



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

**Ανάπτυξη μεθοδολογίας φυλετικού προσδιορισμού με εφαρμογή
τριδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρικής ανάλυσης (3DGM) σε κρανία
σύγχρονου ελληνικού πληθυσμού**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Μαρία – Ελένη Χοβαλοπούλου

Τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Ε. Βαλάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής (επιβλέπων)

Π. Παπαζαφείρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια

Π. Παυλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής

Επταμελής Εξεταστική επιτροπή:

Ε. Βαλάκος, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Π. Παπαζαφείρη, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΚΠΑ

Π. Παυλάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΚΠΑ

Κ. Ηλιόπουλος, Λέκτορας Πανεπιστημίου Λίβερπουλ Τζον Μουρς

Κ. Μωραΐτης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΚΠΑ

Γ. Παναγιάρης, Καθηγητής ΣΑΕΤ/ΤΕΙ Αθήνας

Χ. Παπαγεωργοπούλου, Επίκουρη Καθηγήτρια Δημοκριτείου Πανεπιστημίου Θράκης

Αθήνα, 3 Ιουλίου, 2014

Η έγκριση διδακτορικής διατριβής από το Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών δε δηλώνει αποδοχή της άποψης του συγγραφέα.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διατριβής, η οποία πραγματοποιήθηκε στον τομέα Φυσιολογίας Ζώων και Ανθρώπου, του τμήματος Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και συγκεκριμένα στις εργαστηριακές εγκαταστάσεις της Σύγχρονης Συλλογής Αναφοράς, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους, καθηγητές και λοιπούς συναδέλφους, οι οποίοι συνέβαλαν στη διεκπεραίωση της.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον αφυπηρετήσαντα το 2011 Αναπληρωτή Καθηγητή Σωτήρη Κ. Μανώλη, για την εμπιστοσύνη του και το ενδιαφέρον θέμα που μου προσέφερε στο συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα. Τον ευχαριστώ επίσης για την υποστήριξη και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον επιβλέποντα από το 2011 Αναπληρωτή Καθηγητή Ευστράτιο Βαλάκο, διότι χωρίς την βοήθειά του, η ολοκλήρωση της μελέτης θα ήταν αδύνατη. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής κ. Π. Παπαζαφείρη και κ. Π. Παυλάκη για τις υποδείξεις τους. Οι ευχαριστίες μου επεκτείνονται και στα τέσσερα μέλη της επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής κ. Κ. Ηλιόπουλο, κ. Κ. Μωραΐτη, κ. Γ. Παναγιάρη και κ. Χ. Παπαγεωργοπούλου.

Κατά τη διάρκεια της ερευνητικής μου μελέτης είχα την χαρά να συνεργαστώ με τις Δρ. Βελισσαρία Βάννα και Δρ. Σύλβια Παπαβασιλείου, τις οποίες θα ήθελα να ευχαριστήσω για τις πολύτιμες συμβουλές που μου παρείχαν ως προς τη συγγραφή της έρευνας, ενώ ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω και στον Δρ. Γιώργο Λύρα για την τεχνική υποστήριξη κατά την διεξαγωγή της.

Θα ήταν παράλειψή μου, επίσης, να μην ευχαριστήσω τον Δρ. Δημήτρη Μιχαηλίδη καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες, Stephanie Calce και Κώστα Σαγώνα για την βοήθεια τους και την πολύ καλή συνεργασία που αναπτύξαμε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την αδερφή μου και γλωσσολόγο, Χοβαλοπούλου Άννα για την γλωσσική επιμέλεια αυτής της διατριβής καθώς και την οικογένεια μου για την ηθική τους υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας.

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	i
Περίληψη	iv
Abstract	vi
Πίνακας Συντμήσεων – Πηγές Εικόνων	vii
Πίνακας και Εικόνες Ανατομικών – Μαθηματικών Αναφορικών Σημείων	viii
1. Εισαγωγή	1
1.1. Ανατομία και ανάπτυξη του κρανίου	2
1.1.1. Ανατομία	2
1.1.1.1. Το νευροκράνιο	3
1.1.1.2. Το σπλαγχνοκράνιο	3
1.1.2. Ανάπτυξη	4
1.2. Φυλετικός διμορφισμός στο κρανίο	7
1.3. Μέθοδοι προσέγγισης φυλετικού διμορφισμού	9
1.3.1. Μορφολογικές μέθοδοι	10
1.3.2. Μετρικές μέθοδοι	12
1.3.3. Γεωμετρικές Μορφομετρικές μέθοδοι	15
2. Σκοπός της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής	20
3. Υλικό και Μέθοδοι	21
3.1. Υλικό	21
3.2. Όργανο συλλογής	21
3.3. Μεθοδολογία	22
3.4. Επεξεργασία ψεύδο-αναφορικών σημείων	23
3.5. Ανάλυση Δεδομένων	24
3.5.1. Γενικά	24
3.5.2. Υπέρθηση Προκρούστη και Γενικευμένη Ανάλυση Προκρούστη	24
3.5.3. Goodall's F τεστ	26
3.5.4. Πολυμεταβλητή Ανάλυση	27
3.5.4.1. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών	27
3.5.4.1.1. «Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος» (Shape space – Kendall's shape space)	28
3.5.4.1.2. «Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη» (Form space)	28

3.5.4.2. Διαχωριστική Ανάλυση – Λογιστική Παλινδρόμηση	29
3.5.4.2.1. Διαχωριστική Ανάλυση	29
3.5.4.2.2. Λογιστική Παλινδρόμηση	29
3.5.4.2.3. Ομοιότητες / Διαφορές Λογ. Παλινδρόμησης & Διαχωριστικής Ανάλυσης	30
3.6. Διαγράμματα	31
3.6.1. Διάγραμμα Διασποράς	31
3.6.2. Διάγραμμα των Πέντε Αριθμών - Θηκόγραμμα	31
3.7. Γραφήματα	32
3.7.1. Μοντέλο Περιγράμματος και Μοντέλο «lollipop»	33
3.7.2. Καρτεσιανό Πλέγμα Μετασχηματισμού	33
3.8. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας (Intra – Inter Observer Error)	34
4. Αποτελέσματα	36
4.1. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας (Intra – Inter Observer Error)	36
4.1.1. Αναφορικά Σημεία	36
4.1.2. Ψεύδο-αναφορικά σημεία	38
4.2. Κρανίο Συνολικά	39
4.2.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	39
4.2.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	40
4.2.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	40
4.3. Βάση Κρανίου	41
4.3.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	44
4.3.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	45
4.3.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	45
4.4. Υπερώα	46
4.4.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	48
4.4.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	48
4.4.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	49
4.5. Προσωπικό Κρανίο	50
4.5.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	53
4.5.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	54
4.5.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	54
4.6. Οφθαλμικοί Κόγχοι	55
4.6.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	57
4.6.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	58
4.6.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	59

4.7. Ρινική Περιοχή	59
4.8. Θόλος Κρανίου	61
4.8.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	64
4.8.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	65
4.8.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	65
4.9. Καμπύλη Κρανίου	66
4.9.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»	67
4.9.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»	68
4.9.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»	69
5. Συζήτηση	70
5.1. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας	70
5.1.1. Αναφορικά Σημεία	70
5.1.2. Ψεύδο-αναφορικά Σημεία	71
5.2. Κρανίο Συνολικά	71
5.3. Βάση Κρανίου	72
5.4. Υπερώα	73
5.5. Προσωπικό Κρανίο	74
5.6. Οφθαλμικές Κόγχες	75
5.7. Ρινική Περιοχή	76
5.8. Θόλος Κρανίου	77
5.9. Καμπύλη Κρανίου	78
6. Συμπεράσματα	79
Βιβλιογραφία	81
Παράρτημα	89
Δημοσίευση	
Βιογραφικό σημείωμα	

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης ήταν να καθοριστούν οι περιοχές του κρανίου, όπου ο φυλετικός διμορφισμός είναι πιο έκδηλος, εφαρμόζοντας τριδιάστατες γεωμετρικές μορφομετρικές μεθόδους καθώς και να ερευνηθεί η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου για τον προσδιορισμό του φύλου βάσει του σχήματος του κρανίου. Το δείγμα αποτελείτο από 176 κρανία ελληνικού πληθυσμού που έζησε τον 20^ο αιώνα, γνωστού φύλου (94 αρσενικά, 82 θηλυκά) και ηλικίας. Τα 80 αναφορικά σημεία στην εξωτερική επιφάνεια του κρανίου καθώς και τα 30 ψεύδο-αναφορικά σημεία, ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση του MicroScribe 3DX. Για τον έλεγχο ύπαρξης στατιστικά σημαντικών διαφορών στο σχήμα μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων, εφαρμόστηκε το Goodall's F-test και χρησιμοποιήθηκε η Γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη (GPA), προκειμένου να εξαχθούν οι μεταβλητές σχήματος και μεγέθους. Η μείωση του όγκου των δεδομένων επιτεύχθηκε με την ανάλυση κύριων συνιστωσών, ενώ για την κατάταξη των μεταβλητών του κρανίου σε αρσενικά και θηλυκά άτομα χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι, η διαχωριστική ανάλυση και η λογιστική παλινδρόμηση.

Τα αποτελέσματα όλων των περιοχών του κρανίου, με εξαίρεση τη ρινική περιοχή, υποδεικνύουν ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο σχήμα μεταξύ των δύο φύλων. Παραδείγματος χάριν, οι οφθαλμικοί κόγχοι στους άνδρες είναι σχετικά παράλληλοι στο μετωπιαίο επίπεδο συγκριτικά με τις γυναίκες. Τα αναφορικά σημεία *jugale* είναι πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους στα αρσενικά άτομα και τα *nasospinale* και *nasion* πιο πρόσθια μετατοπισμένα, ενώ τα θηλυκά άτομα, στην περιοχή των κροταφικών οστών είναι λιγότερο πεπλατυσμέσμε και ο νοητός άξονας που σχηματίζουν το μετωπιαίο και το ινιακό οστό πιο επιμήκης. Επιπλέον, οι γυναίκες έχουν σχετικά χαμηλότερη και ευρύτερη υπερώα.

Το υψηλότερο ποσοστό ταξινόμησης στον προσδιορισμό του φύλου λήφθηκε από την κρανιοπροσωπική περιοχή, ενώ το χαμηλότερο από την περιοχή της υπερώας. Πιο συγκεκριμένα, η

ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου σύμφωνα με το κρανίο συνολικά ήταν 78,4%, τη βάση του κρανίου 79%, της υπερώας 68,9% το προσωπικό κρανίο 83,1%, τους οφθαλμικούς κόγχους 72,7%, το θόλο του κρανίου 79% και την καμπύλη του κρανίου 70,2%. Σε όλες τις περιπτώσεις το κεντροειδές (το μέγεθος) ήταν μικρότερο για τα θηλυκά άτομα συγκριτικά με τα αρσενικά. Επιπλέον, διαπιστώθηκε ότι το μέγεθος παίζει σημαντικό ρόλο στο φυλετικό διμορφισμό στο κρανίο ως σύνολο, στο θόλο του κρανίου, στο προσωποκράνιο καθώς και στο βασικράνιο. Τέλος, όπως αναμενόταν, σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές τα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης αυξάνονταν, όταν η ανάλυση περιελάμβανε και τη μεταβλητή του μεγέθους. Τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης αποτελούν μια σταθερή βάση επάνω στην οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί περαιτέρω έρευνα.

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the regions of the cranium where sexual dimorphism is most pronounced by using three-dimensional geometric morphometric methods and to investigate the effectiveness of this method in determining sex from the shape of the cranium. The study sample consisted of 176 crania of known sex (94 males, 82 females) belonging to individuals who lived in Greece during the 20th century. The three-dimensional coordinates of 80 ecto-cranial landmarks and 30 semi-landmarks were digitized using a Microscribe 3DX contact digitizer. Goodall's F-test was performed in order to compare statistical differences in shape between males and females. Generalized Procrustes Analysis (GPA) was used to obtain the size and shape variables for statistical analysis. Shape, size and form analyses were carried out by logistic regression and discriminant function analysis.

Results indicate that there are statistically significant shape differences between the sexes in all regions except for the nasal. For instance, the orbit aperture of males is parallel to the frontal plane while in females it is positioned in a slightly sagittal direction. The jugale points are relatively further apart in males. In addition, nasospinale and nasion shift more anteriorly in males. Females in the region of the temporal bones are narrower and the axis forming the frontal and occipital bone is more elongated; the frontal bone is more vertical. In males, the palate is deepest and more elongated; the cranial base is shortened.

The highest shape classification rate was obtained from the craniofacial region while the lowest from the palate. In particular, the accuracy of sexing for the skull as a whole was 78.4%; the cranial base 79%; the palate 68.9 %; the upper-face 83.1%; the orbits 72.7%; the vault 79%; and the midsagittal curve of the neurocranium 70.2%. In all cases the centroid size was smaller in females than males. Moreover, it was found that sexual dimorphism is mainly contributed by size differences in the skull as a whole, the base, the upper face and the vault region. As anticipated, in all regions, the classification accuracy improves when both size and shape are combined. The findings presented here constitute a firm basis upon which further research can be conducted.

Πίνακας Συντμήσεων

<i>GPA:</i>	Generalised Procrustes Analysis Γενικευμένη Ανάλυση Προκρούστη
<i>PCA:</i>	Principal Component Analysis Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών
<i>PC:</i>	Principal Component Κύρια Συνιστώσα
<i>DFA:</i>	Discriminant Function Analysis Διαχωριστική Ανάλυση
<i>LR:</i>	Logistic Regression Λογιστική Παλινδρόμηση ή Λογαριθμιστική Εξάρτηση
<i>TPS</i>	Thin Plate Spline Καρτεσιανό Πλέγμα Μετασχηματισμού

Πίνακας και Εικόνες Ανατομικών - Μαθηματικών Αναφορικών Σημείων

Στο σημείο αυτό παρατίθενται ο πίνακας και οι εικόνες των συνολικών ανατομικών και μαθηματικών αναφορικών σημείων που αναλύονται στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή.

**	Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση	Περιοχή κρανίου που αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία *	Ορισμός
1	<i>opisthion</i>	<i>o</i>	Ba / Va	Το σημείο στο μέσο του οπισθίου χείλους του ινιακού τρήματος.
2	<i>basion</i>	<i>ba</i>	Ba / Va	Σημείο που βρίσκεται στο μέσον του εμπρόσθιου χείλους του ινιακού τρήματος. Στις περισσότερες περιπτώσεις το χείλος του τρήματος έχει πάχος 1-2 mm και αποστρογγυλεμένα άκρα. Επιλέγεται ως θέση, το σημείο του μέσου του εσωτερικού ορίου του χείλους που κοιτά κατευθείαν το αντίστοιχο σημείο του οπίσθιου χείλους.
3 (a,b)	<i>foraminolaterale</i>	<i>fol</i>	Ba	Το πιο πλευρικό σημείο του χείλους του ινιακού τρήματος.
4 (a,b)	<i>occipitocondylyon mediale</i>	<i>meco</i>	Ba	Το εγγύτερο προς το κέντρο του κρανίου σημείο του χείλους του ινιακού κονδύλου.
5 (a,b)	<i>occipitocondylyon posterior</i>	<i>poco</i>	Ba	Το πιο οπίσθιο σημείο του χείλους του ινιακού κονδύλου.
6 (a,b)	<i>occipitocondylyon laterale</i>	<i>laco</i>	Ba	Το πιο πλευρικό σημείο του χείλους του ινιακού κονδύλου.
7 (a,b)	<i>occipitocondylyon anterior</i>	<i>antco</i>	Ba	Το πιο πρόσθιο σημείο του χείλους του ινιακού κονδύλου.
8 (a,b)	<i>caroticum mediale</i>	<i>cam</i>	Ba	Το εγγύτερο προς το κέντρο του κρανίου σημείο του χείλους του καρωτιδικού τρήματος.
9 (a,b)	<i>spinale</i>	<i>spi</i>	Ba	Το εγγύτερο προς το κέντρο του κρανίου σημείο του χείλους του ακανθικού τρήματος.
10 (a,b)	<i>ovale mediale</i>	<i>ovm</i>	Ba	Το εγγύτερο προς το κέντρο του κρανίου σημείο του χείλους του ωοειδούς τρήματος.
11	<i>hormion</i>	<i>ho</i>	Ba	Το σημείο τομής του οβελιαίου επιπέδου και της ευθείας όπου το χαμηλότερο τμήμα της ύνιδας εφάπτεται του σφηνοειδούς οστού.
12 (a,b)	<i>infratemporale</i>	<i>it</i>	Ba / Va	Το σημείο τομής της λεπδοσφηνοειδούς ραφής και της υποκροτάφιας ακρολοφίας.
13 (a,b)	<i>mastoidale</i>	<i>ms</i>	Ba / Va	Το κατώτερο σημείο της μαστοειδούς απόφυσης.
14 (a,b)	<i>infraorbitale</i>	<i>io</i>	Ba / UpF	Το πιο πλευρικό σημείο του υποκογχικού τρήματος.
15 (a,b)	<i>postalverion</i>	<i>poa</i>	Pl	Το πιο οπίσθιο σημείο του φατνιακού χείλους της άνω γνάθου.
16	<i>staphylion</i>	<i>sta</i>	Pl	Το σημείο όπου η χορδή του οπίσθιου τμήματος της υπερώας τέμνει το οβελιαίο επίπεδο.
17	<i>staurion</i>	<i>sr</i>	Pl	Το σημείο τομής της μέσης και εγκάρσιας υπερώιας ραφής.

