπίσθιας πτερνικής και αστραγαλικής επιφάνειας στον αστράγαλο και στην πτέρνα αντίστοιχα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, που παρατηρήθηκε πως τα δεδομένα από τον σαρωτή δεν ήταν επαρκή, υπήρξε επανάληψη της λήψης. Τα δείγματα προς μελέτη ήταν 50: 25 δεξιές πτέρνες και 25 δεξιοί αστράγαλοι. Στις παρακάτω εικόνες δίνεται η αρχική εικόνα των δεδομένων που προκύπτουν από τον σαρωτή, καθώς και η τελική εικόνα των απομονωμένων επιφανειών.



Εικόνα 9. Τρισδιάστατα μοντέλα από το πρόγραμμα του σαρωτή ArtecStudio. Παρατηρούνται οι αστράγαλοι (πάνω) και οι πτέρνες (κάτω) των ατόμων 1 (αριστερά) και 2(δεξιά) του Πίνακα 2»



Εικόνα 10. Απομονωμένες αρθρικές επιφάνιες ύστερα από επεξεργασία στο πρόγραμμα Meshlab. Παρατηρούνται οι αστράγαλοι (πάνω) και οι πτέρνες (κάτω) των ατόμων 1 (αριστερά) και 2(δεξιά) του Πίνακα 2.

Ύστερα από αυτή την επεξεργασία έχουμε έτοιμες τις επιθυμητές επιφάνειες για την τοποθέτηση των τοποσήμων και των ημιτοποσήμων. Τα σημεία τοποθετήθηκαν στις επιφάνειες μέσω του λογισμικού R και συγκεκριμένα της έκδοσης 3.5.2.

Το R είναι ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα με εντολές για ποικίλα πεδία, όπως αυτά των στατιστικών υπολογισμών και των γραφικών. Είναι ένα επεκτάσιμο λογισμικό, δηλαδή μπορεί κανείς με την προσθήκη ενός πακέτου λογισμικού στο αρχικό, να επεκτείνει τις δυνατότητές του και σε άλλα πεδία. Στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το πακέτο *geomorph*, που είναι το απόλυτο εργαλείο για την προσθήκη τοποσήμων, τη διενέργεια μεθόδων Υπέρθησης και την χρήση στατιστικών υπολογισμών στον τομέα της γεωμετρικής μορφομετρίας (<https://www.r-project.org/>).

Τοποθετήθηκαν 13 τοπώσημα περιμετρικά της επιφάνειας των οστών, αντικατοπτρικά στον αστράγαλο και την πτέρνα. Προστέθηκαν αυτόματα από το λογισμικό 50 ημιτοπώσημα επιφανείας, που μας δίνουν μια εικόνα της καμπυλότητας της επιφάνειας.

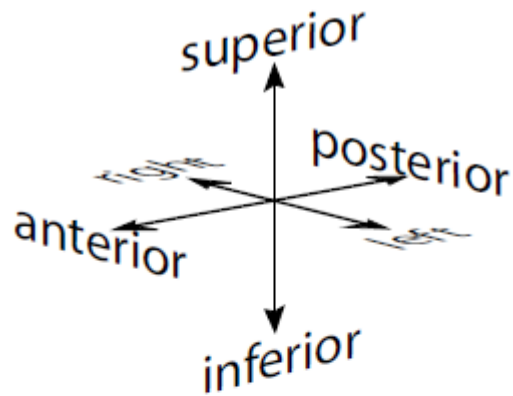
Πριν όμως αναλύσουμε τα σημεία με τη σειρά στις δύο επιφάνειες, είναι σημαντική η ανάπτυξη συγκεκριμένων όρων, που θα βοηθήσουν στην κατανόηση της τοποθεσίας των τοποσήμων (White et. al., Human Osteology 3rd Edition, 2012)

Οπίσθια ή ραχιαία (posterior): προς το οπίσθιο επίπεδο

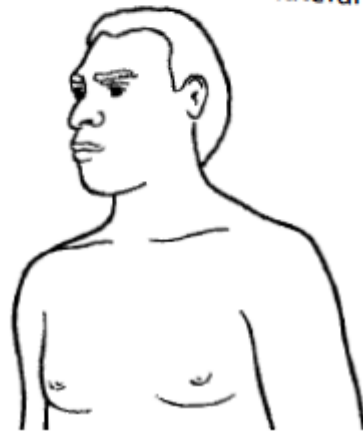
Εμπρόσθια ή κοιλιακά (anterior): προς το πρόσθιο επίπεδο

Έσω (medial): προς το μέσο επίπεδο

Έξω (lateral): μακριά από το μέσο επίπεδο



lateral ↔ medial ↔ lateral



Εικόνα 11. Προσανατολισμός του ανθρώπινου σώματος (White et. al., 2012)

Η περιγραφή των τοποσήμων δόθηκε με γνώμονα τις Εικόνες 5,6,7, καθώς και του ιδιαίτερου σχήματος αυτών των οστών. Τα σημεία που τοποθετήθηκαν τα τοπόσημα είναι τα εξής:

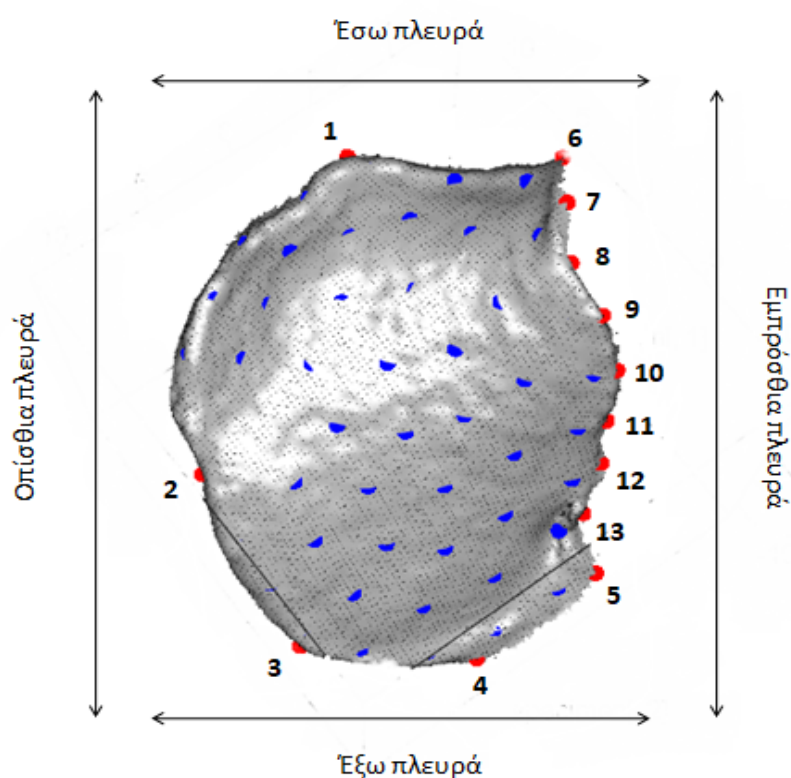
Στην πτέρνα:

1. Στο σημείο τομής της οπίσθιας πλευράς με την έσω πλευρά
 2. Στο μέσο της οπίσθιας πλευράς
 3. Στο σημείο τομής της οπίσθιας πλευράς με την έξω πλευρά
 4. Στο πλέον προεξέχον σημείο της έξω πλευράς
 5. Στο σημείο τομής της πρόσθιας πλευράς με την έξω πλευρά
 6. Στο σημείο τομής της πρόσθιας πλευράς με την έσω πλευρά
- 7-13. Σημεία ισοδιαστημικά τοποθετημένα μεταξύ των τοποσήμων 5 και 6.