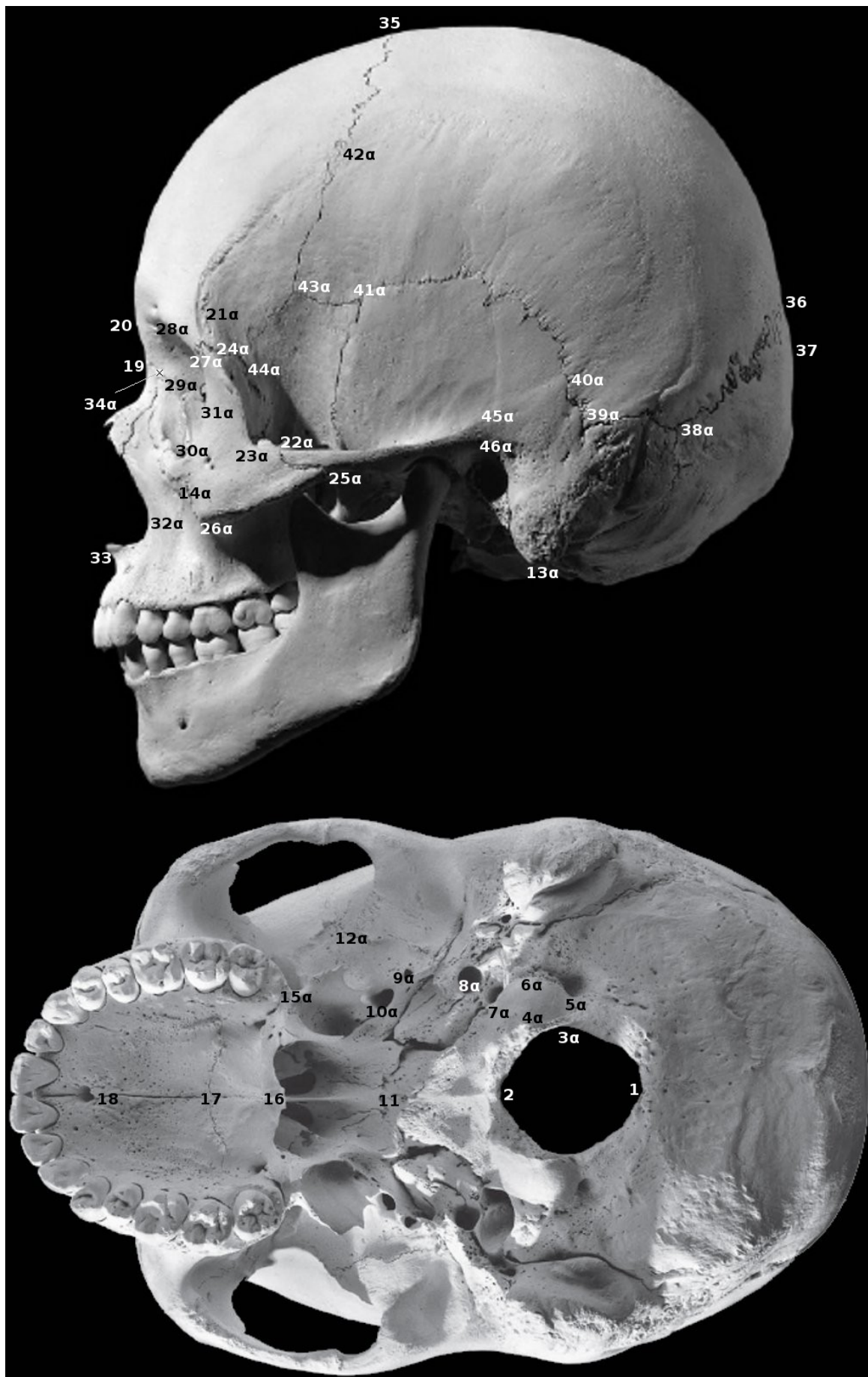
18	<i>foramen incisivum</i>	<i>inc</i>	Pl	Το σημείο στο οπίσθιο χείλος του τομικού τρήματος.
19	<i>nasion</i>	<i>n</i>	UpF / NsR	Το σημείο που προσδιορίζεται από τη τομή της μετωπορινικής ραφής με το κατακόρυφο επίπεδο.
20	<i>glabella</i>	<i>g</i>	UpF / Va	Το σημείο μεταξύ των υπερόφρων τόξων, το οποίο μπορεί να προεξέχει ή να βρίσκεται χαμηλότερα, πάνω από τη μετωπορινική ραφή.
21 (a,b)	<i>frontotemporale</i>	<i>ft</i>	UpF / Va	Το χαμηλότερο σημείο της καμπύλης της βρεγματικής γραμμής (μετωπο-κροταφική πτυχή) επί του μετωπικού οστού και λίγο πάνω από τη ζυγωματο-μετωπική ραφή.
22 (a,b)	<i>zygotemporale superior</i>	<i>zts</i>	UpF	Το ανώτερο σημείο της κροταφοζυγωματικής ραφής.
23 (a,b)	<i>jugale</i>	<i>ju</i>	UpF	Το σημείο όπου συναντώνται η μετωπιαία και η κροταφική απόφυση του ζυγωματικού οστού.
24 (a,b)	<i>frontomolare temporale</i>	<i>fnt</i>	UpF	Το πιο οπίσθιο και πλευρικό σημείο της μετωποζυγωματικής ραφής.
25 (a,b)	<i>zygotemporale inferior</i>	<i>zti</i>	UpF	Το κατώτερο σημείο της κροταφοζυγωματικής ραφής.
26 (a,b)	<i>zygomaxillare</i>	<i>zm</i>	UpF	Το κατώτερο σημείο της γναθοζυγωματικής ραφής.
27 (a,b)	<i>frontomolare orbitale</i>	<i>fmo</i>	UpF / Or	Το σημείο όπου η μετωποζυγωματική ραφή τέμνει την οφθαλμική κόγχη.
28 (a,b)	<i>supraconchion</i>	<i>spa</i>	UpF / Or	Το σημείο της άνω πλευράς της οφθαλμικής κόγχης με τη μέγιστη προβολή στη νοητή ευθεία mf-ec.
29 (a,b)	<i>maxillofrontale</i>	<i>mf</i>	UpF / Or / NsR	Το σημείο όπου η μετωπογναθική ραφή τέμνει την οφθαλμική κόγχη.
30 (a,b)	<i>subconchion</i>	<i>sbk</i>	UpF / Or	Το σημείο της κάτω πλευράς της οφθαλμικής κόγχης με τη μέγιστη προβολή στη νοητή ευθεία mf-ec.
31 (a,b)	<i>ectoconchion</i>	<i>ec</i>	UpF / Or	Το σημείο τομής της εξωτερικής πλευράς της οφθαλμικής κόγχης με την νοητή ευθεία που περνάει από το σημείο mf και είναι παράλληλη με την άνω πλευρά της οφθαλμικής κόγχης.
32 (a,b)	<i>apertion</i>	<i>apt</i>	UpF / NsR	Το πιο πλευρικό σημείο της ρινικής εντομής.
33	<i>nasospinale</i>	<i>ns</i>	UpF / NsR	Το σημείο το οποίο σχηματίζεται από τη γραμμή που ενώνει τα χαμηλότερα όρια των ρινικών χειλέων και το κατακόρυφο επίπεδο.
34 (a,b)	<i>maxillonasofrontale</i>	<i>mnf</i>	UpF / NsR	Το σημείο τομής της μετωπορινικής, μετωπογναθικής και ρινογναθικής ραφής.
35	<i>bregma</i>	<i>b</i>	Va	Συνήθως είναι το σημείο συνάντησης της μετωποβρεγματικής και της μεσοβρεγματικής ραφής.
36	<i>lambda</i>	<i>l</i>	Va	Το σημείο που η μεσοβρεγματική ραφή συναντά τη λαβδοειδή ραφή.
37	<i>opisthocranion</i>	<i>op</i>	Va	Το περισσότερο εξέχον σημείο του ινιακού οστού. Βρίσκεται σχεδόν στο μέσον του και αντιστοιχεί στο σημείο όπου το κρανίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κύρτωση.

38 (a,b)	<i>asterion</i>	<i>ast</i>	Va	Το σημείο όπου συναντώνται το βρεγματικό, το κροταφικό και το ινιακό.
39 (a,b)	<i>entomion</i>	<i>ent</i>	Va	Το σημείο τομής της λιθολεπιδοειδούς, λεπιδοειδούς και βρεγματομαστοειδούς ραφής.
40 (a,b)	<i>supramastoid crest – squamous suture intersection</i>	<i>scs</i>	Va	Το σημείο όπου η υπερμαστοειδής ακρολοφία συναντά τη λεπιδοειδή ραφή.
41 (a,b)	<i>crotaphion</i>	<i>k</i>	Va	Το σημείο τομής της σφηνοβρεγματικής, λεπιδοειδούς και λεπιδοσφηνοειδούς ραφής.
42 (a,b)	<i>coronale</i>	<i>co</i>	Va	Ένα από τα δύο πιο απομακρυσμένα σημεία της στεφανιαίας ραφής.
43 (a,b)	<i>sphenion</i>	<i>sphn</i>	Va	Το σημείο τομής της στεφανιαίας, μετωποσφηνοειδούς και σφηνοβρεγματικής ραφής.
44 (a,b)	<i>landmark x</i>	<i>x</i>	Va	Το σημείο τομής της σφηνοζυγωματικής, μετωποσφηνοειδούς και μετωποζυγωματικής ραφής.
45 (a,b)	<i>auriculare</i>	<i>au</i>	Va	Η κατακόρυφη προβολή του κέντρου του ακουστικού πόρου στη βάση της ζυγωματικής απόφυσης.
46 (a,b)	<i>porion</i>	<i>po</i>	Va	Το σημείο που βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ακουστικό πόρο.

* Ba–Βάση κρανίου, Pl–Υπερώα, UpF–Προσωπικό κρανίο, Or–Οφθαλμική, NsR–Ρινική, Va–Θόλος κρανίου.

** a: Αριστερή πλευρά, b: Δεξιά πλευρά.

Πηγή εικόνων σελίδας xi: “Human Osteology” (White *et al.*, 2012).



1. Εισαγωγή

Ένα σημαντικό τμήμα της έρευνας στο πεδίο της φυσικής ανθρωπολογίας, επικεντρώνεται στη μελέτη των μορφολογικών διακυμάνσεων του ανθρώπινου σκελετού. Η κατανόηση και η εκτίμηση της ανθρώπινης σκελετικής ποικιλομορφίας, οδηγεί στην αναζήτηση τόσο των ποιοτικών όσο και των ποσοτικών διακυμάνσεων της λειτουργίας του ανθρώπινου σώματος (Vetter, 2006).

Στον άνθρωπο δεν παρουσιάζεται έντονος φυλετικός διμορφισμός. Για την ακρίβεια, τα αρσενικά και τα θηλυκά άτομα μοιράζονται σχεδόν το 95% του συνολικού εύρους διακύμανσης των φυσιολογικών χαρακτηριστικών τους (Hoyme & Iscan, 1989· Schwartz, 1995). Το υπόλοιπο 5% μπορεί να αποδοθεί σε μικρές διαφορές λόγω ευρωστίας καθώς και σε μορφολογικές διαφοροποιήσεις. Παρά το γεγονός ότι αυτά τα χαρακτηριστικά είναι δυσδιάκριτα, στις περιπτώσεις που το σύνολο των οστών του σκελετού είναι διαθέσιμο, η ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου ενήλικων ατόμων μπορεί να αγγίζει το 95% (Krogman & Iscan, 1986). Όταν τα σκελετικά υπολείμματα είναι ελλιπή ή αποσπασματικά, γεγονός που συμβαίνει σε αρκετές περιπτώσεις, ο προσδιορισμός του φύλου είναι πιο δύσκολος.

Είναι πλέον ευρέως γνωστό από ανθρωπολογικές και ανατομικές μελέτες (Dwight, 1904/1905· Letterman, 1941· Krogman, 1962· Phenice, 1969· Krogman & Iscan, 1986· France 1998), ότι η πλέον αξιόπιστη περιοχή για την εκτίμηση του φύλου είναι η πύελος. Το χαρακτηριστικό σχήμα της πυέλου, ως αποτέλεσμα προσαρμογής στην όρθια στάση και την κίνηση του σώματος, είναι κοινό και για τα δύο φύλα. Ταυτόχρονα όμως, η γυναικεία πύελος φέρει επιπρόσθετες προσαρμογές που αφορούν στην κύηση. Έτσι, δεν αποτελεί έκπληξη το γεγονός ότι η πυελική περιοχή παρουσιάζει το μεγαλύτερο φυλετικό διμορφισμό (Klepinger, 2006, σελίδα 26).

Η αμέσως επόμενη καλύτερη επιλογή σκελετικής περιοχής για την αξιολόγηση του φύλου, μετά την πύελο, είναι το μηριαίο ή το βραχιόνιο. Ωστόσο το κρανίο μελετάται ευρέως, επειδή συναντάται πιο συχνά, είτε μεμονωμένο είτε με τμήματα του σκελετού που εμφανίζουν μικρότερη διαγνωστική αξία (Klepinger, 2006, σελίδες 29-30). Μέθοδοι προσδιορισμού του φύλου που εξετάζουν τον μετακρανιακό σκελετό, με εξαίρεση την πύελο, κρίνονται απαραίτητες στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμο ούτε το κρανίο ούτε η πύελος. Φυλετικός διμορφισμός έχει εντοπιστεί σε οστά και των άνω άκρων (France, 1988· Holman & Bennett, 1991· Berrizbeitia, 1989) καθώς και των κάτω (France, 1988· Black, 1978· Iscan, 1984) άκρων, συμπεριλαμβανομένων των οστών του χεριού (Scheuer & Elkington, 1993· Falsetti, 1995· Smith, 1996) και του ποδιού (Steele, 1976· Smith, 1997). Η ακρίβεια ταξινόμησης των συγκεκριμένων μεθόδων είναι περίπου 84-96 % (Robling & Ubelaker, 1997).

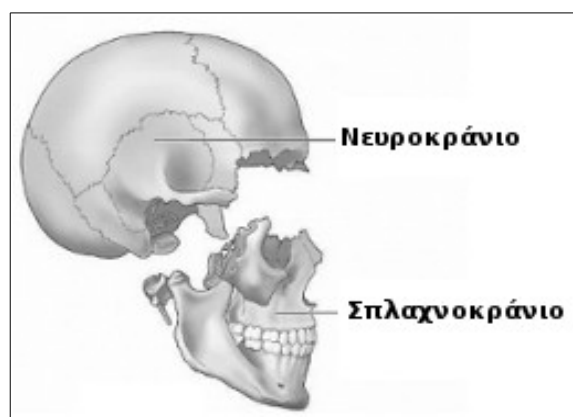
Η εκτίμηση του φύλου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη πληρότητα του σκελετού (Krogman, 1962, σελίδες 112 και 149· Krogman & Iscan, 1986, σελίδες 189 και 259). Με βάση μια μελέτη στην οποία εξετάστηκαν 750 σκελετοί Λευκών και Μαύρων ενήλικων ατόμων από την συλλογή Hamann-Todd, οι Krogman (1962) και Krogman & Iscan (1986) ανέφεραν ότι όταν ο υπό μελέτη σκελετός είναι πλήρης, το ποσοστό της σωστής εκτίμησης του φύλου, αγγίζει το 100%. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει ολόκληρος ο σκελετός, οι Krogman (1962) και Krogman & Iscan (1986) υποστήριξαν ότι διαφορετικοί συνδυασμοί περιοχών (οστών) μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε υψηλά ποσοστά σωστής ταξινόμησης ως προς το φύλο. Ο συνδυασμός του κρανίου και της πυέλου παρέχουν σωστή ταξινόμηση σε ποσοστό 98%, ενώ το ίδιο ποσοστό σωστής ταξινόμησης μπορεί να επιτευχθεί με τον συνδυασμό των μακρών οστών και της πυέλου. Επιπλέον, βάσει μεμονωμένων οστών, όπως η πύελος, το κρανίο ή τα μακρά οστά, μπορεί να επιτευχθεί σωστή ταξινόμηση των ατόμων σε ποσοστό 80 έως 95 τοις εκατό (Krogman 1962· Krogman & Iscan 1986). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι Krogman (1962) και Krogman & Iscan (1986) αναφέρουν πως το δείγμα, αποτελείτο κυρίως από αρσενικά άτομα και ως εκ τούτου τα ποσοστά θα πρέπει να μειωθούν κατά 5 έως 10%.

1.1. Ανατομία και Ανάπτυξη του Κρανίου

Η χρήση του κρανίου για τον προσδιορισμό του φύλου προϋποθέτει την κατανόηση της ανατομίας και της ανάπτυξής του (Rogers, 2005).

1.1.1. Ανατομία

Το κρανίο διακρίνεται στο νευροκράνιο, που βρίσκεται στο πάνω και πίσω μέρος του κρανίου και το σπλαγχνοκράνιο, που βρίσκεται στο πρόσθιο και κάτω μέρος (εικόνα 1).



Εικόνα 1: Νευροκράνιο / Σπλαγχνοκράνιο

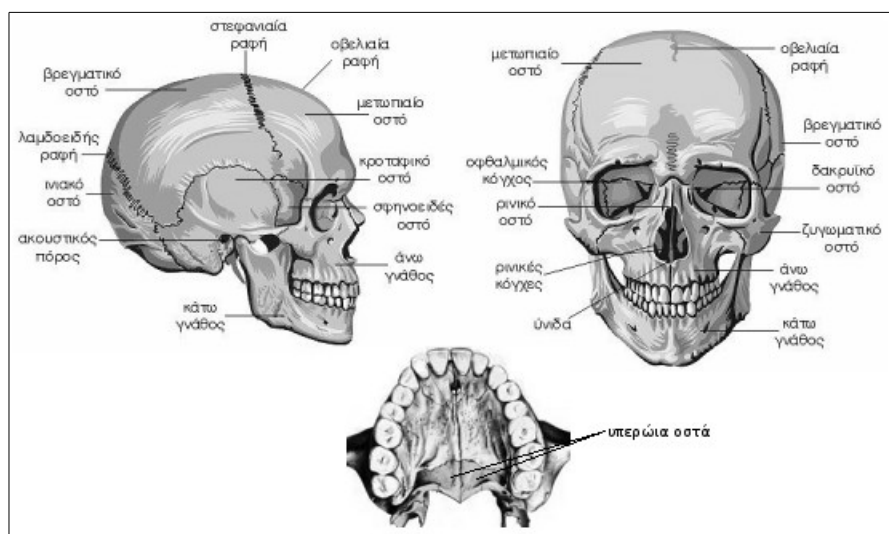
(Πηγή: <http://www.studydroid.com/index.php?page=viewPack&packId=184887&begin=1>)

1.1.1.1. Το νευροκράνιο

Τα οστά του νευροκράνιου (ή εγκεφαλικού κρανίου) είναι οκτώ, το μετωπιαίο, το ινιακό, το σφηνοειδές, το ηθμοειδές καθώς και το κροταφικό και βρεγματικό, τα οποία είναι διφυή (εικόνα 2). Το μετωπιαίο οστό βρίσκεται στη πρόσθια επιφάνεια του κρανίου και σχηματίζει το μέτωπο. Τα δύο βρεγματικά οστά βρίσκονται στην άνω και την πλάγια επιφάνεια του κρανίου. Το ινιακό οστό βρίσκεται στην οπίσθια επιφάνεια του κρανίου. Τα δύο κροταφικά οστά βρίσκονται στην πλάγια επιφάνεια του κρανίου, ενώ στο κροταφικό οστό βρίσκεται και ο έξω ακουστικός πόρος. Το σφηνοειδές οστό βρίσκεται στη βάση του εγκεφαλικού κρανίου και τέλος, το ηθμοειδές οστό είναι ένα μικρό οστό που βρίσκεται στην οροφή της κοιλότητας της μύτης. Τα παραπάνω οστά συναρθρώνονται με ραφές και δημιουργούν την κρανιακή κάψα.

1.1.1.2 Το σπλαγχνοκράνιο

Τα οστά του σπλαγχνικού κρανίου είναι δεκατέσσερα, επτά οστά που διαμορφώνουν την ρινική κάψα και επτά οστά που διαμορφώνουν τις δύο γνάθους (άνω και κάτω) (εικόνα 2). Τα οστά της ρινικής κάψας είναι οι δύο ρινικές κόγχες, τα δύο ρινικά οστά, τα δύο δακρυϊκά οστά και η ύνιδα. Τα οστά των γνάθων είναι οι δύο άνω γνάθοι, τα δύο ζυγωματικά οστά, τα δύο υπερώια οστά και η κάτω γνάθος. Οι ρινικές κόγχες βρίσκονται στο εσωτερικό της ρινικής θαλάμης, ενώ τα δύο ρινικά οστά βρίσκονται στη ράχη της μύτης και συνδέονται μεταξύ τους. Τα δύο δακρυϊκά οστά βρίσκονται στο εσωτερικό τοίχωμα του οφθαλμικού κόγχου και τέλος, η ύνιδα συμμετέχει στο σχηματισμό του ρινικού διαφράγματος. Τα δύο οστά της κάθε άνω γνάθου συμμετέχουν στο σχηματισμό του οφθαλμικού κόγχου, της ρινικής θαλάμης και της κοιλότητας του στόματος. Τα δύο ζυγωματικά οστά σχηματίζουν τα μήλα του προσώπου. Τα υπερώια οστά βρίσκονται στη οροφή της στοματικής κοιλότητας και συμμετέχουν στο σχηματισμό της ρινικής θαλάμης και της κοιλότητας του στόματος, ενώ η κάτω γνάθος είναι το μοναδικό οστό του κρανίου το οποίο εμφανίζει κινητικότητα.



Εικόνα 2: Ο σκελετός του κρανίου

(Πηγή: <http://www.studyblue.com/notes/note/n/cranial-bones--facial-bones/deck/2267037>)

1.1.2. Ανάπτυξη

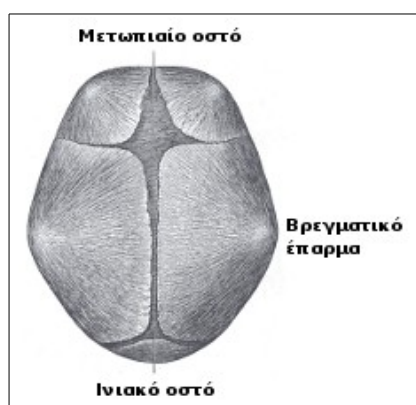
Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, όσον αφορά στην ανάπτυξη των οστών του προσωπικού κρανίου (Enlow, 1982· Humphrey, 1998· Buschang *et al.*, 1983), αποκαλύπτει τρία βασικά σημεία που σχετίζονται με την έκφραση φυλετικών διμορφικών χαρακτηριστικών στο κρανίο: [1] σχετικά μεγαλύτερο βαθμό ανάπτυξης από την παιδική ηλικία έως την ενηλικίωση παρουσιάζουν κατά σειρά: η κάτω γνάθος, η άνω γνάθος, το προσωπικό κρανίο, η βάση του κρανίου και τέλος το ύψος του κρανίου (Buschang *et al.*, 1983). [2] Το νευροκράνιο ολοκληρώνει πρώτο την ανάπτυξή του, ενώ ακολουθούν τα προσκείμενα στη ρινική περιοχή οστά και τμήματα της βάσης του κρανίου. Τέλος, αναπτύσσονται οι δομές που αφορούν στη μάσηση (Humphrey, 1998). [3] Τα μέρη του σκελετού που ολοκληρώνουν νωρίς την ανάπτυξή τους, παρουσιάζουν τυπικά μικρότερο φυλετικό διμορφισμό απ' ότι οι περιοχές που συνεχίζουν να αναπτύσσονται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα (Humphrey, 1998).