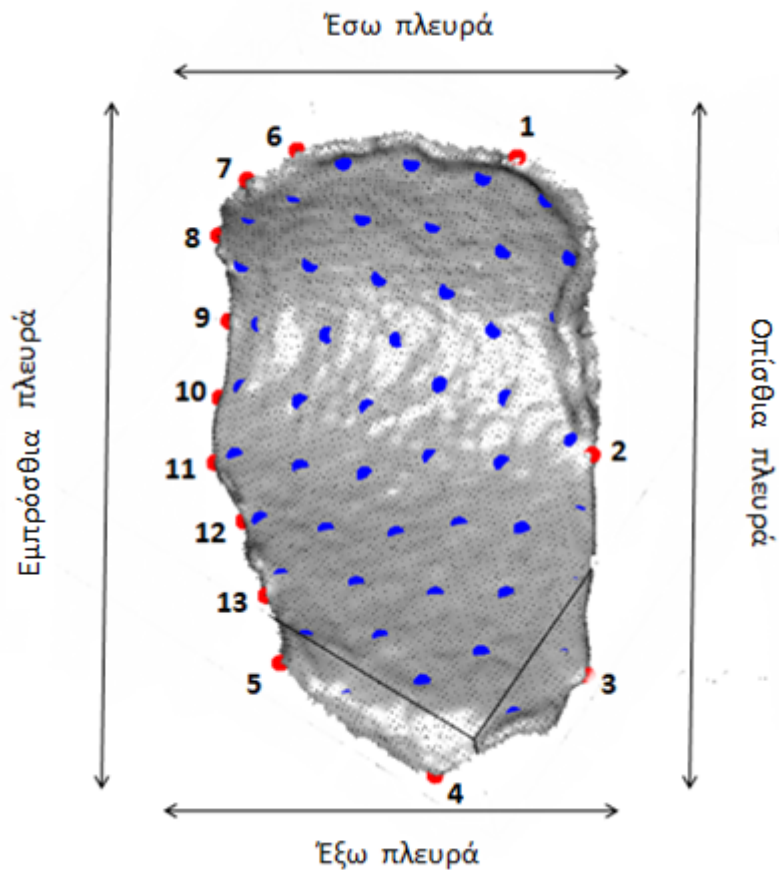
Αντικατοπτρικά στον αστράγαλο:

1. Στο σημείο τομής της οπίσθιας πλευράς με την έσω πλευρά
2. Στο μέσο της οπίσθιας πλευράς
3. Στο σημείο τομής της οπίσθιας πλευράς με την έξω πλευρά
4. Στο πλέον προεξέχον σημείο της έξω πλευράς
5. Στο σημείο τομής της πρόσθιας πλευράς με την έξω πλευρά
6. Στο σημείο τομής της πρόσθιας πλευράς με την έσω πλευρά
- 7-13. Σημεία ισοδιαστημικά τοποθετημένα μεταξύ των τοποσήμων 5 και 6.

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται αναλυτικά τα τοπόσημα, τα ημιτοπόσημα και ο προσανατολισμός του κάθε οστού. Τα νούμερα που αποδόθηκαν ανωτέρω αντιστοιχούν στους αριθμούς που βλέπουμε στις σχετικές εικόνες.



Εικόνα 12. Η τοποθέτηση των τοποσήμων και ο προσανατολισμός στην πτέρνα. Οι κόκκινες κουκκίδες αντιστοιχούν στα τοπόσημα, ενώ οι μπλε στα ημιτοπόσημα.



Εικόνα 13. Η τοποθέτηση των τοποσήμων και ο προσανατολισμός στον αστράγαλο. Οι κόκκινες κουκκίδες αντιστοιχούν στα τοπόσημα, ενώ οι μπλε στα ημιτοπόσημα.

Τέλος, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, πολύ σημαντικό ρόλο σε μια ανάλυση διαδραματίζει η επαναληψιμότητα της τεχνικής. Για να επιβεβαιωθεί αυτό διενεργήθηκαν δύο έλεγχοι:

Ο έλεγχος επαναληψιμότητας παρατηρεί την επαναληψιμότητα των δεδομένων, όταν τοποθετούνται από τον ίδιο ερευνητή και κατά πόσο ο ίδιος τα θέτει αντικειμενικά και αμερόληπτα. Πραγματοποιήθηκε εκ νέου η τοποθέτηση των τοποσήμων σε 5 αστραγάλους και 5 πτέρνες επί 3 φορές σε κάθε οστό. Ανάμεσα στην κάθε φορά μεσολαβούσε ένα σεβαστό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε ο ερευνητής αδιάσπαστα να τοποθετήσει τα τοπόσημα πάνω στο οστό και να μην επηρεάζεται από την προηγούμενη φορά. Τα αποτελέσματα έδειξαν, πως υπήρξε επαναληψιμότητα στα δεδομένα και τα σημεία αυτά ήταν κατάλληλα για την περιγραφή των οστών.

Στο δεύτερο έλεγχο, δηλαδή στον έλεγχο αναπαραγωγιμότητας, παρατηρείται η επαναληψιμότητα των δεδομένων ανάμεσα σε διαφορετικούς ερευνητές. Με περιγραφή του βασικού ερευνητή, πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση των τοποσήμων σε 3 αστραγάλους και 3 πτέρνες από διαφορετικό ερευνητή και σύγκριση με τα δεδομένα του πρώτου. Ήταν εμφανές από τα αποτελέσματα, πως τα σημεία δεν παρουσίασαν καμία στατιστικώς μεγάλη διαφορά μεταξύ τους και συνεπώς υπήρξε επαναληψιμότητα μεταξύ των ερευνητών.

Οι δύο αυτοί έλεγχοι είναι μείζονος σημασίας, καθώς κατέστησαν σαφές πως η τεχνική που ακολουθήθηκε σε αυτή τη διπλωματική, μπορεί να εφαρμοσθεί εύκολα. Ακόμη είναι δυνατό να επαναληφθεί όσες φορές είναι αναγκαίο για τη διεκπεραίωση ενός πειράματος ή και μιας υπόθεσης συμφυρμού οστών που είναι και το ζητούμενο της έρευνας αυτής.

5. Αποτελέσματα

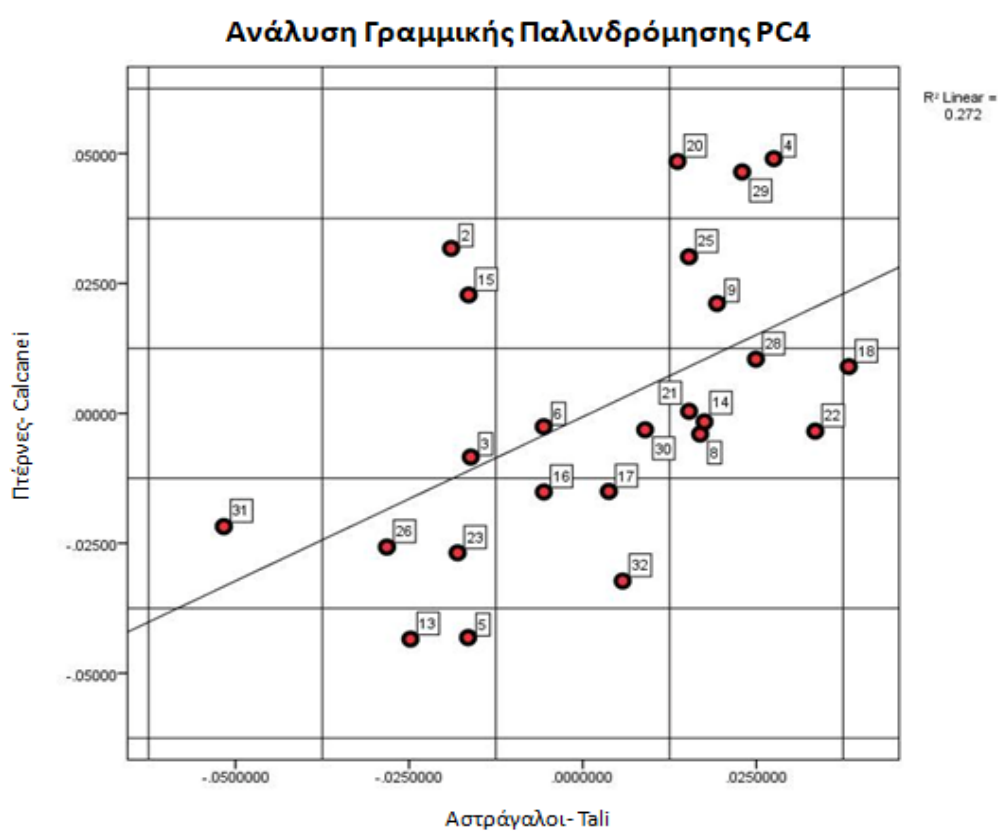
Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα δεδομένα που προέκυψαν μετά από επεξεργασία με την ανάλυση Προκρούστη και στατιστική επεξεργασία με την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA). Οι δύο αυτές διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν στο λογισμικό R. Οι βασικές έννοιες της ανάλυσης Προκρούστη επεξηγήθηκαν στο υποκεφάλαιο «2.3 Γεωμετρική Μορφομετρία», ενώ η μέθοδος PCA δίνεται παρακάτω.