Τα χαρακτηριστικά του προσώπου του βρέφους, ανεξάρτητα από το φύλο, μπορούν να παρουσιαστούν ως εξής: η μύτη είναι μικρή και στρογγυλή. Το ρινικό τόξο βρίσκεται χαμηλά και το ρινικό προφίλ είναι κοίλο. Το μέτωπο είναι βολβοειδές και ανασηκωμένο. Τα ζυγωματικά είναι εμφανή. Το πρόσωπο είναι επίπεδο και τα μάτια απέχουν αρκετά μεταξύ τους (Enlow, 1982). Καθώς το πρόσωπο αρχίζει να αναπτύσσεται, συμβαίνουν αλλαγές στις διαστάσεις και στις αναλογίες του. Όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος της ανάπτυξης, τόσο πιο έντονες είναι οι αλλαγές.

Η ανάπτυξη των χαρακτηριστικών του προσώπου των θηλυκών ατόμων αρχίζει να επιβραδύνεται γύρω στο 13ο έτος της ζωής και η ωρίμανση ολοκληρώνεται λίγο αργότερα. Την ίδια περίοδο, στα αρσενικά άτομα συμβαίνει μια αιφνίδια ανάπτυξη που συνεχίζεται κατά τη διάρκεια της εφηβείας και ολοκληρώνεται στην πρώιμη ενήλικη ζωή (Enlow, 1982· Goldstein, 1936· Nanda, 1955· Hoyme & Iscan, 1989). Δεδομένου ότι αυτό είναι ένα γενικό πρότυπο που ποικίλλει μεταξύ των ατόμων, είναι αναπόφευκτο ένα ορισμένο ποσοστό επικάλυψης σχετικά με το μέγεθος των αρσενικών και θηλυκών χαρακτηριστικών. Αυτή η θεμελιώδης διαφορά στη διάρκεια και στο ρυθμό της ανάπτυξης, αποτελεί τη βάση για το φυλετικό διμορφισμό του κρανίου, καθώς οδηγεί στην εμφάνιση πιο έντονων διαφορών σε περιοχές που η ανάπτυξή τους ολοκληρώνεται αργότερα και οι οποίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη σχετική αύξηση σε μέγεθος, ενώ περιοχές, των οποίων η ανάπτυξη τερματίζεται νωρίτερα και κατά συνέπεια παρουσιάζουν μικρότερη σχετική αύξηση σε μέγεθος, είναι σαφώς λιγότερο διακριτές φυλετικά.

Η βάση του κρανίου, όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζει μεσαίου βαθμού ανάπτυξη συγκριτικά με άλλες περιοχές του κρανίου (Buschang *et al.*, 1983· Humphrey, 1998). Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι ορισμένες φυλετικές διαφορές ίσως είναι εμφανείς, ωστόσο τα χαρακτηριστικά αυτά δεν είναι πιθανό να αποτελούν τους πλέον ενδεικτικούς δείκτες φύλου.

Το βρεγματικό έπαρμα είναι το κέντρο οστεοποίησης του βρεγματικού οστού. Το βρεγματικό οστό του βρέφους κλίνει προς τα έξω, με το βρεγματικό έπαρμα να αποτελεί το πιο πλευρικό του σημείο (Enlow, 1982) (εικόνα 3). Καθώς ο εγκέφαλος επεκτείνεται, τα οστά του κρανιακού θόλου μεγεθύνονται και μετατοπίζονται προς τα έξω, με αποτέλεσμα να μειώνεται η καμπυλότητά τους. Το μεγαλύτερο βρεγματικό έπαρμα στις γυναίκες οφείλεται σε αυτή τη διαδικασία, επειδή ο κρανιακός θόλος στους άνδρες εξακολουθεί να αυξάνεται, ενώ η ανάπτυξη στα θηλυκά άτομα έχει ολοκληρωθεί (Baughan & Demirjian, 1978). Λαμβάνοντας υπόψη το φάσμα των ατομικών διαφορών καθώς και το γεγονός ότι το νευροκράνιο είναι η περιοχή του κρανίου, όπου η ανάπτυξη της ολοκληρώνεται πρώτη σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, όπως προαναφέρθηκε (Humphrey, 1998), είναι αναμενόμενο να υπάρχει κάποια επικάλυψη μεταξύ των αρσενικών και θηλυκών ατόμων, ενώ μόνο οι πιο ακραίες εκφράσεις αυτού του χαρακτηριστικού μπορεί να αποδειχθούν χρήσιμοι δείκτες για τον προσδιορισμό του φύλου.



Εικόνα 3: Βρεγματικά οστά σε βρεφική ηλικία

(Πηγή: <http://www.studydroid.com/index.php?page=viewPack&packId=348347&begin=50>)

Σύμφωνα με τον Enlow (1982), η ανάπτυξη του πίσω ορίου του μετωπιαίου οστού σταματάει από την ηλικία των πέντε ή έξι ετών, καθώς η ανάπτυξη του μετωπιαίου λοβού ολοκληρώνεται. Το εμπρόσθιο όριο, ωστόσο, που αποτελεί τμήμα του συνδυασμού των ρινικών οστών και των οστών της άνω γνάθου, συνεχίζει να αυξάνεται μέχρι η ρινική ανάπτυξη να ολοκληρωθεί. Δεδομένου ότι η ανάπτυξη της ρινικής περιοχής στα θηλυκά άτομα ολοκληρώνεται αρκετά χρόνια νωρίτερα απ' ό,τι στα αρσενικά άτομα, υπάρχει μικρότερη απόσταση ανάμεσα στο οπίσθιο και στο πρόσθιο όριο του μετωπιαίου οστού. Η αντίστοιχη, μεγαλύτερη απόσταση στα αρσενικά άτομα έχει ως αποτέλεσμα τη διαμόρφωση μεγαλύτερης μετωπικής κοιλότητας, καθώς και μεγαλύτερης προεξοχής στα υπερόφρνα τόξα. Ταυτόχρονα, δεδομένου ότι το μέτωπο μετατοπίζεται προς τα κάτω και προς τα εμπρός συγκριτικά με τη θέση του θόλου του κρανίου, το μέτωπο των αρρένων είναι πιο επικλινές και με ομαλή κύρτωση (Enlow, 1982).

Ο σχηματισμός της ευρύτερης ρινικής περιοχής προκύπτει από τον συσχετισμό ανάπτυξης μεταξύ τριών επιμέρους περιοχών, εκείνης των ρινικών οστών, των ζυγωματικών και των οστών

της άνω γνάθου (Enlow, 1982). Για τον λόγο αυτό, το ρινικό σχήμα δεν είναι πιθανό να αποδειχθεί αποτελεσματικό ως δείκτης φύλου. Ωστόσο το ρινικό μέγεθος, που σχετίζεται με τις διαφορές στη διάρκεια της ανάπτυξης των ρινικών και γναθιαίων οστών, θα εμφανίσει κάποιο βαθμό φυλετικού διμορφισμού. Παρ' όλα αυτά, ο φυλετικός διμορφισμός μπορεί να είναι δύσκολο να εκτιμηθεί αν το εύρος της διακύμανσης για τον πληθυσμό δεν είναι γνωστό (Rogers, 2005).

Κατά τη βρεφική ηλικία, η κάτω επιφάνεια της ρινικής κοιλότητας βρίσκεται πολύ κοντά στο κάτω τοίχωμα του οφθαλμικού κόγχου, ενώ αυτή η απόσταση διπλασιάζεται όταν ολοκληρωθεί η ανάπτυξη (Enlow, 1982). Δεδομένου ότι η διάρκεια της ανάπτυξης σε αυτήν την περιοχή είναι μεγαλύτερη για τα αρσενικά άτομα (Baughan & Demirjian, 1978), το ρινικό διάφραγμα είναι επίσης μεγαλύτερο σε μήκος, ωστόσο η ταυτόχρονη προς τα εμπρός προεξοχή της ρινικής περιοχής οδηγεί στο να φαίνεται ότι το διάφραγμα βρίσκεται σε υψηλότερη θέση στο αρσενικό πρόσωπο απ' ότι στο θηλυκό.

Κατά την ανάπτυξη, τα ζυγωματικά οστά μετατοπίζονται σε πιο οπίσθια θέση και το ζυγωματικό τόξο, το οποίο δημιουργείται από την απορρόφηση οστού στην έσω επιφάνειά του και την εναπόθεση οστού επί της πλευρικής του επιφάνειας, αναπτύσσεται πλευρικά. Το γεγονός αυτό, οδηγεί στην αύξηση του κροταφικού βοθρίου (κοιλότητας) (Enlow, 1982). Η εκτεταμένη ανάπτυξη στους άρρενες οδηγεί στη διαμόρφωση μεγαλύτερων ζυγωματικών οστών, ενώ το ζυγωματικό τόξο μετατοπίζεται πιο πλάγια απ' ότι στα θηλυκά άτομα. Επειδή το άνω τμήμα του προσωπικού κρανίου δεν παρουσιάζει ούτε τη μέγιστη, αλλά ούτε και την ελάχιστη ανάπτυξη στην περιοχή του σπλαγχνοκρανίου (Buschang *et al.*, 1983), είναι πιθανό να εμφανίζεται φυλετικός διμορφισμός, αλλά το εύρος της διακύμανσης του είναι δύσκολο να ερμηνευτεί σε μεμονωμένα άτομα.

Με δεδομένο ότι η υπερώα έχει κατά προσέγγιση V-σχήμα, το πρότυπο ανάπτυξής του μπορεί να περιγραφεί ως μια διαδικασία εναπόθεσης οστού στην εσωτερική επιφάνεια και αντίστοιχης απορρόφησής του στην εξωτερική επιφάνεια, με αποτέλεσμα τόσο τη διεύρυνση όσο και τη μετατόπισή του (Enlow, 1982). Καθώς αυξάνει σε μήκος, επεκτείνεται επίσης και σε πλάτος. Όπως έχει προαναφερθεί, η διάρκεια της ανάπτυξης στην ρινική και γναθιαία περιοχή είναι μεγαλύτερη στα αρσενικά άτομα, γι' αυτό το λόγο η υπερώα στα αρσενικά άτομα είναι μεγαλύτερη και ευρύτερη (Baughan & Demirjian, 1978).

Η ανάπτυξη της κάτω γνάθου είναι πολύπλοκη. Στο σύνολό της αλλάζει από ένα V-σχήμα, όπως εμφανίζεται στα παιδιά, σε ένα πιο τετράγωνο, όπως εμφανίζεται στους ενήλικες, καθώς αναπτύσσονται ταυτόχρονα το πηγούνι και το φατνιακό τόξο, ώστε να είναι δυνατή η στήριξη της μόνιμης οδοντοφυΐας και η διεύρυνση των μασητήριων μυών (Enlow, 1982). Σε όλη αυτή τη διαδικασία η γωνία που σχηματίζει ο κλάδος με το σώμα της κάτω γνάθου γίνεται πιο ορθή (Enlow, 1982). Αυτό που κάνει χαρακτηριστική την αρσενική κάτω γνάθο (μεγαλύτερη, ευρύτερα

εκτεινόμενος κλάδος της κάτω γνάθου και γωνία που κάνει το σώμα με την κλάδο) έρχεται ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης σε διάρκεια ανάπτυξης των αρσενικών ατόμων σε σχέση με τα θηλυκά.

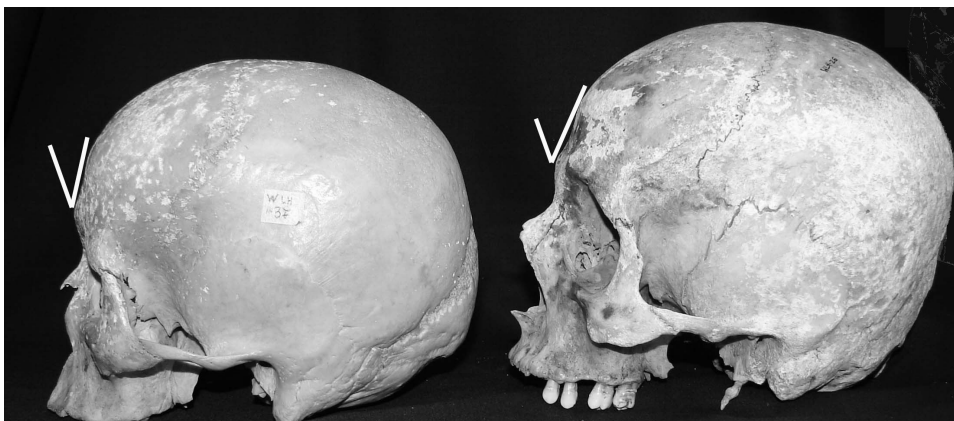
1.2. Φυλετικός Διμορφισμός στο Κρανίο

Εκτός από το μέγεθος, οι γενικές τάσεις, όπως αυτές που περιγράφονται παρακάτω, παρέχουν χρήσιμες ενδείξεις για τον προσδιορισμό του φύλου σε μεμονωμένα κρανία. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται ευρέως από τους ανθρωπολόγους.

Συνοπτικά, τα κρανία των αρρένων συνήθως εμφανίζονται με πιο προεξέχοντα υπερόφρυα τόξα και προεξέχον μεσόφρυο (εικόνα 4), ενώ έχουν επίσης εντονότερη κροταφική γραμμή και εγκάρσιες αύλακες. Αντίστοιχα, στα θηλυκά άτομα παρατηρείται ορθομετωπία (εικόνα 5). Τα αρσενικά άτομα σε σχέση με τα θηλυκά τείνουν να έχουν πιο ευρείες υπερώες, πιο τετραγωνισμένους οφθαλμικούς κόγχους, μεγαλύτερες μαστοειδείς αποφύσεις (εικόνα 6), καθώς και μεγαλύτερους ινιακούς κονδύλους. Στη κάτω γνάθο των αρσενικών ατόμων, η γενειοακή σύμφυση τείνει να είναι πιο τετραγωνισμένη, ενώ στα θηλυκά είναι πιο οξυλήκτη. Η γωνία του σώματος της γνάθου με τον κλάδο είναι πιο ορθή στα αρσενικά άτομα και πιο αμβλεία στα θηλυκά και τέλος, στα αρσενικά άτομα ο κλάδος της κάτω γνάθου είναι πιο ευρύς και ογκώδης (εικόνα 7) (White *et al.*, 2012).



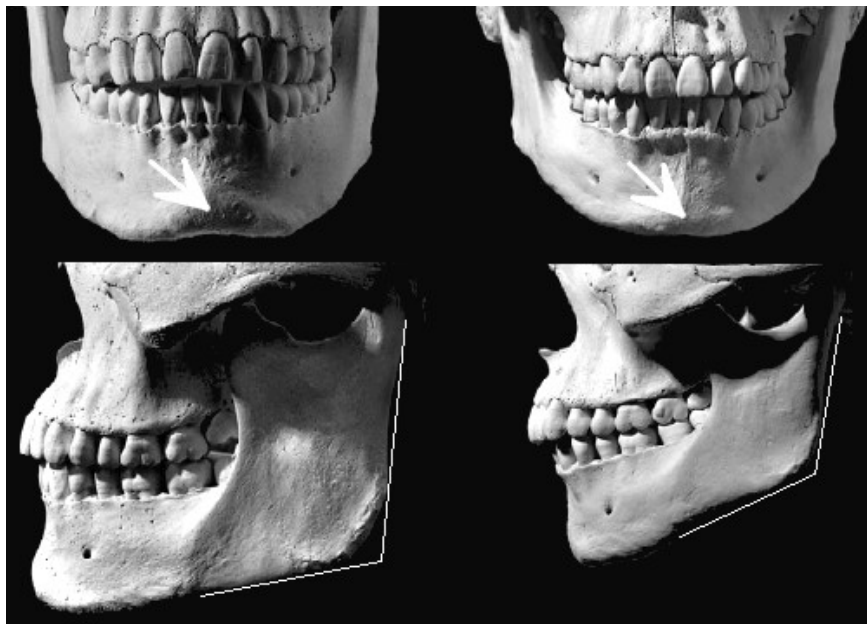
Εικόνα 4: Υπερόφρυα τόξα και μεσόφρυο. Θηλυκό (αριστερά), Αρσενικό (δεξιά) (Πηγή: Βαλάκος & Παπαβασιλείου, 2013)



Εικόνα 5: Ορθομετωπία. Θηλυκό (αριστερά), Αρσενικό (δεξιά) (Πηγή: Βαλάκος & Παπαβασιλείου, 2013)



Εικόνα 6: Διαφορές κατά φύλο στη μαστοειδή απόφυση. Θηλυκό (αριστερά), Αρσενικό (δεξιά) (Πηγή: Βαλάκος & Παπαβασιλείου, 2013)



Εικόνα 7: Διαφορές κατά φύλο στην κάτω γνάθο. Θηλυκό (δεξιά), Αρσενικό (αριστερά) (Πηγή: White *et al.*, 2012)

Ο προσδιορισμός του φύλου που βασίζεται σε τμήματα του κρανίου, οδηγεί στη παρατήρηση ότι τα αρσενικά άτομα τείνουν να είναι μεγαλύτερα και πιο εύρωστα από ό,τι τα θηλυκά (White & Black, 2012). Παραδείγματος χάριν, ο Keen (1950) παρατήρησε διαφορές στη μορφή της ζυγωματικής απόφυσης του κροταφικού οστού ανάμεσα στα αρσενικά και θηλυκά άτομα. Στους άρρενες η υπερμαστοειδής ακρολοφία αποτελεί συνέχεια της απόφυσης και γίνεται μέρος της κροταφικής γραμμής. Το χαρακτηριστικό αυτό εξαρτάται από την ανάπτυξη του κροταφικού μυ (Kenn, 1950). Οι Hoyme & Iscan (1989) υπέδειξαν ότι το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό είναι ένδειξη μεγαλύτερης ευρωστίας στους άρρενες, γεγονός που το καθιστά καλό δείκτη προσδιορισμού του φύλου μόνο σε πληθυσμούς που παρουσιάζουν φυλετικά διμορφική ευρωστία. Με άλλα λόγια, η έκφρασή του πιθανόν να ποικίλει ανάλογα με την ευρωστία του πληθυσμού. Σε λιγότερο ρωμαλέους πληθυσμούς μπορεί να είναι δύσκολο να διακρίνει κανείς τα αρσενικά από τα

θηλυκά άτομα, καθώς τα μυϊκά αποτυπώματα είναι αδύνατα κι η επιφάνεια της περιοχής σχεδόν λεία, ενώ αντίστοιχα σε πληθυσμούς που παρουσιάζουν ευρωστία μπορεί η ίδια διάκριση να είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί, καθώς το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού επιδεικνύει σημαντικά αποτυπώματα μυών (Hoyme & Iscan, 1989).

Παρά το γεγονός ότι βρίσκεται σε εξέλιξη η συζήτηση για το αν είμαστε ή όχι σε θέση να διαφοροποιήσουμε τα θηλυκά από τα αρσενικά άτομα πριν από την εφηβική ηλικία, υπάρχει μια γενική συμφωνία ότι πράγματι υπάρχουν διαφορές μεταξύ των δύο φύλων πριν την ενηλικίωση (Plomp, 2011). Μετά την εξέταση του αναστήματος και του κρανιακού μήκους και πλάτους σε 73 κορίτσια ηλικίας 6 - 15 ετών και 47 αγόρια ηλικίας 10-18 ετών από το Μόντρεαλ, οι Baughan & Demirjian (1978) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, ακόμη και πριν από την εφηβεία, τα κορίτσια έχουν μικρότερο κρανίο από ό, τι τα αγόρια. Ωστόσο, ο φυλετικός διμορφισμός είναι μικρότερος στην εφηβεία από αυτόν που παρατηρείται σε ενήλικες και ως εκ τούτου είναι πιο δύσκολο να προσδιοριστεί το φύλο των νεότερων ατόμων. Λίγο πριν την εφηβεία ο φυλετικός διμορφισμός αυξάνεται, εξαιτίας της έκκρισης διαφορετικών ορμονών, γεγονός που αντανakλάται στην εφηβική έκρηξη ανάπτυξης (Scheuer & Black, 2004).

1.3. Μέθοδοι Προσέγγισης του Κρανιακού Φυλετικού Διμορφισμού

Οι κλασικές προσεγγίσεις για τη μελέτη του φυλετικού διμορφισμού περιλαμβάνουν τις μορφολογικές και τις μετρικές μεθόδους.

Οι μορφολογικές μέθοδοι επιτυγχάνουν, (με ακρίβεια της τάξεως του 90%), τον προσδιορισμό του φύλου, μέσω της αξιολόγησης επιμέρους δεικτών του σκελετού του κρανίου, της κάτω γνάθου και της πυέλου (Williams & Rogers, 2006). Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών απαιτεί ενδελεχή εξάσκηση και ενέχει σημαντικό βαθμό υποκειμενικότητας, σε ότι αφορά στην αξιολόγηση μεμονωμένων μορφολογικών γνωρισμάτων (Bookstein *et al.*, 1985· Slice, 2007).

Οι μετρικές μέθοδοι χρησιμοποιούν μετρήσεις σκελετικών διαστάσεων (Hanihara, 1959· Giles & Eliot, 1963· Giles, 1964· Birkby, 1966· Henke, 1974), που αξιολογούνται βάσει εξισώσεων υπολογισμένων από γνωστό πληθυσμό. Βασική προϋπόθεση, επομένως, είναι να ανήκουν οι υπό μελέτη σκελετοί στον συγκεκριμένο πληθυσμό. Κατά συνέπεια, υπάρχει περιορισμός στην εφαρμογή των μεθόδων αυτών, εάν τα δείγματα δεν μπορούν να ενταχθούν σε έναν ήδη μελετημένο πληθυσμό (Franklin *et al.*, 2005· Frutos, 2005· Kemkes-Grottenthaler, 2005· Barrio *et al.*, 2006· Bidmos, 2004· Gualdi-Russo, 2007· Rosing *et al.*, 2007).

Το ποσοστό ακριβείας των μετρικών μεθόδων ανέρχεται σε 85-90% για μετακρανιακό υλικό (Meindl *et al.*, 1985· Krogman & Iscan, 1986· Mays & Cox, 2000) και σε 80% για κρανιακό υλικό (Hoyme & Iscan, 1989).

Παρά τις ανησυχίες που εγείρουν και οι δύο μέθοδοι, η εκτίμηση του φύλου χρησιμοποιώντας ενήλικο κρανίο έχει προοδεύσει σε σχέση με προηγούμενες μελέτες.

Η μέθοδος της “Τριδιάστατης Γεωμετρικής Μορφομετρικής Ανάλυσης (3DGM)” (Corti, 1993) παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού του φύλου, χρησιμοποιώντας το σχήμα του κρανίου χωρίς να λαμβάνεται υπ’ όψιν ο παράγοντας του κρανιακού μεγέθους (Slice, 2007). Πιο συγκεκριμένα, η 3DGM περιγράφει το υπό εξέταση αντικείμενο με τη βοήθεια τριδιάστατων (3D) συντεταγμένων, οι οποίες αντιστοιχούν σε σημεία αναφοράς.

Στα αξιοσημείωτα πλεονεκτήματα της μεθόδου περιλαμβάνεται η αντικειμενικότητα στην αξιολόγηση του σχήματος του εκάστοτε οστού. Στο σημείο αυτό η εν λόγω μέθοδος υπερτερεί σημαντικά, όταν συγκρίνεται με τις μορφολογικές μεθόδους περιγραφής των οστών. Επιπλέον, συγκρινόμενη με τις παραδοσιακές μετρικές μεθόδους, η 3DGM παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια (της τάξεως του 87%) στον προσδιορισμό του φύλου, όταν χρησιμοποιείται κρανιακό υλικό (Franklin *et al.*, 2005, 2006a, 2007b).

1.3.1. Μορφολογικές μέθοδοι

Αρκετές, ευρέως διαδεδομένες, μελέτες στους τομείς της ανθρωπολογίας και της ιατροδικαστικής προτείνουν και περιγράφουν ένα περιορισμένο αριθμό μορφολογικών χαρακτηριστικών του κρανίου για τον προσδιορισμό του φύλου (Krogman & Iscan, 1986· White *et al.*, 2012· Bass, 1995· Buikstra & Ubelaker, 1994). Η δημοτικότητα των συγκεκριμένων προτεινόμενων χαρακτηριστικών, είναι δύσκολο να κατανοηθεί, καθώς πολύ λίγα από αυτά έχουν υποβληθεί σε ελέγχους αξιοπιστίας και εγκυρότητας (Graw *et al.*, 1999· Gulekon & Turgut, 2003).

Πρόσφατα, σε αντίθεση με τα παραπάνω, έχουν αναπτυχθεί αποτελεσματικές τεχνικές, όπως για παράδειγμα η εκτίμηση της καμπυλότητας που εμφανίζει η οπίσθια επιφάνεια του κάθετου κλάδου της κάτω γνάθου (Loth & Henneberg, 1996), οι οποίες έχουν δοκιμαστεί από αρκετούς ανεξάρτητους ερευνητές σε διάφορους πληθυσμούς (Haun, 2000· Hill, 2000). Τελευταίες αναλύσεις σχετικά με τα παραδοσιακά χρησιμοποιούμενα χαρακτηριστικά (υπερόφρυα τόξα, μαστοειδή απόφυση, γενειακή σύμφυση), τονίζουν τη σημασία του συνδυασμού των εκτιμήσεων για τα ατομικά γνωρίσματα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ένας γενικός προσδιορισμός του φύλου κατά τρόπο αντικειμενικό και αμερόληπτο (Walker *et al.*, 1996· Konigsberg & Hens, 1998). Παρακάτω παρατίθενται τέσσερις ενδεικτικές μελέτες μορφολογικών μεθόδων σε κρανία και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αυτών.

Οι Graw *et al.* το 1999 μελέτησαν τα υπερόφρυα τόξα ως κριτήριο για τον καθορισμό του φύλου από το κρανίο. Για να καθοριστεί εάν αυτό το χαρακτηριστικό θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του φύλου από το κρανίο στο σύγχρονο άνθρωπο ερευνηθήκαν

108 κρανία (από 67 άνδρες και 41 γυναίκες) από δείγματα προερχόμενα από την νοτιοδυτική Γερμανία. Ο θάνατος των ατόμων είχε επέλθει κατά τη διάρκεια των ετών 1964-1994 και η ηλικία θανάτου των ατόμων ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το ποσοστό ακρίβειας του προσδιορισμού του φύλου είναι το ίδιο (70%), είτε στην ανάλυση συμπεριληφθούν και οι δύο οφθαλμικοί κόγχοι είτε μόνο ο ένας. Επιπλέον, εξετάζοντας το δεξιό και τον αριστερό οφθαλμικό κόγχο μεμονωμένα και σε συνδυασμό, συμπέραναν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο πλευρών. Δηλαδή, υπάρχει κυμαινόμενη ασυμμετρία.

Κυμαινόμενη ασυμμετρία καλείται η τυχαία μικρή απόκλιση των μορφολογικών δομών των ατόμων από την απόλυτη αμφίπλευρη συμμετρία. Η αμφίπλευρη συμμετρία χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη ενός μόνο επιπέδου συμμετρίας, το οποίο διέρχεται από τον επιμήκη άξονα του σώματος και το χωρίζει σε δύο συμμετρικά ήμισυ. Συνδέεται με την κεφαλοποίηση (δημιουργία κεφαλιού) και οι οργανισμοί με αμφίπλευρη συμμετρία είναι προσαρμοσμένοι πολύ καλύτερα στην κατευθυνόμενη προς τα εμπρός κίνηση.

Η μελέτη των Loth & Henneberg (1996) είχε ως στόχο να παρουσιάσει ένα νέο μορφολογικό δείκτη φυλετικού διμορφισμού στην κάτω γνάθο. Το δείγμα που αναλύθηκε αποτελείτο από 200 (116 αρσενικές, 84 θηλυκές) κάτω γνάθους από ενήλικες γνωστού φύλου, κυρίως από τη συλλογή Dart στο Τμήμα Ανατομίας και Ανθρώπινης Βιολογίας, της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου του Witwatersrand της Νότιας Αφρικής. Η πλειονότητα των γνάθων προέρχονταν από τοπικής προέλευσης άτομα. Η παρατήρηση των μορφολογικών χαρακτηριστικών οδήγησε στην εξεύρεση μιας διακριτής καμπύλης που εμφανίζεται στην οπίσθια επιφάνεια του κλάδου της κάτω γνάθου, στο ύψος της μασητικής επιφάνειας των γομφίων στους ενήλικους άρρενες. Η καμπύλη φαίνεται να είναι αναπτυξιακό γνώρισμα των αρσενικών ατόμων, επειδή εκδηλώνεται με σταθερότητα μετά την εφηβεία. Στις περισσότερες γυναίκες, το οπίσθιο όριο του κλάδου διατηρεί το ευθύ νεανικό του σχήμα. Ωστόσο, όπου σημειώθηκε καμπύλη, διαπιστώθηκε ότι βρισκόταν είτε σε υψηλότερο σημείο, κοντά στον αυχένα της κονδυλοειδούς απόφυσης, είτε χαμηλότερα σε συνδυασμό με την προεξοχή ή την αναστροφή της γωνίας της κάτω γνάθου.

Το ίδιο χαρακτηριστικό στη συνέχεια ελέγχθηκε σε δείγμα που απαρτιζόταν από 247 άτομα, Λευκούς, γηγενείς αμερικάνους-ινδιάνους και Μαύρους. Το δείγμα, 85 λευκά άτομα ευρωπαϊκής και αμερικανικής καταγωγής (N = 85), 66 γηγενείς αμερικάνοι-ινδιάνοι (N = 66) και 96 άτομα Μαύρης φυλής (N = 96) στεγάζεται στο Ινστιτούτο Smithsonian του Εθνικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας στην Ουάσινγκτον, DC. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν ότι η καμπυλότητα που εμφανίζει η οπίσθια επιφάνεια του κλάδου της κάτω γνάθου, έχει υψηλή ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου.

Στο αφρικανικό δείγμα, το σχήμα του κλάδου και μόνο οδήγησε σε σωστή ταξινόμηση κατά 99%. Το ποσοστό ακριβείας κυμάνθηκε από περίπου 91% στα Λευκά και Μαύρα άτομα έως πάνω από 92% στους γηγενείς αμερικάνους-ινδιάνους. Το ποσοστό της ακρίβειας για το σύνολο των αφρικανικών και αμερικανικών δειγμάτων ($N = 547$) ήταν της τάξης του 94,2%.

Ο Hill, το 2000 εξέτασε την καμπυλότητα που εμφανίζει η οπίσθια επιφάνεια του κλάδου της κάτω γνάθου, όπως αυτή ορίστηκε από τους Loth και Henneberg, σε ένα τυχαίο δείγμα 158 ατόμων. Τα αποτελέσματα, ωστόσο, έδειξαν ότι υπάρχει ακρίβεια σε ποσοστό 79,1%, το οποίο είναι πολύ χαμηλότερο από το αναφερόμενο 91-99%. Δεκαεπτά κάτω γνάθοι εξετάστηκαν δύο φορές για να γίνει έλεγχος επαναληψιμότητας. Μόνο το 64,7% των αποτελεσμάτων εμφανίστηκε ίδιο και στους δύο παρατηρητές, γεγονός που υποδηλώνει δυσκολία στον ακριβή προσδιορισμό της καμπύλης. Σύμφωνα με τη μελέτη του Hill, η χαμηλή συνολική ακρίβεια καθώς και τα αποτελέσματα του ελέγχου επαναληψιμότητας, υποδεικνύουν ότι η καμπύλη του κλάδου της κάτω γνάθου είναι μια αναξιόπιστη τεχνική για την εκτίμηση του φύλου.

Τέλος, οι Walker *et al.* το 1996 μελέτησαν τρεις σκελετικές συλλογές από το Μαλιμπού της Καλιφόρνιας. Ένα ιεραρχικό σύστημα χρησιμοποιήθηκε, ώστε να οδηγήσει σε εκτιμήσεις του φύλου. Σε πρώτο στάδιο, προσδιορίστηκε το φύλο σε άτομα των οποίων τα υπολείμματα ηβικών οστών και πυέλου παρείχαν σαφείς ενδείξεις του φύλου τους. Σε ένα δεύτερο στάδιο, παρατηρήθηκαν φυλετικά διμορφικά χαρακτηριστικά πλην της πυέλου των ατόμων αυτών. Στη συνέχεια, οι παρατηρήσεις αυτές βοήθησαν στη παραγωγή εξισώσεων λογιστικής παλινδρόμησης και διακριτικών συναρτήσεων, προς χρήση στον καθορισμό του φύλου. Τέλος, η απόδοση αυτών των εξισώσεων ελέγχθηκε με τη χρήση τους στην εκτίμηση του φύλου των ατόμων, το οποίο είχε ήδη καθοριστεί με βάση τη μορφολογία της πυέλου τους. Ως εκ τούτου, οι Walker *et al.* (1996) κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η μορφολογία του κρανίου είναι πιο αξιόπιστος δείκτης φύλου απ' ό,τι τα μακρά οστά ή οι διαστάσεις του κρανίου.

1.3.2. Μετρικές μέθοδοι

Παρατηρήσεις που αφορούν στη μορφολογία του σκελετού είναι πιο εύκολο να γίνουν, ωστόσο είναι δυσκολότερο να αξιολογηθούν. Από την άποψη αυτή, οι μετρικές μελέτες μπορούν να παρέχουν ορισμένα πλεονεκτήματα, διότι αποτελούν ένα πιο αντικειμενικό τρόπο για την απόκτηση δεδομένων (Krogman & Iscan, 1986· Walrath *et al.*, 2004). Σύμφωνα με τις μετρικές μεθόδους, ο ερευνητής πριν την ανάλυση καθορίζει τα σκελετικά σημεία που θα συμπεριλάβει σε αυτήν.

Με τη χρήση οστεομετρικών τεχνικών, ο καθορισμός του φύλου από κρανία στηρίχθηκε σε μεγάλο βαθμό στη στατιστική ανάλυση. Ορισμένες από τις μελέτες προσδιορισμού του φύλου από κρανία βάσει μετρικών μεθόδων, πραγματοποιήθηκαν σε Ευρωπαϊκούς (Defrise-Gussenhoven,

1966), Αμερικανικούς (Giles & Eliot, 1963), Νοτιοαφρικανικούς (Giles & Eliot, 1963· Keen, 1950· Steyn & Iscan, 1998· Iscan & Steyn, 1999), Ιαπωνικούς (Hanihara, 1959) και Κινεζικούς (Iscan & Ding, 1995) πληθυσμούς. Ο αριθμός των ερευνητικών εργασιών αυξήθηκε ακόμη περισσότερο με τη μελέτη του μετακρανιακού σκελετού, σε διάφορους πληθυσμούς (Krogman & Iscan, 1986· Iscan, 2005). Αναφέρουμε παρακάτω ορισμένες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε κρανία σύμφωνα με μετρικές μεθόδους.

Ο Olivier το 1975, ύστερα από μια μετρική ανάλυση του ινιακού οστού, που διεξήχθη σε 125 κρανία γαλλικού πληθυσμού κατέληξε, μεταξύ άλλων, στο συμπέρασμα ότι οι φυλετικές διαφορές είναι πιο εύκολο να περιγραφούν παρά να μετρηθούν στην συγκεκριμένη περιοχή.

Οι Noren *et al.* το 2005 παρουσίασαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής μιας μεθόδου, η οποία μετράει την πλευρική γωνία για τον προσδιορισμό του φύλου σε σκελετικά υπολείμματα. Ως πλευρική γωνία ορίζεται η γωνία που σχηματίζει το στόμιο του έσω ακουστικού πόρου σε σχέση με την μέση επιφάνεια της λιθοειδούς μοίρας του κροταφικού οστού (εικόνα 8).

Η μέθοδος δοκιμάστηκε σε ένα δείγμα 113 ατόμων, γνωστού φύλου. Το δείγμα προήλθε από το Ινστιτούτο Ιατροδικαστικής του Πανεπιστημίου Tübingen στη Γερμανία. Πραγματοποιήθηκε επίσης έλεγχος επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας. Βρέθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά στο μέγεθος της γωνίας μεταξύ αρρένων και θηλέων (το μέσο μέγεθος της γωνίας των αρσενικών ατόμων ήταν 39,38, ενώ το μέσο μέγεθος της γωνίας των θηλυκών ήταν 48,28). Δεν παρατηρήθηκε διαφορά στο μέγεθος της γωνίας ανάμεσα στις δύο πλευρές. Σε τυχαία δείγματα, το 83,2% ταξινομήθηκε σωστά ως προς το φύλο.

Η ίδια μέθοδος δοκιμάστηκε και σε αρχαιολογικό σκελετικό δείγμα. Το φύλο δεν ήταν από πριν γνωστό σε αυτό το δείγμα, αντ' αυτού εκτιμήθηκε από την μελέτη της μορφολογίας της πυέλου και του κρανίου. Βρέθηκε υψηλότερη συνάφεια μεταξύ της πλευρικής γωνίας και της μορφολογίας της πυέλου, απ' ότι μεταξύ της πλευρικής γωνίας και της μορφολογίας του κρανίου όσον αφορά στον προσδιορισμό του φύλου.



Εικόνα 8: Πλευρική γωνία

(Πηγή: <http://web.donga.ac.kr/ksyoo/departement/education/grossanatomy/doc/html/temporal.html>)

Οι Suazo *et al.* (2008) εξέτασαν την ύπαρξη φυλετικού διμορφισμού με την χρήση της διαχωριστικής ανάλυσης, στις διαστάσεις της περιοχής της μαστοειδούς απόφυσης. Στην μελέτη τους συμπεριλάβανε τρία σημεία, το σημείο που βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ακουστικό πόρο (*porion*), το κατώτερο σημείο της μαστοειδούς απόφυσης (*mastoidale*) και το σημείο όπου συναντώνται το βρεγματικό, το κροταφικό και το ινιακό οστό (*asterion*).

Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 81 κρανία πληθυσμού της Βραζιλίας, μέρος της συλλογής του Μουσείου του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο (UNIFESP). Το φύλο και η ηλικία των κρανίων ήταν γνωστά: 50 αρσενικά και 31 θηλυκά μεταξύ 40 και 70 ετών (μέση τιμή 51,58 χρόνια). Οι περισσότερες από τις αποστάσεις μεταξύ των σημείων και οι επιφάνειες που μελετήθηκαν ήταν μεγαλύτερες στα αρσενικά άτομα, παρά στα θηλυκά.

Η διαχωριστική ανάλυση έδειξε ότι στο σύνολό τους οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων παρουσίασαν χαμηλή διακριτική ικανότητα. Μόνο η απόσταση μεταξύ του σημείου που βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον ακουστικό πόρο (*porion*) και του κατώτερου σημείου της μαστοειδούς απόφυσης (*mastoidale*), επιτρέπει σε κάποιον να διακρίνει τα αρσενικά άτομα από τα θηλυκά, με ποσοστό γενικής ακρίβειας 64,2%. Συγκεκριμένα, υπάρχει υψηλή ευαισθησία ως προς την ταξινόμηση των αρσενικών ατόμων (93%) και πολύ χαμηλή ευαισθησία ως προς την ταξινόμηση των θηλυκών (17,7%).

Οι Lopez *et al.* το 2009 μελέτησαν την παρουσία φυλετικού διμορφισμού στο μέγεθος του απιοειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας και τη σχέση του με το χρώμα του δέρματος των ατόμων. Χρησιμοποιήθηκαν 90 ανθρώπινα κρανία, από τη Συλλογή του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο (UNIFESP), με καταγεγραμμένα στοιχεία σχετικά με το φύλο, την ηλικία και το χρώμα του δέρματος (που ταξινομείται ως λευκό, μαύρο και καφέ). Οι διαστάσεις που μελετήθηκαν ήταν το ύψος καθώς και το άνω και κάτω πλάτος του απιοειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας. Όλες οι διαστάσεις ήταν μεγαλύτερες στα αρσενικά άτομα απ' ό,τι στα θηλυκά, ωστόσο μόνο το ύψος του απιοειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας βρέθηκε να είναι στατιστικώς σημαντικό.