Τα οστά υφίστανται σε πολύπλοκες δομές, οι οποίες εκφράζονται μέσω πολυάριθμων συσχετιζόμενων μεταξύ τους μεταβλητών, που με τη σειρά τους τοποθετούνται σε ποικίλες διαστάσεις. Έτσι, καθίσταται δύσκολη η ανάλυση και συγκέντρωση των δεδομένων, που προκύπτουν από αυτά. Η PCA, λοιπόν, είναι μια ανάλυση που χρησιμοποιείται συχνά για βιολογικές δομές. Μειώνει την ποικιλία των διαστάσεων ενός συνόλου δεδομένων, που προέρχονται από μεγάλο αριθμό συσχετιζόμενων μεταβλητών, προσπαθώντας όμως, να διατηρήσει όσο είναι δυνατόν περισσότερη πληροφορία της ποικιλότητας των δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετατροπή του συνόλου των συσχετιζόμενων μεταβλητών των δεδομένων με ένα νέο σύνολο μεταβλητών, τις κύριες συνιστώσες (Principal Components, PCs), οι οποίες δε σχετίζονται μεταξύ τους και κατανέμονται με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε οι πρώτες να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό ποικιλομορφίας του δείγματος. Με πιο απλά λόγια, η ανάλυση κυρίων συνιστωσών είναι ένας τρόπος ανεύρεσης προτύπων σε δεδομένα μεγάλου όγκου και απόδοσης των δεδομένων με συγκεκριμένη διάταξη, με σκοπό να αναδειχθούν οι ομοιότητες ή οι διαφορές μεταξύ των μελετούμενων αντικειμένων. Είναι ιδανικό εργαλείο για μια διερευνητική ανάλυση, όπως συμβαίνει σε αυτή την πτυχιακή (Jolliffe and Cadima, 2016; Lever et.al., 2017; Mishra et.al., 2017).

Κατά την PCA αναλύθηκαν οι κύριες συνιστώσες στο δείγμα μας. Στους αστραγάλους και στις πτέρνες χωριστά εξετάστηκαν οι τέσσερις πρώτες Κύριες Συνιστώσες, αφού φαίνεται πως αυτές περικλείουν το μεγαλύτερο ποσοστό διαφορών ανάμεσα στα δείγματα (PC1, PC2, PC3, PC4 για αστράγαλο και πτέρνα).

Ύστερα, εκτελέστηκε ανάλυση απλής γραμμικής παλινδρόμησης μεταξύ τους, δηλαδή ανάλυση της σχέσης μεταξύ μιας εξαρτημένης μεταβλητής και μίας ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Η περίπτωση συσχέτισης μόνο μιας

μεταβλητής με μια άλλη και όχι πολλαπλών μεταβλητών ταυτοχρόνως ονομάζεται απλή γραμμική παλινδρόμηση. Παραδείγματα αποτελούν η $PC1_{αστραγάλου}$ με την $PC1_{πτέρνας}$, η $PC1_{αστραγάλου}$ με την $PC2_{πτέρνας}$ κ.ο.κ. Η μοναδική συσχέτιση που ευσταθεί να σχολιασθεί στην παρούσα διπλωματική είναι η συσχέτιση μεταξύ των κυρίων συνιστωσών $PC4_{αστραγάλου}$ και $PC4_{πτέρνας}$, όπου παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική άνω του μετρίου, θετική γραμμική συσχέτιση (high moderate) μεταξύ τους, δηλαδή όσο αυξάνεται η μια συνιστώσα αυξάνεται και η άλλη γραμμικά και το αντίστροφο.



Διάγραμμα 1. Γραμμική Παλινδρόμηση της κύριας συνιστώσας 4 του αστραγάλου ($PC4_{αστραγάλου}$) και της κύριας συνιστώσας 4 της πτέρνας ($PC4_{πτέρνας}$). Οι αριθμοί στο διάγραμμα αντιστοιχούν στα νούμερα των ατόμων από τη συλλογή.

Στην ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης της συγκεκριμένης διπλωματικής, το ποσοστό των διαφορών που μπορούν να εξηγηθούν από το σχήμα για την $shapePC4$ εκφράζεται ως R^2 . Στο Διάγραμμα 1 ο R^2 της παλινδρόμησης είναι $R^2 = 0,272$, ένα

ποσοστό που καλύπτει τις διαφορές του σχήματος σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο για μια διερευνητική ανάλυση.

Σημαντικό είναι ακόμη σε αυτό το σημείο να αναλυθεί ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης r . Ο συντελεστής αυτός δείχνει το πρόσημο της συσχέτισης μεταξύ δυο μεταβλητών και έχει εύρος $-1 \leq r \leq 1$. Όσο πιο κοντά στο -1 βρίσκεται ο συντελεστής, τόσο πιο ισχυρή αρνητική συσχέτιση υπάρχει, ενώ όσο πιο κοντά στο 1 βρίσκεται ο συντελεστής, τόσο πιο ισχυρή θετική συσχέτιση υπάρχει. Η κατηγοριοποίηση για τη θετική γραμμική συσχέτιση είναι η εξής:

Ικανοποιητική έως πολύ Ισχυρή, όταν $0,7 < |r| < 1$

Μέτρια έως Ικανοποιητική, όταν $0,5 < |r| < 0,7$

Ασθενής έως Μέτρια, όταν $0 < |r| < 0,5$

Στην περίπτωσή μας το $r = 0,52$. Επομένως, ανήκει στη δεύτερη κατηγορία και συγκεκριμένα είναι μια άνω του μετρίου θετική γραμμική συσχέτιση, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως.

Τέλος, φαίνεται πως ταυτόχρονα τα αποτελέσματά μας είναι στατιστικώς σημαντικά. Για να θεωρείται ένα αποτέλεσμα στατιστικώς σημαντικό πρέπει το p -value (probability value) του δείγματος -δηλαδή η πιθανότητα να πάρουμε ένα αποτέλεσμα τόσο μεγάλο αριθμητικά όσο τουλάχιστον η παρατηρούμενη τιμή- να είναι $< 0,05$. Εφόσον στο δείγμα η p -value είναι πολύ μικρή, δηλαδή p -value = $0,008$, τότε έχουμε στατιστικώς σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά τις μεταβλητές $PC4_{\text{αστραγάλου}}$ και $PC4_{\text{πτέρνας}}$.

Γενικά, για να δεχθούμε ότι έχουμε γραμμική συσχέτιση σε οποιοδήποτε μεταβλητές, πρέπει να ισχύουν δύο βασικές προϋποθέσεις. Αρχικά οι κύριες συνιστώσες και τα υπόλοιπα (residuals) των τιμών των δειγμάτων, επιβάλλεται να ακολουθούν την κανονική κατανομή. Τα υπόλοιπα είναι οι διαφορές των θεωρητικών τιμών του κάθε δείγματος από τις παρατηρούμενες. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι πως δεν πρέπει να υπάρχουν έκτοπες τιμές (outliers). Επομένως και η συσχέτιση των κυρίων συνιστωσών 4 του δείγματος πρέπει να συμμορφώνεται υπό τους ίδιους κανόνες.

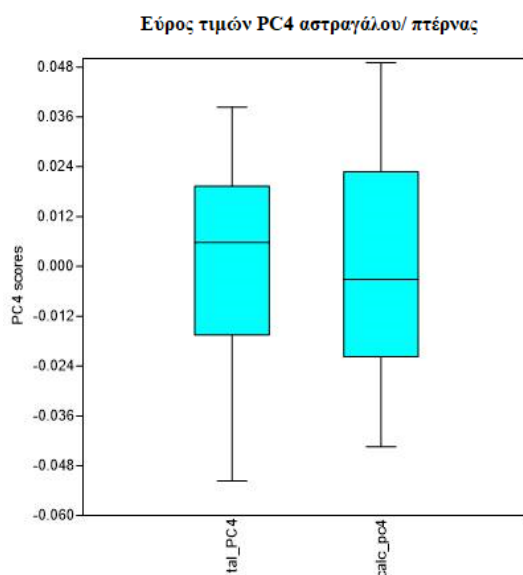
Όσον αφορά την κανονικότητα, διενεργήθηκε το στατιστικό test Shapiro- Wilk. Σε αυτό το test έχουμε μια μηδενική υπόθεση H_0 . Εάν η p -value είναι μεγαλύτερη

από το επιλεγμένο α της κατανομής (σε κανονική κατανομή $\alpha=0,05$), τότε η μηδενική υπόθεση επαληθεύεται. Έτσι σύμφωνα με αυτό, φαίνεται πως η κύρια συνιστώσα 4 (PC4) για τον αστραγάλο και την πτέρνα αντίστοιχα ακολουθεί κανονική κατανομή. Το ίδιο συμβαίνει και με τα υπόλοιπα. Συγκεκριμένα έχουμε:

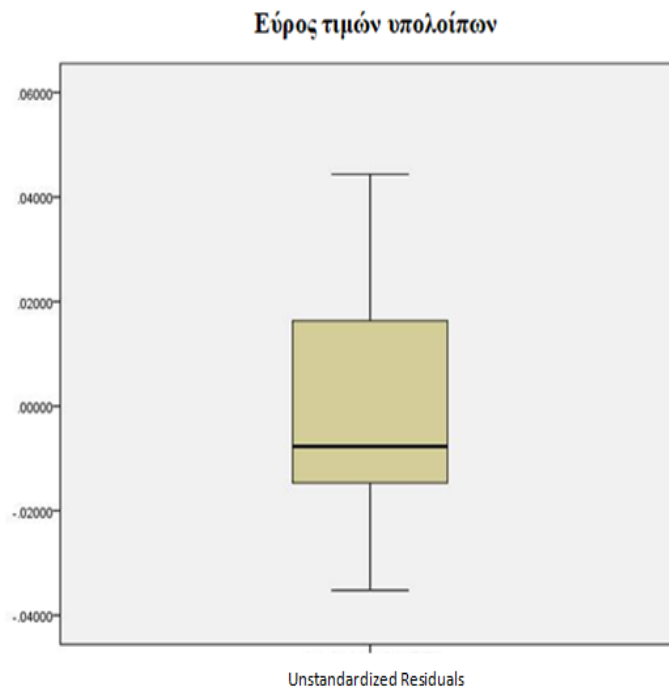
- P- value του $PC4_{αστραγάλου}= 0,34$
- P-value του $PC4_{πτέρνας}= 0,37$
- P-value των Residuals= 0,95.

Οι αριθμοί επαληθεύουν τη μηδενική υπόθεση H_0 , δηλαδή ακολουθείται η κανονική κατανομή. Επομένως, αποδεικνύεται η κανονικότητα των δειγμάτων και εκπληρώνεται η πρώτη προϋπόθεση για να έχουμε γραμμική συσχέτιση μεταξύ των δειγμάτων.

Περνώντας στη δεύτερη προϋπόθεση, στον έλεγχο για πιθανές έκτοπες τιμές, δημιουργήσαμε ένα θηκόγραμμα (boxplot) για τις τιμές της κύριας συνιστώσας 4 στο κάθε δείγμα του αστραγάλου και της πτέρνας και ένα για τις τιμές των υπολοίπων των δειγμάτων. Εάν υπάρχουν έκτοπες τιμές εμφανίζονται στο διάγραμμα ως κουκκίδες εκτός του θηκογράμματος. Από τα θηκογράμματα παρακάτω, είναι εμφανές πως δεν υφίστανται έκτοπες τιμές και επομένως, δεν υπάρχουν τιμές που να επηρεάζουν την ανάλυσή μας.



Διάγραμμα 2. Θηκόγραμμα τιμών PC4 των δειγμάτων των αστραγάλων (αριστερά) και των πτερνών (δεξιά). Δεν παρατηρούνται έκτοπες τιμές.



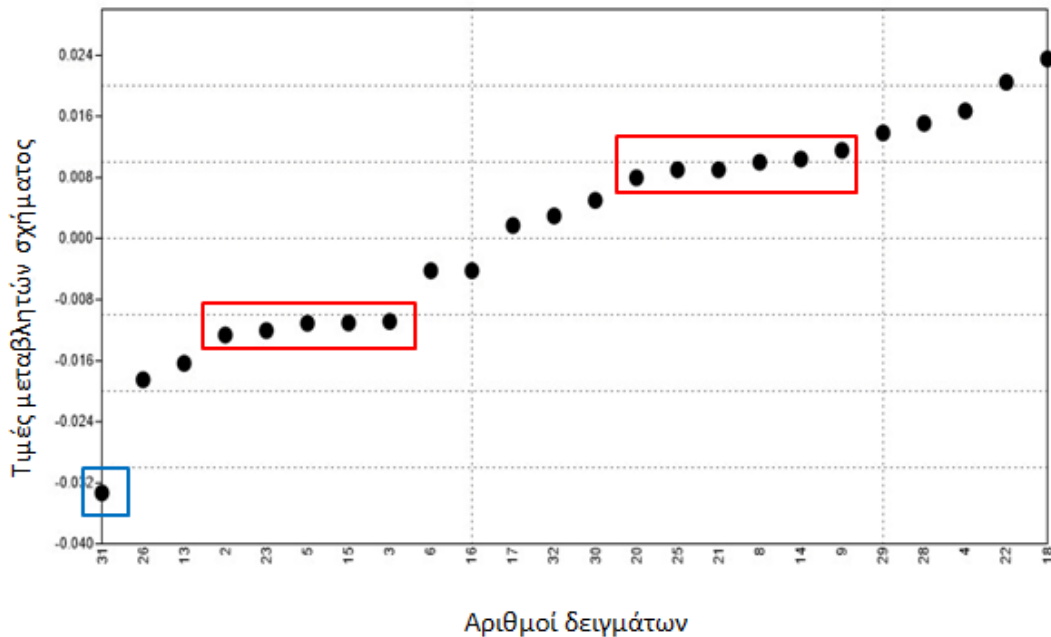
Διάγραμμα 3. Εύρος τιμών υπολοίπων των δειγμάτων. Δεν παρατηρούνται έκτοπες τιμές.