Η έρευνα των Zavando *et al.* (2009) διεξήχθη με σκοπό να καθορίσει το φυλετικό διμορφισμό χρησιμοποιώντας κρανιακές αποστάσεις, βάσει διακριτικής ανάλυσης, σε ένα δείγμα 226 ανθρώπινων κρανίων, από τη συλλογή του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του São Paulo (UNIFESP). Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στις ακόλουθες διαστάσεις: απόσταση μεταξύ του σημείου που εντοπίζεται ενδιάμεσα στα υπερόφρυα τόξα και του περισσότερο εξέχοντος σημείου του ινιακού οστού (*Gla – Op*), απόσταση μεταξύ του σημείου που προσδιορίζεται από την τομή της μετωπορινικής ραφής με το κατακόρυφο επίπεδο και του πιο πρόσθιου τμήματος της φατνιακής απόφυσης της άνω γνάθου (*Na – Pr*), η μέγιστη απόσταση

μεταξύ των ζυγωματικών αποφύσεων ($Z_i - Z_i$), καθώς και το ύψος του απιοειδούς διαφράγματος. Ωστόσο, μόνο για τη μέγιστη απόσταση μεταξύ των ζυγωματικών αποφύσεων και το ύψος του απιοειδούς διαφράγματος, προσδιορίστηκε μια διακριτική συνάρτηση με απόδοση 82% για την ορθή κατάταξη του φύλου. Η συνεισφορά των υπόλοιπων διαστάσεων στη διακριτική συνάρτηση δεν οδήγησε σε μεγαλύτερη ακρίβεια του προσδιορισμού του φύλου.

Το 2008, οι Kranioti *et al.* ανέπτυξαν μεθοδολογία προσδιορισμού του φύλου με εφαρμογή οστεομετρικών μεθόδων, σε κρητικό πληθυσμό. Το δείγμα, 90 αρσενικά και 88 θηλυκά άτομα, συλλέχθηκε από τα κοιμητήρια «Άγιος Κωνσταντίνος» και «Πατέλες» στο Ηράκλειο και λήφθηκαν από αυτό 16 κρανιομετρικές αποστάσεις του προσωπικού κρανίου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι όλες οι αποστάσεις είναι μεγαλύτερες στα άρρενα συγκριτικά με τα θήλεα. Επιπλέον, όταν η ανάλυση στηρίζεται σε μια μόνο μεταβλητή, η μέγιστη απόσταση μεταξύ των ζυγωματικών αποφύσεων εμφανίζει τη μέγιστη διακριτική ικανότητα (82%), ενώ συμπεριλαμβάνοντας όλες τις μεταβλητές, η ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου ανεβαίνει στο 88,2%.

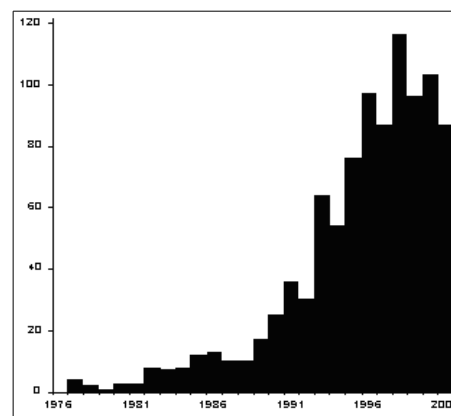
1.3.3. Γεωμετρικές Μορφομετρικές μέθοδοι

Τη δεκαετία του '80 άλλαξε ο τρόπος συλλογής και ανάλυσης δεδομένων (Rohlf & Marcus, 1993). Αυτό που προσέλκυσε το ενδιαφέρον ήταν τα δεδομένα που συλλέγονταν με τη μορφή διδιάστατων και τριδιάστατων συντεταγμένων αναφορικών και ψευδοαναφορικών σημείων, ενώ ταυτόχρονα σχεδιάστηκαν μέθοδοι για την ανάλυση των δεδομένων αυτών (Bookstein, 1991, 1997· Adams *et al.*, 2004). Η συγκεκριμένη προσέγγιση, που σήμερα ονομάζεται γεωμετρική μορφομετρία, παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις μετρικές μεθόδους.

Πρώτον, οι ερευνητές μπορούν να διατηρήσουν γεωμετρικές πληροφορίες για τις σχετικές θέσεις των συντεταγμένων των σημείων. Δεύτερον, τα αποτελέσματα της πολυπαραγοντικής ανάλυσης απεικονίζονται ως δομές, όπως αυτές διαμορφώνονται ύστερα από την ανάλυση των αναφορικών σημείων. Τρίτον, μπορούν να αξιολογήσουν τη διακύμανση σε δομές με λίγα αναφορικά σημεία ή μόνο με ψευδο-αναφορικά σημεία (Adams *et al.*, 2004). Για τους λόγους αυτούς, η γεωμετρική μορφομετρία θεωρείται πιο κατάλληλη για να περιγράψει τις διακριτικές διαφορές ορισμένων φυλετικά διμορφικών χαρακτηριστικών.

Παρόλο που από τη δεκαετία το '80 οι Kendall και άλλοι ανέπτυξαν μεθόδους ανάλυσης συντεταγμένων σημείων, μόλις στις αρχές της δεκαετίας του '90 τα πλεονεκτήματα των γεωμετρικών μορφομετρικών μεθόδων έγιναν ευρέως γνωστά και οι βιολόγοι χρησιμοποιούσαν αναφορικά σημεία προκειμένου να αντιμετωπίσουν ένα ευρύ φάσμα υποθέσεων (Adams *et al.*, 2004).

Η αυξανόμενη σημασία των γεωμετρικών μορφομετρικών μεθόδων της δεκαετίας του '90 είναι εμφανής στην εικόνα 9, που δείχνει τον αριθμό των δημοσιεύσεων ανά έτος από το 1976 έως το 2001. Τα δεδομένα της εικόνας 9 προέρχονται από τη βιβλιογραφική βάση δεδομένων μορφομετρίας της Lynch (<http://www.public.asu.edu/~jmlynch/geomorph/index.html>) καθώς και από την ιστοσελίδα (<http://www.isinet.com>) όσον αφορά τις δημοσιεύσεις των Rohlf & Slice, 1990· Bookstein, 1991· Rohlf & Marcus, 1993· Marcus et al., 1996.



Εικόνα 9: Δημοσιεύσεις άρθρων γεωμετρικών μορφομετρικών μεθόδων (Πηγή: Adams *et al.*, 2004)

Παρακάτω αναφέρουμε ορισμένες δημοσιεύσεις της πρώτης δεκαετίας του 21^{ου} αιώνα.

Οι Franklin *et al.* (2005) εξέτασαν τον φυλετικό διμορφισμό και δημιούργησαν μια διακριτική συνάρτηση για τον καθορισμό του φύλου, σε κρανία ιθαγενών της Νότιας Αφρικής. Ως δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες κρανιομετρικές αποστάσεις που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι ανθρωπολόγοι, οι οποίες εξήχθησαν από τριδιάστατα αναφορικά σημεία.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο φυλετικός διμορφισμός στο σύνολο των κρανίων της Νότιας Αφρικής είναι στατιστικά σημαντικός. Επιπλέον, βρέθηκε ότι το πλάτος του προσώπου είναι η σημαντικότερη διακριτική μορφομετρική μεταβλητή. Το μήκος του κρανίου και η απόσταση μεταξύ του σημείου που βρίσκεται στο μέσον του εμπρόσθιου χείλους του ινιακού τμήματος και του σημείου συνάντησης της μετωπο-βρεγματικής και της μεσοβρεγματικής ραφής (*basion – bregma*), είναι τα επόμενα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά. Οκτώ μετρήσεις που προήλθαν από τα τριδιάστατα δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν για να παράγουν μια σειρά από διακριτικές συναρτήσεις για τον προσδιορισμό του φύλου στο συνολικό δείγμα. Η εκτίμηση του φύλου επιτεύχθηκε με ακρίβεια σε ποσοστό 77-80%. Η ανάλυση του θόλου του κρανίου και του προσώπου, μεμονωμένα, έδειξε ότι το φύλο μπορεί να προσδιοριστεί από κακώς διατηρημένα δείγματα με ποσοστό ακρίβειας 75-76%. Οι αναλύσεις των υποομάδων ξεχωριστά βελτίωσαν σε σχετικά μικρό βαθμό την ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου.

Οι Kimmerle *et al.* το 2008 μελέτησαν τις επιπτώσεις του μεγέθους και του φύλου στο σχήμα του προσωπικού κρανίου μεταξύ των αμερικανικών πληθυσμών. Τριδιάστατες συντεταγμένες 16 κρανιοπροσωπικών αναφορικών σημείων αποκτήθηκαν, μέσω ψηφιοποίησης, από το Microscribe-3DX. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν για 118 Λευκά και Μαύρα άτομα, αρσενικά και θηλυκά, από τη συλλογή W.M. Bass Donated Collection και από την Ιατροδικαστική Τράπεζα δεδομένων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φύλο είχε σημαντική επίδραση στο σχήμα του προσωπικού κρανίου τόσο για τα Λευκά όσο και για τα Μαύρα αμερικανικής καταγωγής άτομα. Αντιθέτως, το μέγεθος δεν φάνηκε να ασκεί σημαντική επίδραση στο σχήμα ούτε στα Λευκής ούτε στα Μαύρης φυλής άτομα. Ως εκ τούτου, για κάθε φύλο, άτομα διαφορετικού μεγέθους είχαν στατιστικά το ίδιο σχήμα.

Οι Franklin *et al.*, το 2008, εξέτασαν τις κάτω γνάθους από 225 (120 αρσενικά, 105 θηλυκά) ενήλικα άτομα μιας φυλής της Νότιας Αφρικής. Όλα τα άτομα προέρχονταν από τη συλλογή Raymond A. Dart Collection of Human Skeletons που στεγάζεται στη Σχολή Ανατομικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Witwatersrand στο Γιοχάνεσμπουργκ. Τριάντα οχτώ συντεταγμένες τριδιάστατων αναφορικών σημείων και από τις δύο πλευρές της κάτω γνάθου αποκτήθηκαν, μέσω ψηφιοποίησης, χρησιμοποιώντας το Microscribe G2X, ενώ στη συνέχεια αναλύθηκαν με τη χρήση γεωμετρικών μορφομετρικών μεθόδων. Κατά την εξέταση των διαφορών του σχήματος μεταξύ των δύο φύλων, απεδείχθη ότι οι περιοχές που εμφανίζουν μεγαλύτερο φυλετικό διμορφισμό στην κάτω γνάθο, είναι εκείνες του κονδύλου και του κλάδου και σε μικρότερο βαθμό το σώμα της κάτω γνάθου. Από τη διασταυρωμένη επικύρωση του πίνακα ταξινόμησης παρατηρήσεων προέκυψε ότι το ποσοστό ακριβείας στην ταξινόμηση του φύλου στο συνολικό δείγμα ήταν της τάξης του 83,1%.

Το δείγμα μελέτης των Bigoni *et al.* (2010) αποτέλεσαν 139 κρανία ατόμων γνωστού φύλου (73 αρσενικά και 66 θηλυκά), που έζησαν κατά το πρώτο μισό του 20ου αιώνα στη Βοημία. Οι τριδιάστατες συντεταγμένες των 82 αναφορικών σημείων που συλλέχθηκαν στην εξωτερική επιφάνεια του κρανίου και τα 39 ψευδοαναφορικά σημεία που καλύπτουν τη διάμεση καμπύλη του θόλου του κρανίου, ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση του MicroScribe G2X. Οι στόχοι της έρευνας ήταν να προσδιοριστούν οι περιοχές του κρανίου, όπου παρουσιάζεται πιο έντονος φυλετικός διμορφισμός και να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου για τον καθορισμό του φύλου από το σχήμα του κρανίου.

Τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι είναι προτιμότερο να αναλύονται ξεχωριστά τμήματα του κρανίου απ' ό,τι το κρανίο ως σύνολο. Σημαντικές διαφορές στο φύλο (η σημαντικότητα προσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας πολυμεταβλητή ανάλυση διακύμανσης) παρατηρήθηκαν στο σχήμα της διάμεσης καμπύλης του θόλου του κρανίου, στο προσωπικό κρανίο, στην περιοχή της μύτης, στους οφθαλμικούς κόγχους και στην υπερώα. Καμία διαφορά δεν καταγράφηκε ούτε στο σχήμα του κρανίου ως σύνολο ούτε στις περιοχές της βάσης και του νευροκράνιου. Μεγαλύτερη ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου επιτεύχθηκε με βάση το προσωπικό κρανίο (το 100% του δείγματος ταξινομήθηκε σωστά) και με τη διάμεση καμπύλη του θόλου του κρανίου (το 99% του δείγματος ταξινομήθηκε σωστά).

Οι Shearer *et al.*, το 2012, μελέτησαν σε 128 κρανία (65 θηλυκά, 63 αρσενικά) το πόσο έντονη εμφανίζεται η περιοχή του μεσόφρουου. Από το σύνολο του δείγματος, τριάντα έξι κρανία (17 θηλυκά, 19 αρσενικά) προέρχονταν από το σύγχρονο πορτογαλικό νεκροταφείο και ανήκουν στη συλλογή Luis Lopes του Μουσείου Bocage στη Λισσαβόνα της Πορτογαλίας. Τριάντα κρανία (16 θηλυκά, 14 αρσενικά) ήταν αфро-αμερικανικής καταγωγής και ανήκουν στη συλλογή Terry collection του Εθνικού Μουσείου Φυσικής Ιστορίας Smithsonian. Τέλος, εξήντα δύο κρανία ήταν ινδιάνικης καταγωγής, που ανεσκάφησαν από αρχαιολογικές περιοχές της νήσου Santa Rosa (SRI) στη Καλιφόρνια και σήμερα στεγάζονται στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Santa Barbara. Είκοσι εννέα από αυτά τα κρανία (13 θηλυκά, 16 αρσενικά) ανεσκάφησαν στη περιοχή του Skull Gulch (CA-SRI-2) που χρονολογείται από το 1150-1500 μ.Χ, και 33 κρανία (19 θηλέων, 14 αρρένων) ανεσκάφησαν στη περιοχή Tecolote Point (CA-SRI-3) που χρονολογείται μεταξύ 5200 και 2000 π.Χ.

Δημιουργήθηκαν τριδιάστατα μοντέλα με έναν επιτραπέζιο σαρωτή λέιζερ (lazer scanner), και σε κάθε τριδιάστατο μοντέλο απομονώθηκε η περιοχή του μεσοφρύου, χρησιμοποιώντας γεωμετρικά επίπεδα που ορίζονται από συγκεκριμένα αναφορικά σημεία του κρανίου.

Οι αναλογίες στην ένταση του μεσοφρύου, όπως προέκυψαν από τη στατιστική ανάλυση, αποκάλυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών κρανίων. Διαφορές επίσης παρατηρήθηκαν μεταξύ γεωγραφικά διακριτών πληθυσμών καθώς και μεταξύ πληθυσμών που απείχαν χρονικά μεταξύ τους, ωστόσο προέρχονταν από την ίδια γεωγραφική περιοχή.

Υπάρχουν πολύ λίγες αναφορές για τον ελληνικό πληθυσμό σχετικές με γεωμετρικές μορφομετρικές μεθόδους.

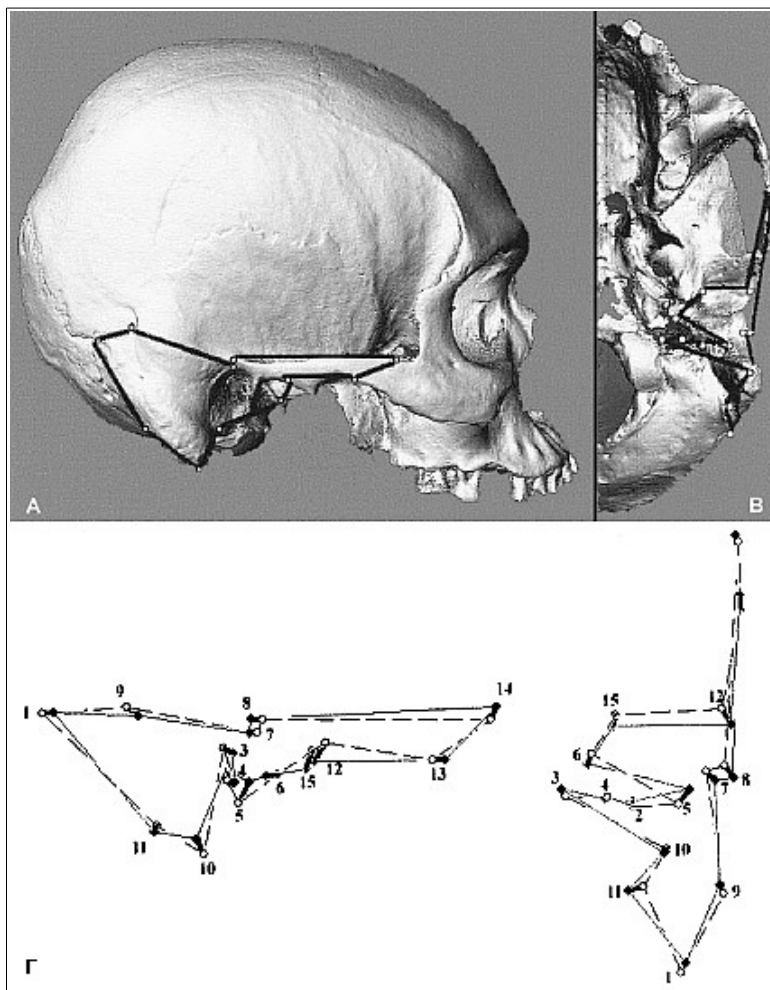
Οι Harvati & Weaver, το 2006, μελέτησαν την δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων για την ιστορία των πληθυσμών και τις κλιματικές συνθήκες από το σχήμα, το μέγεθος και τον προσανατολισμό του προσωποκράνιου, του νευροκράνιου και του κροταφικού οστού. Αρχικά, υπολόγισαν κρανιομετρικές αποστάσεις βάσει τριδιάστατων αναφορικών σημείων σε 13 πρόσφατους πληθυσμούς, εκ' των οποίων ο ένας ήταν ελληνικός. Κατόπιν, σύγκριναν τις αποστάσεις αυτές με τις γενετικές καθώς και κλιματικές αποστάσεις των ίδιων ή στενά αντίστοιχων πληθυσμών. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι το σχήμα του νευροκράνιου και του κροταφικού οστού συσχετίζονται με τις γενετικές αποστάσεις, ενώ του προσωποκράνιου με τις κλιματικές. Επιπλέον, το μέγεθος εμφανίζει μικρή συσχέτιση με τις κλιματικές μεταβλητές και ο προσανατολισμός / θέση των περιοχών του κρανίου δεν φαίνεται να συσχετίζεται με κανέναν από αυτούς τους δύο παράγοντες.

Οι Kranioti *et al.*, το 2009, αξιολόγησαν την εκτίμηση του φύλου από ψηφιακές ακτινογραφίες του αριστερού βραχιονίου, σύμφωνα με γεωμετρικές μορφομετρικές μεθόδους, σε κρητικό πληθυσμό. Το δείγμα 97 ατόμων, προέρχεται από τα κοιμητήρια «Άγιος Κωνσταντίνος» και «Πατέρες» στο Ηράκλειο. Μελέτησαν πέντε αναφορικά σημεία στην άνω επίφυση και εφτά αναφορικά σημεία στην κάτω επίφυση του βραχιονίου μεμονωμένα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, υπάρχουν διαφορές στο σχήμα του βραχιονίου μεταξύ των φύλων και η άνω επίφυση δίνει ελαφρώς καλύτερα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης (73%) συγκριτικά με την κάτω επίφυση (71%). Επιπλέον, έδειξαν ότι, όταν η ανάλυση βασίζεται στο μέγεθος, τα αντίστοιχα ποσοστά ακρίβειας είναι της τάξης του 86,5% και 85,6%, ενώ, όπως ήταν αναμενόμενο, όταν στην ανάλυση συμπεριλαμβάνεται και το σχήμα και το μέγεθος, τα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης αυξάνονται (για την άνω επίφυση είναι 89,6% και για την κάτω επίφυση 89,7%).