Εφόσον πληρούνται αυτές οι προϋποθέσεις μπορούμε να αποδεχθούμε τα αποτελέσματα που προκύπτουν από το Διάγραμμα 1 της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, δηλαδή ότι παρατηρείται στατιστικώς σημαντική άνω του μετρίου θετική γραμμική συσχέτιση μεταξύ των $PC4_{αστραγάλου}$ και $PC4_{πτέρνας}$.

Με τη συγκέντρωση των δεδομένων των ανωτέρω είναι πλέον δυνατή η εξέταση του ζητούμενου της πτυχιακής, δηλαδή ο έλεγχος της δυνατότητας του διαχωρισμού των ζευγών αστραγάλου και πτέρνας πολλών ατόμων σε μια υπόθεση συμφορμού με τη μέθοδο της γεωμετρικής μορφομετρίας.

Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήσαμε μια διαγραμματική απεικόνιση πρόβλεψης σχήματος (shape prediction model). Έγινε σύγκριση όλων των δειγμάτων των αστραγάλων με όλα τα δείγματα των πτερνών και ύστερα τα ζεύγη τοποθετήθηκαν ανάλογα με το σχήμα τους στο διάγραμμα. Στο Διάγραμμα 4 λοιπόν, παρατηρούμε τα ζεύγη των οστών, καθώς και τα πιθανά γειτονικά τους ζεύγη.

Πρόβλεψη σχήματος



Διάγραμμα 4. Σχηματική απεικόνιση των δειγμάτων. Οι γειτονικοί αριθμοί ταιριάζουν περισσότερο σε σχήμα. Οι αριθμοί των δειγμάτων αναφέρονται στους αριθμούς της σκελετικής συλλογής.

Έτσι στο Διάγραμμα 4 είναι αντιληπτό ότι μπορούμε με σιγουριά να θεωρήσουμε πως ο αστράγαλος του ατόμου 31 της συλλογής έχει διαφορετικό σχήμα σε σύγκριση με το γειτονικό του (άτομο 26), αλλά και με όλα τα υπόλοιπα άτομα του δείγματος. Άρα ο αστράγαλος του ατόμου 31 είναι ζεύγος με την πτέρνα του ατόμου 31 και μόνο (μπλε ορθογώνιο), δηλαδή έχουμε ένα επιτυχές συνταίριασμα οστών. Αντίθετα παρατηρούμε πως σε άλλα ζεύγη δεν είναι τόσο ευδιάκριτος ο διαχωρισμός τους από τα υπόλοιπα. Για παράδειγμα ο αστράγαλος του ατόμου 2 της συλλογής μπορεί να είναι ζεύγος με την πτέρνα του ίδιου ατόμου, αλλά και των ατόμων 23, 5, 15, 3, αφού όλα αυτά έχουν παρόμοιο σχήμα χωρίς αισθητές διαφορές. Αντίστοιχα, το ίδιο ισχύει και για τα ζεύγη των ατόμων 20, 25, 21, 8, 14, 9 (κόκκινο ορθογώνιο).

Συμπερασματικά, φαίνεται πως μπορεί είτε να υπάρξει επιτυχής συναρμογή οστών είτε απλά να υπάρξει περιορισμός των πιθανών οστικών ζευγών, γεγονός που συμβάλλουν εξαιρετικά σε μια ανάλυση με μεγάλο αριθμό ατόμων και ειδικά σε περίπλοκες υποθέσεις οστικού συμφυρμού.

6. Συζήτηση

Σε αυτό το σημείο σημαντικό είναι να διευκρινιστεί πως η έρευνα που διεξήχθη σε αυτή την διπλωματική εργασία ανήκει στο διερευνητικό φάσμα των ερευνών. Τα δεδομένα που προκύπτουν επιβάλλεται να επανεξεταστούν, καθώς και νέα ερωτήματα πρέπει να απαντηθούν. Γενικά, τα αποτελέσματα από την ανάλυση αυτή είναι ελπιδοφόρα και έδειξαν πως η γεωμετρική μορφομετρία μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο σε ανθρωπολογικές μελέτες στο μέλλον.

Περνώντας στη μορφή των οστών αυτής της διπλωματικής, παρατηρήθηκε πως η εμπρόσθια πλευρά της μελετούμενης αρθρικής επιφάνειας του αστραγάλου και της πτέρνας, παρουσίασε ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Αυτή η πλευρά του οστού έχει ιδιαίτερη μορφολογία, διαφορετική για κάθε άτομο. Επιπλέον, ακόμη και σε προχωρημένες ηλικίες, που εμφάνιζαν οστεόφυτα περιμετρικά του οστού, η συγκεκριμένη πλευρά φαίνεται πως δεν επηρεαζόταν καθόλου από τα χαρακτηριστικά του γήρατος. Συνεπώς, το επόμενο βήμα σε αυτή τη μελέτη θα ήταν μια καλύτερη ανάλυση της συγκεκριμένης πλευράς, δηλαδή μια ανάλυση καμπύλης (curve analysis). Έτσι, ίσως και να ήταν δυνατή η απομόνωση της πλευράς με σκοπό την λήψη πληροφοριών που να είναι ειδικές για κάθε άτομο και επομένως να έχουμε πιο άμεση και εύκολη ταξινόμηση ατόμων μέσω του αστραγάλου και της πτέρνας σε μια υπόθεση οστικού συμφορμού.

Επιπροσθέτως, ένα χρήσιμο βοήθημα θα ήταν η ορθή ομαδοποίηση των οστικών ζευγών, ειδικά όταν επαναληφθεί το πείραμα σε μεγαλύτερο δείγμα. Η ομαδοποίηση αυτή θα γίνει με τη μέθοδο leave-one-out classification. Στη μέθοδο αυτή αφαιρούμε τυχαία ένα άτομο από το δείγμα και φτιάχνουμε έναν αλγόριθμο ομαδοποίησης με βάση τα υπόλοιπα οστικά ζεύγη. Έπειτα, τοποθετούμε το άτομο που αφαιρέσαμε στον αλγόριθμο και έτσι προσδίδεται σε αυτό μια «ομάδα», δηλαδή πλέον ανήκει σε μια κλάση του δείγματος. Επαναλαμβάνουμε το ίδιο αφαιρώντας όλα τα οστά του δείγματος με τη σειρά και επαναπροσθέτοντας τα στον αλγόριθμο. Έτσι τελικώς θα έχουμε τα οστικά ζεύγη σε ομάδες ή κλάσεις μέσα στο δείγμα μας και μπορεί να πραγματοποιηθεί μια ευκολότερη ανάλυση ή απλά να περιοριστεί ο πιθανός αριθμός ζευγών.

Μια ακόμη καλή προσέγγιση που θα μπορούσε να διεξαχθεί στο μέλλον είναι ο καθρεπτισμός (mirroring) των οστών. Στην πτυχιακή χρησιμοποιήσαμε οστά της

δεξιάς πλευράς του ανθρώπου, δηλαδή τον δεξιό αστράγαλο και τη δεξιά πτέρνα. Σε μια υπόθεση οστικού συμφυρμού όμως, δεν είναι απαραίτητο, ότι θα ανευρεθούν τα οστά της συγκεκριμένης πλευράς. Έτσι θα ήταν πρακτικό να γνωρίζουμε, εάν υπάρχει καθρεπτισμός μεταξύ των οστών, δηλαδή εάν η έρευνα που διενεργήσαμε για τη δεξιά πλευρά των οστών, θα είχε τα ίδια αποτελέσματα και στην αριστερή πλευρά και συνεπώς να μπορούμε να επαναλάβουμε τα παραπάνω βήματα για οστό οποιασδήποτε πλευράς έχουμε στη διάθεσή μας.

Όσον αφορά τώρα τους παράγοντες που επηρεάζουν ένα οστό, όπως το φύλο, η ηλικία, το επάγγελμα κ.ά., παρατηρούμε πως το δείγμα της διπλωματικής υπήρξε μεροληπτικό όσον αφορά στο ζήτημα της ηλικίας. Επειδή τα περισσότερα άτομα προέρχονται από κοιμητήρια, ο μέσος όρος ηλικίας του δείγματος είναι 64,3 ετών, αφήνοντας έτσι ένα μεγάλο εύρος ατόμων εκτός της έρευνας. Αν και μικρό το δείγμα των ατόμων κάτω των 50 ετών (2 άτομα), η χρονική διάρκεια ζωής τους δε φαίνεται να επηρεάζει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Επιπλέον, η ηλικία των γηρασμένων ατόμων (άνω των 75 ετών, 8 άτομα), δεν είχε κάποια σαφή επίπτωση στα συμπεράσματά μας. Συγκεκριμένα το σχήμα των οστών τους παρουσίαζε ομοιότητες με άλλα νεότερα άτομα (π.χ. άτομο 2, κοινή «ομάδα» ζευγών με άτομο 23). Αντίθετα, το ανήλικο άτομο είχε σημαντική επιρροή και αποκλείστηκε από τη μελέτη. Ενδεχομένως πριν την πλήρη διάπλαση του οστού η ηλικία να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο. Συνεπώς ίσως να είναι δυνατό για τον ανθρωπολόγο να μπορεί να προσδιορίσει ηλικιακά ένα άτομο με μεγαλύτερη σαφήνεια σε νεαρή ηλικία, σε αντιστοιχία με ένα άτομο μεγαλύτερης ηλικίας. Γενικά, θα έπρεπε να υπάρξει μια διαφορετική έρευνα για άτομα κάτω των 18 ετών στο μέλλον, καθώς η ηλικία φαίνεται να είναι σημαντικός παράγοντας για το σχήμα του οστού.

Από την άλλη, ο παράγοντας του φύλου δεν επιδρά στο σχήμα του οστού. Συγκρίνοντας το Διάγραμμα 4 της πρόβλεψης σχήματος με τις πληροφορίες του Πίνακα 2 τα δύο φύλα πολλές φορές συναντώνται σε κοινές ομάδες, χωρίς να διαχωρίζονται μεταξύ τους με ακρίβεια. Επιπλέον, δεν υφίσταται διαμοιρασμός ούτε κατά μήκος της καμπύλης του διαγράμματος ούτε και μεταξύ των θετικών και αρνητικών τιμών των μεταβλητών. Συνεπώς, το φύλο δεν είναι ένας παράγοντας που θα έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν σε αυτή τη μελέτη.

Τέλος, μπορεί να υπήρξε περιορισμός ζευγών με βάση το σχήμα στην εργασία, αλλά όπως παρατηρούμε από το Διάγραμμα 4. το γεγονός αυτό δεν είναι το σύνηθες.

Τα περισσότερα οστικά ζεύγη τοποθετούνται ανά «ομάδες» και δε διαχωρίζονται ξεκάθαρα μεταξύ τους. Πιθανώς, λοιπόν, η γεωμετρική μορφομετρία να μην είναι εφικτό να σταθεί μόνη της σε ένα ανθρωπολογικό πλαίσιο, αλλά σε συνδυασμό με άλλες σχετικές μεθόδους, όπως αυτές που αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος, μπορεί να δώσει άμεση λύση στο πρόβλημα του συμφυρμού. Μια απλή και άμεση προσέγγιση θα ήταν να συνδυαστεί με μακροσκοπικές τεχνικές, που περιγράφηκαν στη θεωρία, όπως τη σύγκριση του χρώματος, της υφής, του μεγέθους και της άρθρωσης ή μη του οστού. Αποδεκτός θα ήταν και ο συνδυασμός με οστεομετρικές έρευνες, όπως αυτή του Byrd (2008), όπου συγκρίνονται τα μεγέθη των μακρών οστών μεταξύ τους. Όμως, τα μακρά οστά πολλές φορές σε υποθέσεις οστικού συμφυρμού δε διατηρούνται άθικτα. Ακόμη η σάρωση των μακρών οστών είναι μια περίπλοκη διαδικασία, που δυσχεραίνει την ανάλυση.

Η πιο ορθή προσέγγιση θα ήταν ο συνδυασμός της γεωμετρικής μορφομετρίας με μια αντικειμενική οστεομετρική μέθοδο, που να διαχωρίζει τα οστά με βάση έναν διαφορετικό παράγοντα από το σχήμα των αρθρικών τους επιφανειών. Μια τέτοια έρευνα είναι και των Anastoroulou et. al. (2018) με τον παράγοντα του μεγέθους. Έτσι εξετάζονται οι δύο από τους τρεις βασικούς παράγοντες που περιγράφουν ένα οστό και μπορεί να δοθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και συχνότητα ένα μοναδικό ζεύγος οστών. Ως παράδειγμα, μπορούμε να θεωρήσουμε το άτομο 2 σε αριθμό της σκελετικής συλλογής. Στη δική μας εργασία το άτομο 2 ανήκε σε μια «ομάδα» μαζί άλλα με πιθανά ζεύγη. Επομένως, σύμφωνα με τη γεωμετρική μορφομετρία η πτέρνα του ατόμου 2 της συλλογής μπορεί να είναι ζεύγος με τον αστράγαλο του ίδιου ατόμου, αλλά και των ατόμων 23, 5, 15, 3, αφού το σχήμα των οστών τους δεν έχει διακριτές διαφορές. Από την άλλη σύμφωνα με την έρευνα των Anastoroulou et. al. της το ίδιο άτομο ανήκει μετρικά σε μια «ομάδα» μαζί με τα οστά των ατόμων 27, 28, 9 και 19. Συνδυάζοντας, λοιπόν, τον παράγοντα μεγέθους με τον παράγοντα σχήματος στην παρούσα εργασία παρατηρούμε πως έχουμε μοναδικό ζεύγος και στο άτομο 2. Επομένως, ο συγκερασμός των δύο αυτών μεθόδων φαίνεται να είναι καρποφόρος και είναι συνετό να επεκταθεί η αντίστοιχη έρευνα και στα υπόλοιπα οστά του δείγματος. Συμπερασματικά, ο συγκερασμός μεθόδων, όπως αυτές που αναφέρθηκαν ανωτέρω, ή η επανεξέτασή τους με τη μέθοδο της γεωμετρικής μορφομετρίας, συμβάλλουν ουσιαστικά σε ανθρωπολογικά περιστατικά.

Όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα, η μέθοδος της γεωμετρικής μορφομετρίας παρέχει σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των άλλων μεθόδων, αφού σε ορισμένες περιπτώσεις υπήρξε ακόμη και επιτυχές συνταίριασμα οστών, γεγονός που δεν έχει παρατηρηθεί με αντίστοιχη ακρίβεια σε άλλη παλαιότερη μέθοδο. Από την άλλη, αυτά τα αποτελέσματα πρέπει να επαναληφθούν με την ίδια μέθοδο, αλλά σε μεγαλύτερο δείγμα πληθυσμού, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη στατιστική αξιοπιστία των δεδομένων. Αυτό η επαναληπτική έρευνα θα επαληθεύσει τα αποτελέσματα της διερευνητικής αυτής προσέγγισης και πιθανόν θα συμβάλλει στην ανάπτυξη κριτηρίων διαχωρισμού των «ομάδων» ζευγών που προκύπτουν σε μια ανάλυση πρόβλεψης σχήματος.