Τέλος, το 2013, δημοσιεύτηκαν αποτελέσματα της παρούσας διατριβής όσον αφορά τις περιοχές της βάσης του κρανίου και της υπερώας (Chovalopoulou *et al.*, 2013). Σύμφωνα με την συγκεκριμένη έρευνα, επιβεβαιώνεται η δυνατότητα προσδιορισμού του φύλου βάσει σχηματικών καθώς και μορφολογικών διαφορών ορισμένων περιοχών του κρανίου.

Η γεωμετρική μορφομετρία αποτελεί μια νέα προσέγγιση αξιολόγησης της μεταβλητότητας, τόσο στον τομέα των βιοϊατρικών επιστημών όσο και σε τομείς όπως η βιοαρχαιολογία, η εξέλιξη (Harvati, 2003 · Εικόνα 10) και η οικολογία. Οι πιο συχνές εφαρμογές της 3DGM σχετίζονται με τον καθορισμό της πληθυσμιακής συγγένειας ή καταγωγής (Ross *et al.*, 1999· Buck & Vidarsdottir, 2004), τον προσδιορισμό του φύλου (Steyn *et al.*, 2004· Oettle *et al.*, 2005· Pretorius *et al.*, 2006· Ross *et al.*, 2006· Franklin *et al.*, 2006a,b, 2007a,b· Kimmerle *et al.*, 2008) και την εκτίμηση ηλικίας (Braga & Treil, 2007). Η εικονική απεικόνιση καθώς και μέθοδοι γεωμετρικής μορφομετρίας είναι επίσης ύψιστης σημασίας για τη διευκόλυνση αρχαιολογικών ή δικανικών ερευνών μέσω της δημιουργίας προπλάσμάτων και της ανακατασκευής προσώπων για ταυτοποίηση σκελετών αντίστοιχα (Iscan & Helmer, 1993· Ghosh & Sinha, 2001· Fantini *et al.*, 2005). Αντίστοιχες μέθοδοι, συμβάλλουν θετικά και στον τομέα της χειρουργικής. Τα συγκεκριμένα μοντέλα δεν δίνουν μόνο τη δυνατότητα να πραγματοποιηθεί χειρουργική προσομοίωση αλλά παρέχουν και ένα πρότυπο για την κατασκευή μοσχευμάτων (Wong *et al.*, 2002· Perez-Arjona *et al.*, 2003· Cunningham *et al.*, 2005· Bartolo & Bidanda, 2008). Επιπλέον, για τη σωστή λειτουργία καταναλωτικών προϊόντων που σχετίζονται με το ανθρώπινο σώμα, όπως για παράδειγμα προστατευτικά κράνη, μάσκες θαλάσσης και γυαλιά, απαιτείται καλή εφαρμογή στο σώμα και η σχεδίαση εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα ανθρωπομετρικών πληροφοριών που περιγράφουν το σχήμα και το μέγεθος του εκάστοτε τμήματος του σώματος (Ball, 2011).



Εικόνα 10: Α (Πλάγια όψη), Β (Βάση κρανίου): Αναφορικά σημεία κροταφικού οστού σε σύγχρονο ανθρώπινο κρανίο. Τα αναφορικά σημεία αντιπροσωπεύονται από κουκκίδες, ενώ οι μαύρες γραμμές μεταξύ των αναφορικών σημείων είναι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για την ευκολία στην απεικόνιση. Γ: Μέσος όρος σχήματος των Neanderthals και των σύγχρονων ανθρώπων. Οι μαύροι ρόμβοι αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των Neanderthals, ενώ οι άσπροι κύκλοι τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των σύγχρονων ανθρώπων. Οι γραμμές μεταξύ των αναφορικών σημείων είναι συνδέσεις που χρησιμοποιούνται για την ευκολία στην οπτικοποίηση. Συνεχόμενη γραμμή: Neanderthal, διακεκομμένη: σύγχρονος άνθρωπος. Οι έντονες γραμμές υποδηλώνουν την κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των Neanderthals σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των σύγχρονων ανθρώπων (Πηγή: Harvati, 2003)

2. Σκοπός της Παρούσης Διδακτορικής Διατριβής

Η υπόθεση της εργασίας αφορά την επιτυχή εφαρμογή της μεθόδου “Τρισδιάστατη Γεωμετρική Μορφομετρική Ανάλυση” σε κρανιακό υλικό σύγχρονων ελληνικών πληθυσμών. Οι στόχοι είναι: α) Να διερευνηθεί κατά πόσο το φύλο μπορεί να προσδιοριστεί επιτυχώς και να εντοπισθούν περιοχές του κρανίου όπου διαφαίνεται σαφέστερα ο φυλετικός διμορφισμός, β) Να εξετασθεί αν οι περιοχές αυτές εμφανίζουν ομολογία σε διαφορετικής προέλευσης πληθυσμούς, προκειμένου να αξιοποιηθούν από ιατροδικαστές, δικαστικούς ανθρωπολόγους ή και φυσικοανθρωπολόγους.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης μπορούν να συνεισφέρουν στον τομέα της δικαστικής ανθρωπολογίας καθώς και στην βιοαρχαιολογία, δεδομένου ότι μελετώνται μεμονωμένες περιοχές του κρανίου και όχι το σύνολο αυτού.

3. Υλικό και Μέθοδοι

3.1. Υλικό

Το υλικό μελέτης ανήκει στη σύγχρονη συλλογή αναφοράς του Τομέα Φυσιολογίας Ζώων & Ανθρώπου, που ολοκληρώθηκε το 2003 και στεγάζεται στο Τμήμα Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η συλλογή περιλαμβάνει σκελετούς 225 ατόμων, γνωστού φύλου και ηλικίας, καταγόμενων από διάφορες περιοχές της Ελλάδας, αλλά και από μέρη εκτός των σημερινών συνόρων της, με χρονολογίες θανάτου από το 1963 έως το 1996 (Eliopoulos *et al.*, 2007).

Μέχρι σήμερα, έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη και την ανάπτυξη νέων μεθοδολογιών προσδιορισμού του φύλου, μετρήσεις που βασίζονται σε μετακαρπικά οστά (Manolis *et al.*, 2009), μεταταρσικά οστά (Mountrakis *et al.*, 2010), οστά του χεριού (Charisi *et al.*, 2011), φάλαγγες (Karakotsis *et al.*, 2013) και δόντια (Mitsea *et al.*, 2014· Zorba *et al.*, 2011,2012,2013,2014) καθώς και τριδιάστατες συντεταγμένες αναφορικών σημείων στο κρανίο (Chonaioroulou *et al.*, 2013).

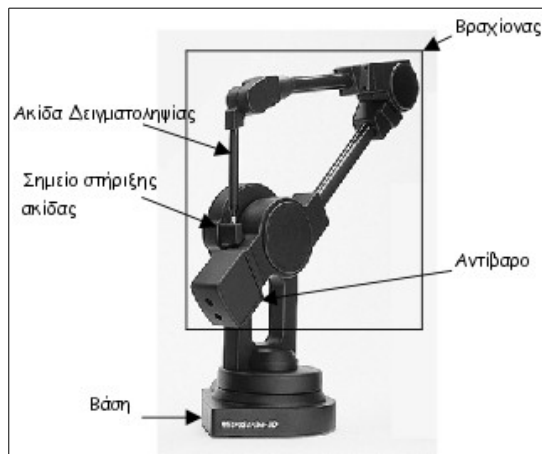
Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής μελετήθηκαν συνολικά 176 κρανία ενήλικων ατόμων, εκ των οποίων τα 94 ήταν αρσενικού φύλου και ηλικιακού εύρους 19-96 ετών και τα 82 θηλυκού φύλου και ηλικιακού εύρους 22-99 ετών (Εικόνα 11).



Εικόνα 11: Ενδεικτική φωτογραφία υλικού (Πηγή: Eliopoulos, 2006)

3.2. Όργανο συλλογής δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων έγινε με τη χρήση του οργάνου Microscribe 3DX digitizer (Immersion Corp, San Jose, CA, <http://isites.harvard.edu/icb/icb.do?keyword=k2507&pageid=icb.page12930>). Το Microscribe (Εικόνα 12) είναι ένα φορητό, εύχρηστο και αξιόπιστο εργαλείο ψηφιοποίησης, με το οποίο ο χρήστης μπορεί να εισάγει άμεσα στα περισσότερα λογισμικά γραφικών οποιοδήποτε διακριτό σημείο ενός αντικειμένου απλά με την τοποθέτηση της ακίδας στο σημείο αυτό. Ο βραχίονας έχει δυνατότητα έκτασης 24 ιντσών και το επίπεδο ακρίβειας του Microscribe 3DX είναι ± 0.23 mm (Immersion, CA.)



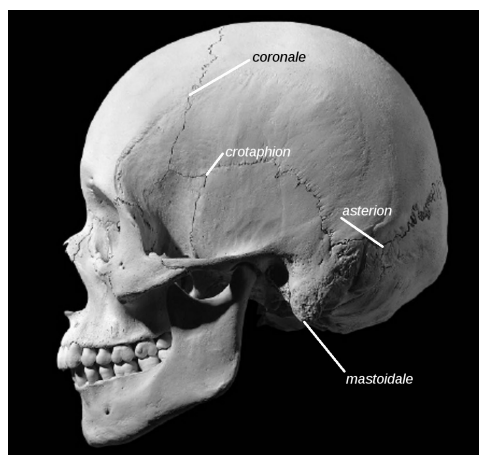
Εικόνα 12: Microscribe 3DX digitizer (Πηγή: <http://remtek.com/remtek/ourBEAT.htm>)

3.3. Μεθοδολογία

Η μελέτη του φυλετικού διμορφισμού σε κρανία περιλαμβάνει τη διάκριση έξι (6) βασικών περιοχών στην εξωτερική επιφάνεια του κρανίου: τον κρανιακό θόλο, την κρανιακή βάση, το προσωπικό κρανίο, τους οφθαλμικούς κόγχους, το στόμιο της ρινικής κοιλότητας και την υπερώα (Suazo *et al.*, 2008· Bigoni *et al.*, 2010· Lopez *et al.*, 2009). Προκειμένου να επιτευχθεί η ψηφιοποίηση των περιοχών αυτών, επιλέχθηκαν 80 αναφορικά σημεία, με γνώμονα τη δυνατότητα του εύκολου και ακριβούς εντοπισμού τους πάνω στο κρανίο (Rohlf, 1996· Snow, 2004, Πίνακας και Εικόνες σελίδες viii-xi). Επιπλέον, ψηφιοποιήθηκε μια σειρά 30 διακριτών σημείων στην εξωτερική επιφάνεια του νευροκράνιου, τα οποία συνιστούν την καμπύλη του κρανίου (Bigoni *et al.*, 2010).

Η εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει την διάκριση των αναφορικών σημείων στις εξής τρεις κατηγορίες (Bookstein, 1991):

1. Τα ανατομικά αναφορικά σημεία, τα οποία καθορίζονται από την ανατομία των οστών του κρανίου, π.χ. το *asterion* και το *crotaphion* (εικόνα 13).
2. Τα μαθηματικά αναφορικά σημεία, τα οποία καθορίζονται βάσει κρανιομετρικών αποστάσεων, π.χ. το *mastoidale* και το *coronale* (εικόνα 13) και

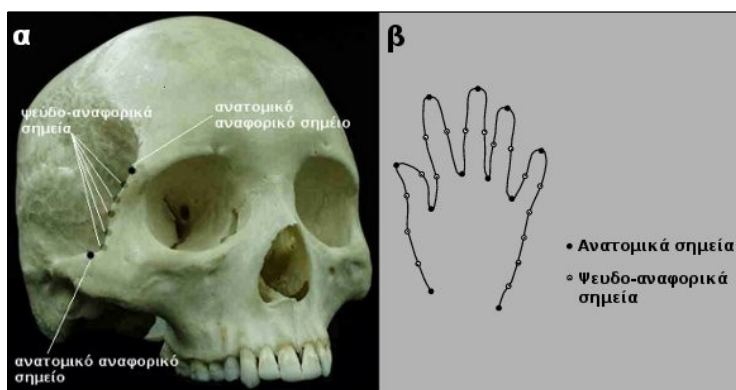


Εικόνα 13: Παραδείγματα ανατομικών και μαθηματικών αναφορικών σημείων (Πηγή: White *et al.*, 2012)

3. Τα ψευδο-αναφορικά σημεία, τα οποία εντοπίζονται μεταξύ των δύο προαναφερθέντων τύπων σημείων και μπορούν να αποδώσουν καμπύλα τμήματα του υπό μελέτη αντικειμένου (εικόνα 14).

Για την ψηφιοποίηση καμπύλων τμημάτων, αρχικά καθορίζεται στο λογισμικό του Microscribe η απόσταση μεταξύ των σημείων που επιθυμούμε να καταγραφούν και στη συνέχεια, με την ακίδα του Microscribe, διατρέχεται η καμπύλη από το αρχικό έως το τελικό της σημείο. Τα δύο αυτά σημεία πρέπει να είναι είτε ανατομικά, είτε μαθηματικά αναφορικά σημεία και συλλέγονται πριν από τα ψευδο-αναφορικά σημεία (Bookstein, 1991· Bookstein *et al*, 2002).

Για παράδειγμα, εάν καθορίζεται η λήψη δεδομένων ανά 1cm σε ένα τμήμα συνολικού μήκους 10cm, θα προκύψουν οι συντεταγμένες για 8 ψεύδο-αναφορικά σημεία δεδομένου ότι το αρχικό και τελικό σημείο είναι είτε ανατομικό είτε μαθηματικό αναφορικό σημείο (Williams S.E., 2008). Στη συγκεκριμένη μελέτη, τα ψεύδο-αναφορικά σημεία της καμπύλης του κρανίου καταγράφηκαν σε χιλιοστά (mm), με δύο δεκαδικά ψηφία, ανά 10 mm.



Εικόνα 14: Παραδείγματα ψευδο-αναφορικών σημείων (Πηγή:<http://www2.imm.dtu.dk/~aam/main/node12.html>)

Πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνο κρανία που δεν εμφάνιζαν έντονα παθολογικά συμπτώματα και ήταν άθικτα στις υπό μελέτη περιοχές. Δεδομένου ότι οι κρανιακές περιοχές αναλύονται χωριστά, δεν είναι απαραίτητη η παρουσία όλων των υπό έρευνα περιοχών σε ένα κρανίο, ώστε αυτό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

3.4. Επεξεργασία ψεύδο-αναφορικών σημείων

Μετά τη συλλογή όλων των στοιχείων για κάθε κρανίο, πραγματοποιήθηκε αναδιάταξη των ψευδοαναφορικών σημείων με χρήση του προγράμματος resample.exe (ελεύθερο λογισμικό - σχεδιασμένο από τους David Reddy και Johann Kim, βλ. <http://pages.nycer.org/nmg/programs.html>), προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ενιαίο πρωτόκολλο απεικόνισης της καμπύλης του κρανίου για όλα τα δείγματα. Ο αριθμός των ψευδοαναφορικών σημείων της καμπύλης στην παρούσα διατριβή καθορίστηκε στα τριάντα (30), βάσει του ελάχιστου αριθμού καταγραφών που σημειώθηκε μεταξύ των μελετηθέντων κρανίων.

3.5. Ανάλυση Δεδομένων

3.5.1. Γενικά

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε η τριδιάστατη γεωμετρική μορφομετρική ανάλυση, προκειμένου να διερευνηθεί η σημασία της μεταβλητής του σχήματος στον φυλετικό διμορφισμό. Σύμφωνα με την μέθοδο, το «σχήμα» απομονώνεται από τις υπόλοιπες μεταβλητές, όπως π.χ. το «μέγεθος», η «θέση» ή ο «προσανατολισμός» στον χώρο και ακολουθεί στατιστική ανάλυση για την εξαγωγή συμπερασμάτων (Dryden & Mardia, 1998).

Τα στάδια που ακολουθούνται κατά την εφαρμογή της μεθόδου είναι τα εξής:

- 1) Γενικευμένη Ανάλυση Προκρούστη (Generalized Procrustes Analysis)
- 2) Goodall's F τεστ
- 3) Πολυμεταβλητές Αναλύσεις :
 - i. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis)
 - ii. Διαχωριστική Ανάλυση (Discriminant Function Analysis)
 - iii. Λογαριθμιστική Εξάρτηση ή Λογιστική Παλινδρόμηση (Logistic Regression)

3.5.2. Υπέρθεση Προκρούστη (Procrustes Superimposition) και Γενικευμένη Ανάλυση Προκρούστη (Generalized Procrustes Analysis – GPA)

Η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται, για την εξαγωγή των μεταβλητών του σχήματος ενός δείγματος από ένα σύνολο αρχικών αναφορικών σημείων, είναι η αποκαλούμενη υπέρθεση Προκρούστη. Πρόκειται για μια μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων, βάσει της οποίας δύο όμοια δείγματα υπερτίθενται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο παραμερίζοντας τη θέση, την κλίμακα και τον προσανατολισμό των αρχικών (μη επεξεργασμένων) δεδομένων. Η κλίμακα του κάθε δείγματος αποθηκεύεται ως μια μεταβλητή, η οποία ονομάζεται «Κεντροειδές» (Centroid Size).

Οι συντεταγμένες των αναφορικών σημείων που προκύπτουν από την υπέρθεση Προκρούστη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές σχήματος για περαιτέρω στατιστικές αναλύσεις. Η υπέρθεση Προκρούστη αποτελείται από τρία στάδια (Εικόνα 15), τα οποία βασίζονται σε παρόμοιους μετασχηματισμούς, όπως οι Ευκλείδειοι (Dryden & Mardia, 1998):

1. Μετάθεση των δειγμάτων, έτσι ώστε να μοιράζονται το ίδιο «κέντρο» (centroid – οι συντεταγμένες του μέσου όρου των αναφορικών σημείων μίας μορφής).
2. Ισομορφική Διαβάθμιση των δειγμάτων, ώστε να έχουν όλα το ίδιο «Κεντροειδές». Έχει καθοριστεί με σύμβαση, το «Κεντροειδές» να ισούται με ένα.

Για τον υπολογισμό του «κεντροειδούς» ενός δείγματος, αρχικά υπολογίζεται το τετράγωνο της απόστασης κάθε αναφορικού σημείου του δείγματος από το «κέντρο» του, σύμφωνα με τον τύπο:

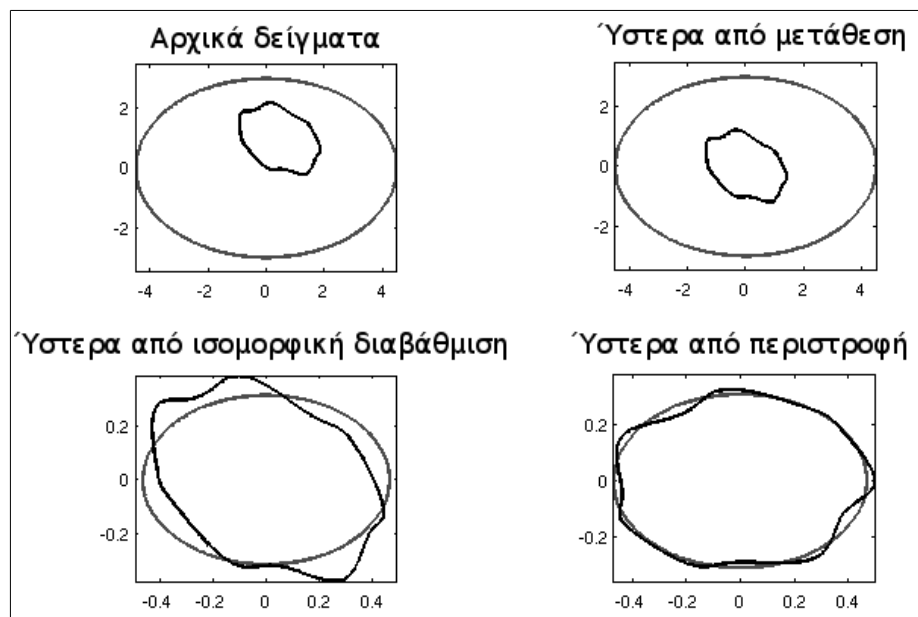
$$(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2$$

Όπου: X_1 , Y_1 και Z_1 οι συντεταγμένες του «κέντρου» και

X_2 , Y_2 και Z_2 οι συντεταγμένες του εκάστοτε αναφορικού σημείου

Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των αποστάσεων όλων των αναφορικών σημείων μιας μορφής από το «κέντρο» της αποτελεί το «κεντροειδές» της μορφής. Έχει αποδειχθεί ότι το «κεντροειδές» σχετίζεται ελάχιστα με το σχήμα της υπό μελέτη δομής για μικρές ισοτροπικές διακυμάνσεις των αναφορικών σημείων της (Zelditch *et al.*, 2004· Bookstein, 1991· Dryden & Mardia, 1998).