Συμπερασματικά, η γεωμετρική μορφομετρία αποτελεί τεχνική με μεγάλη εφαρμογή στην ανθρωπολογική έρευνα. Από τα ελάχιστα μέχρι τώρα δεδομένα φαίνεται να προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συμβατικών μεθόδων και ειδικά σε δύσκολες και περίπλοκες ανθρωπολογικές υποθέσεις, όπως αυτές στις οποίες παρατηρείται εκτεταμένος συμφυρμός των οστών. Παρ' όλα αυτά, είναι απαραίτητη η περαιτέρω έρευνα στον τομέα, έτσι ώστε να αποκτήσουμε καλύτερα εφόδια προς επίλυση τέτοιων ζητημάτων στο μέλλον.

Βιβλιογραφία

Άρθρα:

1. Adams, D. C., Rohlf, F. J. & Slice, D. E. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. *Italian Journal of Zoology* 71, 5–16 (2004).
2. Adams, B.J. & Konigsberg, L.W. Estimation of the most likely number of individuals from commingled human skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 125 (2): 138–151 (2004).
3. Adams, B. J. & J. E. Byrd. Resolution of small-scale commingling: A case report from the Vietnam War. *Forensic Science International* 156(1): 63–69 (2006).
4. Alonso, A., Martín, P., Albarran, C., García, P., Fernandez de Simon, L., Jesus Iturralde, M., Fernandez- Rodríguez, A., Atienza, I., Capilla, J., García-Hirschfeld, J., Martínez, P., Vallejo, G, García, O., Real, P., Alvarez, D., Leon, A. & Sancho, M. Challenges of DNA profiling in mass disaster investigations. *Croatian Medical Journal* 46: 540–548 (2005).
5. Anastopoulou, I., Karakostis, F. A., Borrini, M. & Moraitis, K. A Statistical Method for Reassociating Human Tali and Calcanei from a Commingled Context. *Journal of Forensic Sciences* 63: 381–385 (2017).
6. Anastopoulou, I., Karakostis, F. A. & Moraitis, K. A Reliable Regression-Based Approach for Reassociating Human Skeletal Elements of the Lower Limbs from Commingled Assemblages. *Journal of Forensic Sciences* 64: 502–506 (2018).
7. Baker, P. T. & Newman, R.W. The use of bone weight for human identification. *American Journal of Physical Anthropology* 15(4): 601–618 (1957).
8. Bastir, M., Tamayo, N. T., Riesco, A. & García-Martínez, D. Workflows in a Virtual Morphology Lab : 3D scanning, measuring and printing. *Journal of Anthropological Sciences* 97: 1–28 (2019).
9. Bekiesinska-Figatowska, M., Jurkiewicz, E., Duczkowski, M., Duczkowska, A., Romaniuk-Doroszevska, A., Bragoszevska, H. & Ceran, A. Congenital

- CNS Tumors Diagnosed on Prenatal MRI. *The Neuroradiology Journal* 4: 477-481 (2011).
10. Bookstein, F.L. *Morphometric tools for landmark data*. Cambridge University Press, Cambridge. (1991).
 11. Bookstein, E L. A hundred years of morphometrics. *Acta Zoologica Hungarica* 44:7-59 (1998).
 12. Byrd, J. E. & Adams, B.J. Osteometric sorting of commingled human remains. *Journal of Forensic Sciences* 48(4):717–724 (2003).
 13. Dwight, T. *The identification of the Human Skeleton: a medico-legal study*. (1878).
 14. Ebrahim, M. A. B. 3D Laser Scanners' Techniques Overview. *International Journal of Science and Research* 4: 323–331 (2013).
 15. Fieller, N.R.J. & Turner, A. Number estimation in vertebrate samples. *Journal of Archaeological Science* 9: 49–62 (1982).
 16. Friess, M. Scratching the surface? The use of surface scanning in physical and paleoanthropology. *Journal of Anthropological Sciences* 90: 7-31 (2012).
 17. Garrido-Varas, C., Rathnasinghe, R., Thompson T. & Savriama Y. A new method to pair-match metacarpals using bilateral asymmetry and shape analysis. *Journal of Forensic Sciences* 60 (1): 118-123 (2015).
 18. Gualdi-Russo, E. Sex determination from the talus and calcaneus measurements. *Forensic Science International* 171: 151–156 (2007).
 19. Holland D. Brief Communication: Estimation of Adult Stature From the Calcaneus and Talus. *American Journal of Physical Anthropology* 96: 315–320 (1995).
 20. Howard H. A census of the Pleistocene birds of Rancho La Brea from the collections of the Los Angeles Museum. *Condor* 32: 81–88 (1930).
 21. Jessee, E. & Skinner, M. A typology of mass grave and mass grave-related sites. *Forensic Science International* 152: 55-59 (2005).
 22. Jolliffe, I. T. & Cadima, J. Principal component analysis : a review and recent developments. *Philosophical Transaction of the Royal Society* 374: 1–16 (2016).
 23. Karakostis, F. A., Le Quéré, E., Vanna, V. & Moraitis, K. Assessing the effect of manual physical activity on proximal hand phalanges using Hellenistic and

- modern skeletal samples from Greece. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology* 67: 110–124 (2016).
24. Karakostis, F. A., Hotz, G., Scherf, H., Wahl, J. & Harvati, K. A repeatable geometric morphometric approach to the analysis of hand enthesal three-dimensional form. *American Journal of Physical Anthropology* 166: 246-260 (2018).
 25. Kendall D. G. The diffusion of shape. *Advances in Applied Probability* 9: 428-430 (1977).
 26. Kendall D. G. Shape-manifolds, Procrustean metrics and complex projective spaces. *Bulletin of London Mathematical Society* 16: 81-121 (1984).
 27. Keough, M.E., Simmons, T. & Samuels M. Missing persons in post-conflict settings: Best practices for integrating psychosocial and scientific approaches. *The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health* 124(6): 271-275 (2004).
 28. Kerley, E. & Ubelaker, D. Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *American Journal of Physical Anthropology* 49 (4): 545-546 (1978).
 29. Krähenbühl, N., Horn Lang, T., Hintermann, B. & Knupp, M. The subtalar joint. *EFORT Open Reviews* 2: 309- 316 (2017).
 30. Krantz, G.S. A new method of counting mammal bones. *American Journal of Archaeology* 72: 286–288 (1968).
 31. Kuzminsky, S. C. & Gardiner, M. S. Three-dimensional laser scanning: Potential uses for museum conservation and scientific research. *Journal of Archaeological Science* 39: 2744–2751 (2012).
 32. Lever, J., Krzywinski, M. & Altman, N. Points of Significance: Principal component analysis. *Nature Methods* 14: 641–642 (2017).
 33. Mitteroecker, P. & Gunz, P. Advances in Geometric morphometrics. *Journal of Evolutionary Biology* 36: 235–247 (2009).
 34. Moraitis, K. & Spiliopoulou, C. Forensic implications of carnivore scavenging on human remains recovered from outdoor locations in Greece. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 17: 298–303 (2010).
 35. Mundorff, A. Z. Integrating forensic anthropology into disaster victim identification. *Forensic Science, Medicine and Pathology* 8: 131–139 (2011).