3. Ύστερα από τη μετάθεση και την ισομορφική διαβάθμιση, το ένα από τα δύο δείγματα περιστρέφεται μέχρι το άθροισμα των τετραγώνων των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των ομόλογων αναφορικών σημείων των δύο δειγμάτων να ελαχιστοποιηθεί.



Εικόνα 15: Στάδια υπέρθεσης Προκρούστη. Στην εικόνα πάνω αριστερά, παρατηρούμε δύο όμοια δείγματα πριν την υπέρθεση Προκρούστη. Στην εικόνα πάνω δεξιά, τα δύο δείγματα μοιράζονται το ίδιο «κέντρο» (στάδιο μετάθεση). Στην εικόνα κάτω αριστερά, τα δύο δείγματα έχουν το ίδιο «Κεντροειδές» (στάδιο ισομορφικής διαβάθμισης). Στην εικόνα κάτω δεξιά, τα δύο δείγματα έχουν περιστραφεί και το άθροισμα των τετραγώνων των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των ομόλογων αναφορικών σημείων τους έχει ελαχιστοποιηθεί. (Πηγή: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/23972-chebfun-v4/content/chebfun/examples/geom/html/Procrustes.html>)

Όταν εξετάζονται περισσότερα από δύο δείγματα, ο αλγόριθμος της υπέρθεσης Προκρούστη επεκτείνεται και στην περίπτωση αυτή ονομάζεται γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη (GPA) (Gower, 1975· Rohlf & Slice, 1990). Το στάδιο της περιστροφής επιτυγχάνεται με έναν

επαναληπτικό αλγόριθμο. Αρχικά, τα δείγματα ύστερα από την μετάθεση και την ισομορφική διαβάθμιση περιστρέφονται σύμφωνα με ένα απ' αυτά (συνήθως βάσει του πρώτου δείγματος). Στη συνέχεια, υπολογίζεται ο μέσος όρος των συντεταγμένων κάθε αναφορικού σημείου απ' όλα τα δείγματα και κάθε δείγμα περιστρέφεται βάσει των μέσων όρων αυτών. Η προαναφερθείσα διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα των τετραγώνων των Ευκλείδειων αποστάσεων μεταξύ των ομόλογων αναφορικών σημείων του εκάστοτε δείγματος και του μέσου όρου (Dryden & Mardia 1993).

3.5.3. Goodall's F τεστ

Το παραμετρικό Goodall's F-τεστ εφαρμόστηκε για να διαπιστωθεί εάν η διαφορά μεταξύ των μέσων όρων αρσενικών και θηλυκών ατόμων, ως προς το σχήμα του κρανίου, είναι στατιστικά σημαντική. Προκειμένου να γίνει αυτό, το τεστ πραγματοποιεί την γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη, οπότε απομακρύνονται οι παράμετροι που δεν σχετίζονται με το σχήμα του κρανίου, και εν συνεχεία υπολογίζεται το τετράγωνο των αποστάσεων Προκρούστη (Goodall, 1991· Dryden & Mardia, 1998). Η απόσταση Προκρούστη είναι η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος των τετραγώνων των αποστάσεων κάθε αναφορικού σημείου της μορφής A από το αντίστοιχο αναφορικό σημείο της μορφής B και υποδηλώνει την ομοιότητα ή την ανομοιομορφία στο σχήμα μεταξύ δύο μορφών A και B.

Η Goodall's F ανάλυση είναι η αναλογία της διακύμανσης των τετραγώνων των αποστάσεων Προκρούστη μεταξύ των ομάδων (αρσενικών και θηλυκών) προς τη διακύμανση των τετραγώνων των αποστάσεων Προκρούστη εντός των ομάδων. Επειδή δεν μπορούμε να βασιστούμε στην τιμή p-value σύμφωνα με την κατανομή της Goodall's F ανάλυσης (η μέθοδος θεωρεί ότι όλα τα αναφορικά σημεία εμφανίζουν μια ισοτροπική κανονική κατανομή γύρω από το μέσο), εκτελούμε ένα μεταθετικό έλεγχο (τεστ αναδειγματοληψίας), προκειμένου να δεχθούμε ή να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση, βάσει της οποίας η παρατηρούμενη Goodall's F - τιμή οφείλεται σε μια τυχαία κατάτμηση ενός ενιαίου δείγματος σε διάστημα εμπιστοσύνης 5%. Συνεπώς, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται εφόσον το μεταθετικό τεστ δείξει ότι το 95% των τιμών Goodall's F που προκύπτουν από τα μεταθετικά σύνολα είναι ίσο ή μικρότερο από την τιμή Goodall's F που προκύπτει από τα αρχικά σύνολα (Efron & Tibshirani, 1993 p. 436).

Το Goodall's F τεστ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του προγράμματος Simple 3D-IMP (Sheets, 2001, IMP-Simple 3D).

3.5.4. Πολυμεταβλητή Ανάλυση

Η Πολυμεταβλητή Ανάλυση (multivariate analysis) περιλαμβάνει στατιστικές μεθόδους συλλογής, περιγραφής και ανάλυσης δεδομένων, τα οποία προκύπτουν από μετρήσεις πολλών μεταβλητών σε ένα πλήθος ατόμων ή γενικότερα πειραματικών μονάδων. Το σημαντικό στοιχείο της πολυμεταβλητής στατιστικής, που τη διαχωρίζει από τη μονομεταβλητή στατιστική, είναι η αναζήτηση και ανάλυση της εξάρτησης μεταξύ μεταβλητών ή μεταξύ ομάδων μεταβλητών, καθώς και η αναζήτηση «κύριων» μεταβλητών.

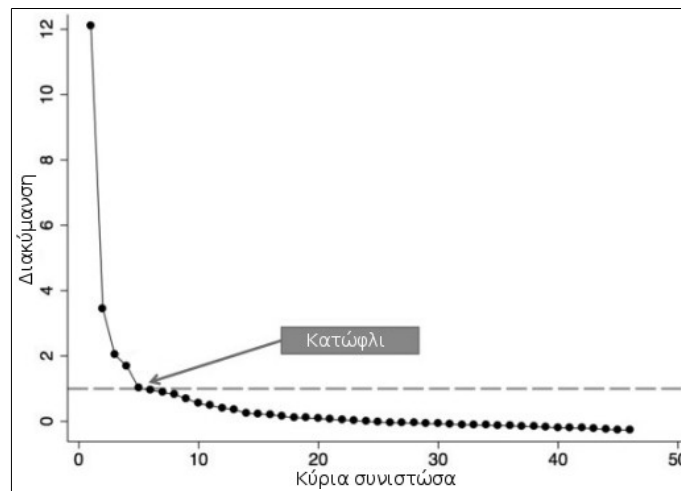
Από την πληθώρα μεθόδων πολυμεταβλητής ανάλυσης, παρατίθενται εν συνεχεία εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη διατριβή.

3.5.4.1. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis – PCA)

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών (Pearson, 1901· Hotelling, 1933) επιτυγχάνει την μείωση του όγκου των δεδομένων, διατηρώντας ταυτόχρονα το σύνολο -σχεδόν- της ολικής μεταβλητότητας των αρχικών μεταβλητών X ($X_1, X_2, \dots, X_p$). Συγκεκριμένα, επιδιώκεται η ανεύρεση λιγότερων μεταβλητών Y ($Y_1, Y_2, \dots, Y_k$, όπου $k < p$), που αποτελούν γραμμικούς συνδυασμούς των X , οι οποίες λέγονται κύριες συνιστώσες, είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και η συνολική τους μεταβλητότητα είναι σχεδόν ίση με αυτή των αρχικών. Με τον τρόπο αυτό, οι κύριες συνιστώσες αντικαθιστούν τις αρχικές μεταβλητές και το αρχικό σύνολο δεδομένων με k μετρήσεις σε καθένα από τα n άτομα.

Η επιλογή του αριθμού των κύριων συνιστωσών μπορεί να γίνει σύμφωνα με πολλά διαφορετικά κριτήρια. Στη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο «scree-plot», που προτάθηκε για πρώτη φορά από τον Cattell (1966) και βασίζεται στην γραφική παράσταση των διακυμάνσεων των κύριων συνιστωσών (ή αλλιώς “διάγραμμα διαλογής”). Το διάγραμμα αυτό, στο οποίο ο άξονας Y αντιστοιχεί στις διακυμάνσεις των κύριων συνιστωσών και ο άξονας X στις αντίστοιχες κύριες συνιστώσες, είναι μία καμπύλη με κλίση που προοδευτικά μειώνεται και τείνει να γίνει ευθεία για μεγάλο αριθμό κυρίων συνιστωσών. Οι κύριες συνιστώσες που επιλέγονται τελικά προς εξέταση είναι αυτές που βρίσκονται πριν από το σημείο απότομης μείωσης της κλίσης της καμπύλης (Jolliffe, 2002). Με άλλα λόγια, επιλέγονται όλες οι κύριες συνιστώσες πριν από το σημείο όπου η καμπύλη σχηματίζει ευρεία «γωνία» (elbow). (Εικόνα 16)

Ανάλυση κύριων συνιστωσών πραγματοποιήθηκε τόσο στον «γεωμετρικό χώρο σχήματος» όσο και στον «γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη».



Εικόνα 16: Κριτήριο «scree-plot». Στον άξονα Y αντιστοιχούν οι διακυμάνσεις των κύριων συνιστωσών και στον άξονα X οι αντίστοιχες κύριες συνιστώσες. Επιλέγονται προς εξέταση όλες οι κύριες συνιστώσες πριν από το σημείο όπου η καμπύλη σχηματίζει ευρεία «γωνία». Παραδείγματος χάριν, σύμφωνα με το συγκεκριμένο διάγραμμα οι πρώτες πέντε κύριες συνιστώσες θα χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση. (Πηγή: http://openi.nlm.nih.gov/detailedresult.php?img=3308111_ar3501-2&req=4)

3.5.4.1.1. «Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος» (Shape space – Kendall's shape space).

Κάθε ψηφιοποιημένο δείγμα χαρακτηρίζεται από p αναφορικά σημεία k διαστάσεων και μπορεί να περιγραφεί ως άνωστρομο με kp στοιχεία. Κατά συνέπεια, στον ανυσματικό χώρο kp διαστάσεων, ο οποίος καλείται «χώρος μορφής», κάθε δείγμα αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο (Goodall, 1991).

Όταν τα δείγματα μετασχηματίζονται σύμφωνα με τη γενικευμένη ανάλυση Προκρούστη, προκύπτει ανυσματικός χώρος $kp-k-kx(k-1)/2-1$ διαστάσεων, ο οποίος καλείται «γεωμετρικός χώρος σχήματος» ή αλλιώς «γεωμετρικός χώρος σχήματος του Kendall» (Kendall, 1981, 1984). Ως αποτέλεσμα, τα δείγματα μπορούν να αναλυθούν ως σημεία ενός πολυδιάστατου χώρου.

Στον «γεωμετρικό χώρο σχήματος», δεδομένου ότι το μέγεθος δεν συμπεριλαμβάνεται στην ανάλυση, η ανάλυση κύριων συνιστωσών καθίσταται πιο ευαίσθητη στον εντοπισμό διαφορών σχήματος (Franklin et al., 2006a).

3.5.4.1.2. «Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη» (Form space)

Ο «γεωμετρικός χώρος μορφής Προκρούστη» (Διεθνές συνέδριο γεωμετρικής μορφομετρίας στη Βιέννη: Bookstein, O'Higgins, Rohlf, Slice, 2006), πρότερα ονομαζόμενος «γεωμετρικός χώρος μεγέθους-σχήματος» (Mitteroecker et al., 2004), αποτελεί την επέκταση του «γεωμετρικού χώρου σχήματος» κατά μία διάσταση, αυτήν του λογάριθμου του «Κεντροειδούς», και διαφέρει από τον «γεωμετρικό χώρο μορφής» (Rohlf, 1999), όπου οι συντεταγμένες των αναφορικών σημείων μεταθέτονται και περιστρέφονται χωρίς να διαβαθμίζονται ισομορφικά.

Στον «γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη», η μεταβλητή της αλλομετρίας του σχήματος καθώς και η μεταβλητή του μεγέθους προβάλλονται σε μια συνιστώσα, συγκεκριμένα στην πρώτη κύρια συνιστώσα – PC1 (Mitteroecker *et al.*, 2004; Schaefer, 2004).

Για τον έλεγχο της εγκυρότητας των αποτελεσμάτων της γενικευμένης ανάλυσης Προκρούστη καθώς και της ανάλυσης των κύριων συνιστωσών, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά υπολογιστικά προγράμματα:

➤ To Morphologika (<http://sites.google.com/site/hymsfme/resources>) (O' Higgins & Jones, 2006) και

➤ To MorphoJ (http://www.flywings.org.uk/morphoj_page.htm) (Klingenberg, 2011).

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των δύο προγραμμάτων ήταν πανομοιότυπα, γεγονός που ενισχύει την εγκυρότητά τους.

3.5.4.2. Διαχωριστική ή Διακριτική Ανάλυση - Λογιστική Παλινδρόμηση ή Λογαριθμιστική Εξάρτηση

Ένας από τους στόχους της παρούσας διατριβής ήταν η κατάταξη των μεταβλητών του κρανίου σε αρσενικά και θηλυκά άτομα. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι, η διαχωριστική (ή διακριτική) ανάλυση (discriminant analysis) και η λογιστική παλινδρόμηση (logistic regression), που περιγράφονται παρακάτω.

3.5.4.2.1. Διαχωριστική ή Διακριτική Ανάλυση (Discriminant Function Analysis – DFA)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, επιλέγονται τυχαία N άτομα (ή αντικείμενα) από όλες τις ομάδες, για καθένα από τα οποία καθορίζονται οι τιμές k διακριτικών «ανεξάρτητων» μεταβλητών (discriminating variables). Οι μεταβλητές αυτές μετρούν εκείνα τα χαρακτηριστικά, ως προς τα οποία αναμένεται να διαφέρουν οι ομάδες. Στη συνέχεια, επιδιώκεται η εύρεση γραμμικών συναρτήσεων των διακριτικών μεταβλητών, έτσι ώστε η διάκριση μεταξύ των ομάδων να μεγιστοποιείται κατά μήκος αυτών (<http://hdl.handle.net/10889/3287#sthash.EH0Dg4PY.dpuf>).

3.5.4.2.2. Λογιστική Παλινδρόμηση ή Λογαριθμιστική Εξάρτηση (Logistic Regression)

Η μέθοδος αυτή υπολογίζει την πιθανότητα με την οποία η εξαρτημένη δυαδική μεταβλητή λαμβάνει μία συγκεκριμένη τιμή. Η πιο κοινή έκφραση της λογιστικής παλινδρόμησης είναι η εξής:

$$\ln(\text{ods}) = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

όπου ο λογάριθμος (ln) των ods περιέχει τις τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής και εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί το γεγονός, ενώ το άλλο σκέλος της εξίσωσης περιλαμβάνει ένα γραμμικό συνδυασμό των ανεξάρτητων μεταβλητών που συμμετέχουν στο μοντέλο παλινδρόμησης (<http://hdl.handle.net/10889/3287#sthash.EH0Dg4PY.dpuf>).

3.5.4.2.3. Ομοιότητες – Διαφορές Λογιστικής Παλινδρόμησης και Διαχωριστικής Ανάλυσης

Τόσο η Διαχωριστική Ανάλυση όσο και η Λογιστική Παλινδρόμηση χρησιμοποιούνται για την κατάταξη δεδομένων σε ομάδες. Μάλιστα, παρέχουν όμοια αποτελέσματα στην περίπτωση που οι ομάδες είναι μόνο δύο.

Ωστόσο, οι μέθοδοι αυτές εμφανίζουν κάποιες διαφορές, βάσει των οποίων επιλέγεται η μία έναντι της άλλης, κατά περίπτωση. Η διαχωριστική ανάλυση είναι υπολογιστικά απλούστερη αλλά θέτει συγκεκριμένες προϋποθέσεις για τις ανεξάρτητες μεταβλητές, όπως να ακολουθούν την κανονική κατανομή, να σχετίζονται γραμμικά ή να έχουν ίσες διασπορές στον κάθε πληθυσμό. Η λογιστική παλινδρόμηση δεν προϋποθέτει τίποτα από τα παραπάνω αλλά απαιτεί αρκετά μεγαλύτερα δείγματα (<http://hdl.handle.net/10889/3287#sthash.EH0Dg4PY.dpuf>). Επιπλέον, η λογιστική παλινδρόμηση δεν παρέχει τη δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού διασταυρωμένης επικύρωσης (cross validation) του πίνακα ταξινόμησης παρατηρήσεων, σε αντίθεση προς τη διαχωριστική ανάλυση (επικύρωση μέσω της μεθόδου Jackknife) (SPSS, Inc., 2009, Chicago, IL, www.spss.com).

Δεδομένων των προαναφερθέντων, μετά την PCA πραγματοποιήθηκε έλεγχος κανονικότητας (Normality Test) των κυρίων συνιστωσών που αντιπροσωπεύουν τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Στην περίπτωση που για κάποια ανεξάρτητη μεταβλητή μιας υπό μελέτη περιοχής δεν ίσχυε η υπόθεση της κανονικότητας, η ανάλυση της συγκεκριμένης περιοχής στηριζόταν μόνο στη λογιστική παλινδρόμηση.

Όπως προαναφέρθηκε, στην περίπτωση εφαρμογής της λογιστικής παλινδρόμησης, δεν παρέχεται η δυνατότητα αυτόματου υπολογισμού διασταυρωμένης επικύρωσης. Κατά συνέπεια και προκειμένου να επιτευχθεί διασταυρωμένη επικύρωση, τόσο το δείγμα των θηλυκών όσο και των αρσενικών ατόμων χωρίζεται σε πέντε ίσα τμήματα. Ακολουθεί λογιστική παλινδρόμηση με τα τέσσερα τμήματα αρρένων και τα τέσσερα τμήματα θηλέων και κατάταξη των εναπομεινάντων δύο τμημάτων με βάση το προκύπτον μοντέλο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται πέντε φορές.

Σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιείται για την κατάταξη διαφορετικό τμήμα αρσενικών και αντίστοιχα θηλυκών ατόμων. Τέλος, από τον μέσο όρο των μη επιτυχών κατατάξεων των πέντε επαναλήψεων υπολογίζεται το ποσοστό λάθους του πίνακα ταξινόμησης παρατηρήσεων. Η διασταυρωμένη επικύρωση που προκύπτει με τον τρόπο αυτό έχει μικρότερη ακρίβεια από την

αντίστοιχη της διαχωριστικής ανάλυσης που γίνεται αυτόματα (<http://www2.ucy.ac.cy/~fokianos/GreekRbook/pca&discriminant.pdf>).

Μέθοδοι κατάταξης των μεταβλητών του κρανίου σε αρσενικά και θηλυκά άτομα διεξήχθησαν για τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος», το «κεντροειδές» και τον «γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη» της κάθε υπό μελέτη περιοχής του με τη χρήση του προγράμματος PASW Statistics 18 (SPSS, Inc., 2009, Chicago, IL, www.spss.com).

3.6. Διαγράμματα

3.6.1. Διάγραμμα Διασποράς

Το διάγραμμα διασποράς (scatter plot ή scattergraph), γνωστό και ως διάγραμμα σημείων, είναι ένα είδος μαθηματικού διαγράμματος που χρησιμοποιεί καρτεσιανές συντεταγμένες για να εμφανίσει τιμές για δύο (2D scatterplot) ή τρεις μεταβλητές (3D scatterplot) για ένα σύνολο δεδομένων. Το διάγραμμα διασποράς μπορεί να αναλυθεί με τόσους τρόπους όσες και οι διαστάσεις του.