36. Nikita, E. & Lahr, M. M. Simple algorithms for the estimation of the initial number of individuals in commingled skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 146: 629–636 (2011).
37. Recheis, W., Weber, G. W. & Schäfer K. Virtual reality and anthropology. *European Journal of Radiology* 31: 88-96 (1999).
38. Rodriguez, W. Methods and Techniques for Sorting Commingled Remains: Anthropological and Physical Attributes. Paper presented at the American Academy of Forensic Science, New Orleans. (2005).
39. Rohlf, F. J., & Slice, D. E. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39: 40–59 (1990)
40. Rohlf, F. J., & Marcus, L. F. A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8(4): 129–132 (1993).
41. Slice, D.E. Geometric Morphometrics. *Annual Review of Anthropology* 36: 261–281 (2007).
42. Snow, C. E. The identification of the unknown war dead. *American Journal of Physical Anthropology* 6: 323–328 (1948).
43. Snow, C. & Folk, E. D. Statistical assessment of commingled skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 32: 423–427 (1965).
44. Snow, C. & Folk, E. D. Statistical assessment of commingled skeletal remains. *American Journal of Physical Anthropology* 32: 423–427 (1970).
45. Steele, D. G. The estimation of sex on the basis of the talus and calcaneus. *American Journal of Physical Anthropology* 45: 581–588 (1976).
46. Stock, C. A census of the Pleistocene mammals of Rando La Brea, based on the collections of the Los Angeles Museum. *Journal of Mammalogy* 10: 281–289 (1929).
47. Ubelaker, D. & Prince, D. Application of Lamendin's Adult Dental Aging Technique to a Diverse Skeletal Sample. *Journal of Forensic Sciences* 47(1): 107-16 (2002).
48. Weber, G.W. Virtual Anthropology. *American Journal of Physical Anthropology* 156: 22-42 (2015).
49. Webster, M. & Sheets, H. D. A practical introduction to landmark- based geometric morphometrics. *The Paleontological Society* 16: 163- 188 (2010).

50. Wilbur, A. K. The Utility of Hand and Foot Bones for the Determination of Sex and the Estimation of Stature in a Prehistoric Population from West-Central Illinois. *International Journal of Osteoarchaeology* 8: 180–191 (1998)
51. Zhang, Z. & Castelló, A. Principal components analysis in clinical studies. *Annals of Translation Medicine* 5 3–9 (2017).

Βιβλία - Κεφάλαια βιβλίων:

1. Adams BJ, Konigsberg LW. (2008). How many people? Determining the number of individuals represented by commingled human remains. 241–256. In: Recovery, analysis and identification of commingled human remains. Eds: Adams, B.J., Byrd, J.E. New York: Humana Press.
2. Adams, B., Byrd, J. (2008). Recovery, analysis, and identification of commingled human remains. New York: Humana Press.
3. Adams, B.J., Byrd, J.E. (2014). Commingled Human Remains Methods in Recovery, Analysis, and Identification. Oxford: Elsevier.
4. Buikstra, J.E., Gordon, C.C., St. Hoyme, L. (1984). The case of the severed skull: Individuation in forensic anthropology. 121–135. In: Human Identification: Case Studies in Forensic Anthropology. Eds: Rathburn, T.A., Buikstra, J.E. Springfield, Ill.: Charles C. Thomas.
5. Byrd J. (2008). Models and methods for osteometric sorting. 199–220. In: Recovery, analysis, and identification of commingled human remains. Eds: Adams, B., Byrd, J. New York: Humana Press.
6. Dryden, I. L., Mardia, K. V. (1998). Statistical shape analysis. New York: John Wiley & Sons.
7. Ebrahim, M. (2011). 3D Laser Scanners: History, Applications and Future. Mauritius: Lambert Academic Publishing.
8. Katzenberg, A. M., Saunders, R.S. (2008). Biological Anthropology of the Human Skeleton. New York: John Wiley & Sons.
9. Klepinger, L. (2006). Fundamentals of Forensic Anthropology. New York: John Wiley & Sons.
10. Kontanis, E. J., Sledzik, P. S. (2008). Resolving Commingling Issues During the Medicolegal Investigation of Mass, Fatality Incidents. 317-336. In:

- Recovery, analysis and identification of commingled human remains. Eds: Adams, B. J., Byrd, J. E. New York: Humana Press.
11. Krogman, M. W. (1962). *The human skeleton in forensic medicine*. Springfield Ill.
 12. Lyman, R.L. (1994). *Vertebrate Taphonomy*. New York: Cambridge University Press.
 13. Mayo, D. (2003). Severe testing as a guide for inductive learning. In: *Probability Is the Very Guide of Life: The Philosophical Uses of Chance*. Eds: Kyburg, H. E. Jr., Thalos M. Chicago: Open Court.
 14. Mundorff, A.Z, Shaler, R., Bieschke E., Mar-Cash E. (2008). *Marrying Anthropology and DNA: Essential for Solving Complex Commingling Problems in Cases of Extreme Fragmentation*. 285- 301. In: *Recovery, analysis and identification of commingled human remains*. Eds: Adams, B. J., Byrd, J.E. New York: Humana Press.
 15. Pickering, R., Bachman D. (1997). *The Use of Forensic Anthropology*. New York: CRC Press.
 16. Perrone, A., Finlayson, J. E., Bartelink, E.J., Dennis, K. (2014). *Application of Portable X-ray Fluorescence (XRF) for Sorting Commingled Human Remains*. 145-165. In: *Commingled Human Remains: Methods in Recovery, Analysis, and Identification*. Eds: Adams, B. J., Byrd, J. E. New York: Humana Press.
 17. Slice, D.E. (2005b). *Modern Morphometrics In Physical Anthropology*. New York: Kluwer Acad./Plenum.
 18. Steward, T. (1979). *Essentials of Forensic Anthropology*. Springfield Ill.
 19. Thompson, D. W. (1917a). *On Growth and Form*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
 20. Tocheri, M.W. (2009). *Laser Scanning: 3D analysis of biological surfaces*. 85–101. In: *Advanced Imaging in Biology and Medicine: Technology, Software Environments, Applications*. Eds: Sensen, C. W., Hallgrimsson, B. Berlin: Springer.
 21. Walsh- Haney, H. A., Warren, M. W., Freas, L. E. (2008). *The Forensic Anthropology Laboratory*. New York: CRC Press.
 22. White, T. D., Folkens, P. A. (2005). *The Human Bone Manual*. Oxford: Elsevier.

23. White, T. D., Black, M. T., Folkens, P. A. (2012). Human Osteology. Oxford: Elsevier.

Παρουσιάσεις:

1. Adriaens D. (2005). Workshop "deformities in fish larvae". In: Geometric morphometrics as a useful tool for visualising and analysing deformities in fish.
2. Callieri, M., Ranzuglia, G., Dellepiane, M., Cignoni, P. & Scopigno, R. (2012). Meshlab as a Complete Open Tool for the Integration of Photos and Colour with High- Resolution 3D Geometry Data. Proceedings of the 40th Conference in Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Southampton, United Kingdom,406–416.
3. Tuller, H., Hofmeister, U., Daley, S. (2005). The Importance of Body Deposition Recording in Event Reconstruction and the Reassociation and Identification of Commingled Remains. Paper presented at the 57th Annual Meeting of American Academy of Forensic Science, New Orleans.
4. Cignoni, R., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: an Open-Source Mesh Processing Tool. Eurographics Italian Chapter Conference.
5. Hirst, C. S., White, S., Smith, S. E. (2018). Standardisation in 3D Geometric Morphometrics: Ethics, Ownership and Methods. Archaeologies: Journal of the World Archaeological Congress.
6. Tokkari, N., Verdaasdonk, R. M., Liberton, N., Wolff, J., Heijer, M., Veen, A., Klaessens, J. H. (2017). Comparison and use of 3D scanners to improve the quantification of medical images (surface structures and volumes) during follow up of clinical (surgical) procedures. Conference Paper.

Διπλωματικές εργασίες:

1. Chew, K. R. (2014). The Use of Osteometric Sorting Techniques to Aid in the Resolution of a Large Scale Commingling: The Piggot Ossuary Site (31CR14). Thesis, North Carolina State University, Master of Arts, Anthropology

2. Garrido Varas, E. C. (2013). An Investigation into Bilateral Asymmetry of the Appendicular Skeleton of the Adult Human and its Use in Physical and Forensic Anthropology. Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, Teesside University.

Ιστοσελίδες:

1. www.artec3d.com
2. <https://www.cancer.org/cancer/osteosarcoma/about/what-is-osteosarcoma.html>
3. <https://www.r-project.org/>