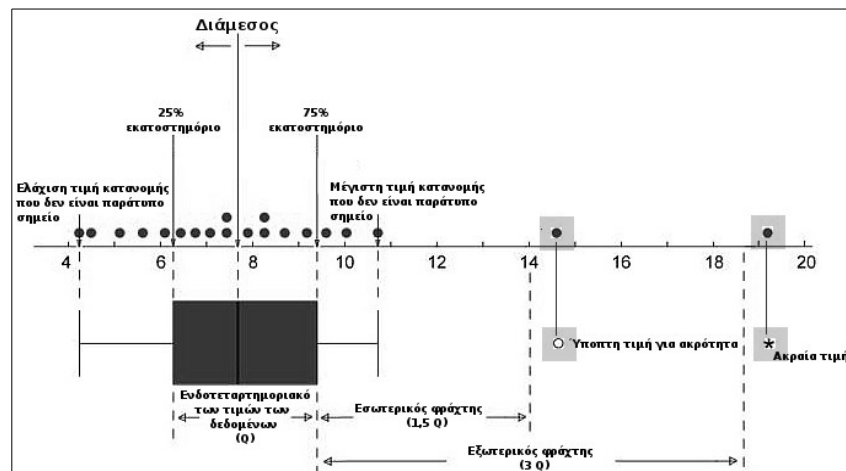
Στην παρούσα διατριβή, για κάθε υπό εξέταση περιοχή του κρανίου δημιουργούνται δύο διδιάστατα διαγράμματα διασποράς. Το πρώτο απεικονίζει τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος» σύμφωνα με τις κύριες συνιστώσες που εμφάνισαν τους μεγαλύτερους δείκτες συσχέτισης στο διαχωρισμό των φύλων. Το δεύτερο απεικονίζει τον «γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη», όπου στον άξονα των χ προβάλλεται η κύρια συνιστώσα ένα (PC1) που αντικατοπτρίζει κυρίως τη μεταβλητή του μεγέθους (Mitteroecker *et al.*, 2004), ενώ στον άξονα των ψ προβάλλεται η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στο μοντέλο φυλετικού διαχωρισμού που αντικατοπτρίζει μεταβλητή σχήματος. Κατά συνέπεια, αναλόγως του βαθμού ομαδοποίησης των αρσενικών και θηλυκών ατόμων κατά τον άξονα χ εκτιμάται και η συμβολή του μεγέθους στον προσδιορισμό του φύλου.

Για τη δημιουργία των διαγραμμάτων διασποράς χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Morphologika.

3.6.2. Διάγραμμα των Πέντε Αριθμών - Θηκόγραμμα

Το θηκόγραμμα προσδιορίζει με άμεσο τρόπο την ύπαρξη τιμών οι οποίες είναι ακραίες ή ύποπτες για ακρότητα (Εικόνα 17).

Οι τιμές που θεωρούνται ύποπτες για ακρότητα εξετάζονται με προσοχή, ενώ οι τιμές που κρίνονται ως ακραίες απομακρύνονται από τα δεδομένα και η στατιστική ανάλυση επαναλαμβάνεται χωρίς αυτές (<http://statistics.scientist.gr/24.pdf>).



Εικόνα 17: Το θηκογράμμα ενός συνόλου δεδομένων αποτελείται από ένα ορθογώνιο κουτί, του οποίου το πλάτος αντιπροσωπεύει το ενδοτεταρτημοριακό εύρος των τιμών των δεδομένων μας (Q). Στο σημείο της διαμέσου σημειώνεται μια κάθετος. Το διάστημα $\pm 1.5 Q$ από τις πλαϊνές πλευρές του κουτιού ονομάζεται εσωτερικός φράχτης, ενώ το διάστημα $\pm 3 Q$ ονομάζεται εξωτερικός φράχτης. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εσωτερικό φράχτη, συμβολίζονται με έναν μικρό κύκλο (ο), θεωρούνται ύποπτες για ακρότητα και εξετάζονται με προσοχή. Οι τιμές που βρίσκονται έξω από τον εξωτερικό φράχτη, συμβολίζονται με έναν αστερίσκο (*), κρίνονται ως ακραίες ή παράτυπες τιμές και θα πρέπει η στατιστική ανάλυση να επαναλαμβάνεται οπωσδήποτε και χωρίς αυτές. (Πηγή: <http://web.pdx.edu/~stipakb/download/PA551/boxplot.html>)

Στην παρούσα διατριβή δημιουργήθηκαν θηκογράμματα με τη χρήση του προγράμματος PASW Statistics 18 (SPSS, Inc., 2009, Chicago, IL, www.spss.com), προκειμένου να ελεγχθεί η καταλληλότητα του δείγματος για τα μοντέλα διαχωριστικής ανάλυσης και λογιστικής παλινδρόμησης τόσο για τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος» όσο και για τον «γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη» της κάθε υπό εξέταση περιοχής του κρανίου. Δεν εντοπίστηκαν ακραίες τιμές στο σύνολο της ανάλυσης.

3.7. Γραφήματα

Η σύγκριση μεταξύ των αναφορικών σημείων ή των περιγραμμάτων δύο μορφών είναι εφικτή μέσω της απεικόνισής τους σε ένα κοινό γράφημα (Klingenberg, 2011).

Στην παρούσα διατριβή, για την απεικόνιση χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί τύποι γραφημάτων, προκειμένου να εντοπιστούν, αλλά και να επιβεβαιωθούν, οι διαφορές στο σχήμα μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων: το μοντέλο περιγράμματος (Klingenberg, 2011), το μοντέλο «lollipop» (Klingenberg, 2011) και το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού. Για την σύγκριση αρρένων και θηλέων, στα δύο πρώτα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν οι μέσοι όροι των δύο μορφών, ενώ στο καρτεσιανό πλέγμα επιλέχθηκαν δύο μορφές, η μορφή αναφοράς και η μορφή στόχος, βάσει του διαγράμματος διασποράς και της διαμέσου της εκάστοτε κατανομής (Pellegrini, 2009).

3.7.1. Μοντέλο Περιγράμματος και Μοντέλο «lollipop»

Σύμφωνα με το μοντέλο περιγράμματος, αναφορικά σημεία της εκάστοτε μορφής επιλεγμένα από τον αναλυτή συνδέονται μεταξύ τους με ευθείες γραμμές, προκειμένου να σχηματίσουν το περίγραμμά της και στη συνέχεια γίνεται αντιστοίχιση των περιγραμμάτων των δύο μορφών (αρσενικών και θηλυκών ατόμων) σε ένα κοινό γράφημα (Klingenberg, 2011).

Σύμφωνα με το μοντέλο «lollipop», απεικονίζονται οι μετατοπίσεις των αναφορικών σημείων με ευθείες γραμμές. Η αρχή κάθε γραμμής είναι η θέση του αναφορικού σημείου του σχήματος της πρώτης μορφής και συμβολίζεται με έναν μικρό κύκλο (ο). Το μήκος και η κατεύθυνση της ευθείας γραμμής υποδεικνύει τη θέση του αντίστοιχου αναφορικού σημείου του σχήματος της δεύτερης μορφής (Klingenberg, 2011).

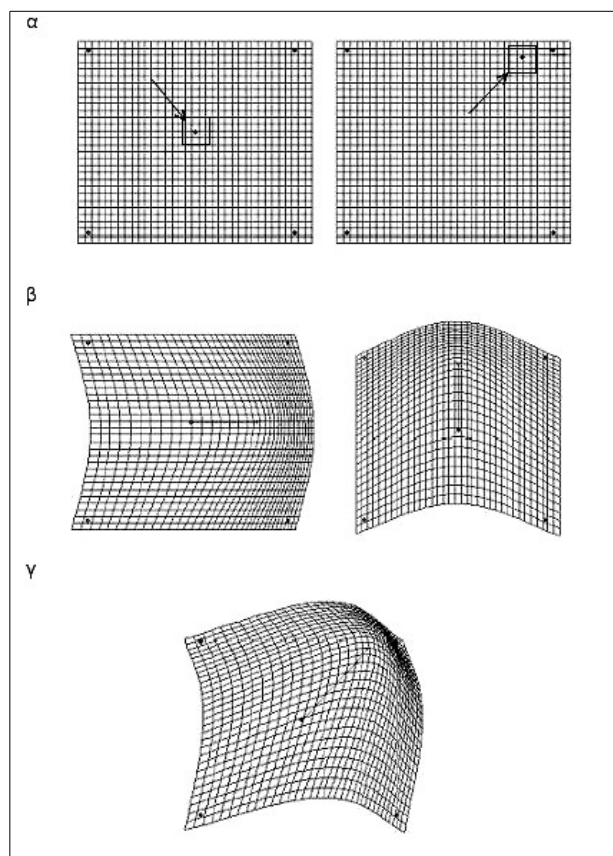
3.7.2. Καρτεσιανό Πλέγμα Μετασχηματισμού

Για τον σχεδιασμό του καρτεσιανού πλέγματος μετασχηματισμού χρησιμοποιήθηκε η μαθηματική συνάρτηση «thin plate spline – TPS» (Bookstein, 1989· Marcus *et al.*, 1996· Dryden & Mardia, 1998). Θα μπορούσε κανείς να προσομοιώσει τη συγκεκριμένη μέθοδο αν εφάρμοζε σε μία επιφάνεια ένα μεγάλο, λεπτό, μεταλλικό φύλλο.

Τα πλέγματα που προκύπτουν από την TPS συνάρτηση, απεικονίζουν το πώς παραμορφώνεται ο χώρος της μορφής αναφοράς προκειμένου να πάρει τη μορφή στόχου. Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτυγχάνει την πλήρη ταύτιση των σημείων της μορφής αναφοράς (t_a) με τα σημεία της μορφής στόχου (t_s), καθώς και την ομαλή ταύτιση των αντίστοιχων αναφορικών σημείων των δύο μορφών που βρίσκονται στα διαστήματα μεταξύ των σημείων t . Ταυτόχρονα, εξασφαλίζει ότι ο μετασχηματισμός θα συμπεριλαμβάνει όσον το δυνατόν λιγότερες κάμψεις επιφανειών (Εικόνα 18). Λόγω των προαναφερθέντων, θεωρείται ως ο βέλτιστος τρόπος απεικόνισης μιας τέτοιου είδους αναδιάταξης (Thompson, 1917).

Στην συγκεκριμένη έρευνα, για κάθε περιοχή του κρανίου κατασκευάστηκαν γραφήματα μόνο για τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος» και σύμφωνα με την κύρια συνιστώσα που εμφάνιζε το μεγαλύτερο δείκτη συσχέτισης για το διαχωρισμό των φύλων.

Τα μοντέλα περιγράμματος καθώς και τα μοντέλα «lollipop» δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα MorphoJ, ενώ τα καρτεσιανά πλέγματα μετασχηματισμού με το πρόγραμμα Morphologika.



Εικόνα 18: Στάδια κατασκευής καρτεσιανού πλέγματος μετασχηματισμού: α) Δύο δομές που διαφέρουν όσον αφορά τη θέση ενός μόνο αναφορικού σημείου. β) Οι μετασχηματισμοί υπολογίζονται χωριστά για τις x και y διαστάσεις. γ) Οι μετασχηματισμοί συνδυάζονται. (Slice, 2008) (Πηγή: Pellegrini, 2009)

3.8. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας (Intra - Inter Observer Error)

Μέσω του ελέγχου επαναληψιμότητας προκύπτει η διασπορά των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται από διαδοχικούς ελέγχους στο ίδιο δείγμα και εκτελούνται υπό τις ίδιες συνθήκες, δηλαδή ίδια μέθοδος ελέγχου, ίδιος αναλυτής, ίδια συσκευή, ίδιο εργαστήριο και βραχύ χρονικό διάστημα ανάμεσα στις μετρήσεις (<http://www.chem.uoa.gr/courses/chemometrics/chemometrics.htm>).

Στην παρούσα διατριβή, προκειμένου να ελεγχθεί η επαναληψιμότητα -βάσει της οποίας εκτιμάται η αξιοπιστία- της μεθοδολογίας συλλογής δεδομένων (intraobserver error), συλλέχθηκαν δεδομένα τέσσερις φορές διαδοχικά από τέσσερα κρανία. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με διαφορά δύο ημερών μεταξύ τους.

Μέσω του ελέγχου αναπαραγωγιμότητας προκύπτει η διασπορά μεταξύ των αποτελεσμάτων που λαμβάνονται με την ίδια μέθοδο στο ίδιο δείγμα αλλά εκτελούνται υπό διαφορετικές συνθήκες, δηλαδή διαφορετικοί αναλυτές παίρνουν τις μετρήσεις σε διαφορετικούς χρόνους (<http://www.chem.uoa.gr/courses/chemometrics/chemometrics.htm>).

Στην παρούσα έρευνα, προκειμένου να ελεγχθεί η αναπαραγωγιμότητα στη συλλογή δεδομένων (inter observer error), ένας δεύτερος αναλυτής κατέγραψε τα δεδομένα από τα τέσσερα κρανία που χρησιμοποιήθηκαν και στον έλεγχο επαναληψιμότητας.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για τον έλεγχο επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας των αναφορικών σημείων διαφέρει από την αντίστοιχη των ψευδοαναφορικών.

Στην περίπτωση των αναφορικών σημείων, η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε (Cramon–Taubadel *et al.*, 2007) αποτελεί μία προέκταση του πρωτοκόλλου των Corner *et al.* (1992) και Valeri *et al.* (1998), σύμφωνα με την οποία τα αναφορικά σημεία του δείγματος ψηφιοποιούνται διαδοχικά χωρίς μετακίνηση του δείγματος.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου, χρησιμοποιήθηκαν τρία αναφορικά σημεία από το δείγμα (σημεία αναφοράς), προκειμένου να επιτευχθεί μερική αντιστοίχιση μεταξύ των επαναλαμβανόμενων δειγματοληψιών, ενώ στη συνέχεια υπολογίστηκε το σφάλμα για κάθε αναφορικό σημείο. Ως σημεία αναφοράς επιλέχθηκαν τα ανατομικά αναφορικά σημεία *Basion*, αριστερό *Sphenion* και δεξιό *Sphenion*, τα οποία πληρούν τις προϋποθέσεις των Cramon–Taubadel *et al.* (2007), δηλαδή παρουσιάζουν μικρές εσωτερικές διακυμάνσεις τόσο κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας όσο και κατά τον έλεγχο αναπαραγωγιμότητας, καλύπτουν την μεγαλύτερη έκταση της υπό μελέτη μορφής και δεν είναι συγγραμμικά.

Στην περίπτωση των ψευδοαναφορικών σημείων, δεδομένου ότι δεν πληρούνται οι προαναφερθείσες προϋποθέσεις των σημείων αναφοράς, ακολουθήθηκε διαφορετική προσέγγιση κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας. Σε ένα πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε αντιστοίχιση μεταξύ των μορφών μέσω της γενικευμένης ανάλυσης Προκρούστη και σε δεύτερο στάδιο έγινε ο έλεγχος επαναληψιμότητας-αναπαραγωγιμότητας μέσω των διαγραμμάτων διασποράς (O’Higgins & Jones, 1998· Lockwood *et al.*, 2002· Viðarsdottir *et al.*, 2002).

4. Αποτελέσματα

4.1. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας (Intra - Inter Observer Error)

Για τον έλεγχο της επαναληψιμότητας και της αναπαραγωγιμότητας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα κρανία, δύο θηλυκά (WLH-33 και ABH-96) και δύο αρσενικά (WLH-8 και ABH-211). Τα δεδομένα για τα συγκεκριμένα κρανία συλλέχθηκαν τέσσερις φορές, διαδοχικά, από τον ίδιο παρατηρητή, ενώ οι συλλογές των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν με διαφορά δύο ημερών μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, ένας δεύτερος παρατηρητής συνέλεξε όλα τα δεδομένα και των τεσσάρων κρανίων.

4.1.1. Αναφορικά Σημεία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου επαναληψιμότητας, οι τυπικές αποκλίσεις των αναφορικών σημείων κυμαίνονται από 0,641 έως 0,221 mm. Αντίστοιχα, οι τυπικές αποκλίσεις των αναφορικών σημείων βάσει του ελέγχου αναπαραγωγιμότητας κυμαίνονται από 1,783 έως 0,195 mm (Πίνακες 1 και 2). Ο μέσος όρος της τυπικής απόκλισης κατά τον έλεγχο της επαναληψιμότητας είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο κατά τον έλεγχο της αναπαραγωγιμότητας.

Πίνακας 1: Τυπική απόκλιση (mm) για τα τρία σημεία αναφοράς κατά την ψηφιοποίηση 4 κρανίων από δύο παρατηρητές, εκ' των οποίων ο ένας πραγματοποίησε τέσσερις διαδοχικές ψηφιοποιήσεις

	Bregma (35)	Sphenion Αριστερό (43a)	Sphenion Δεξιό (43b)	Μέσο Σφάλμα
Επαναληψιμότητα	0.275	0.147	0.149	0.2
Αναπαραγωγιμότητα	0.3	0.406	0.401	0.372

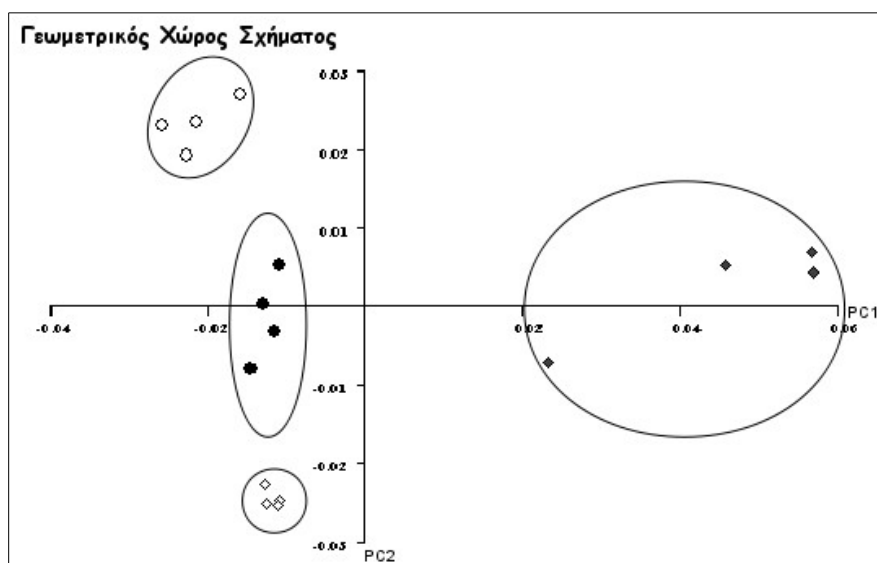
Πίνακας 2: Τυπική απόκλιση (mm) για τα 77 αναφορικά σημεία κατά την ψηφιοποίηση των 4 κρανίων από τους δύο παρατηρητές, εκ' των οποίων ο ένας πραγματοποίησε τις τέσσερις διαδοχικές ψηφιοποιήσεις

Αναφορικό Σημείο	Επαναληψιμότητα	Αναπαραγωγιμότητα	Αναφορικό Σημείο	Επαναληψιμότητα	Αναπαραγωγιμότητα
01	0.522	1.532	24a	0.452	0.719
02	0.438	1.544	24b	0.343	0.820
03a	0.444	1.260	25a	0.428	0.526
03b	0.411	0.690	25b	0.408	0.679
04a	0.504	1.541	26a	0.469	1.108
04b	0.468	1.054	26b	0.489	0.639
05a	0.467	1.601	27a	0.351	0.595
05b	0.478	1.273	27b	0.343	0.503
06a	0.458	1.253	28a	0.419	0.561
06b	0.424	0.803	28b	0.335	0.471
07a	0.480	1.035	29a	0.440	0.485
07b	0.426	0.740	29b	0.371	1.068
08a	0.544	1.237	30a	0.508	0.823
08b	0.431	0.548	30b	0.596	1.130
09a	0.390	1.000	31a	0.450	0.976
09b	0.390	0.887	31b	0.392	0.453
10a	0.420	1.020	32a	0.576	1.190
10b	0.425	0.339	32b	0.487	0.863
11	0.416	1.046	33	0.623	1.467
12a	0.248	0.773	34a	0.506	0.632
12b	0.338	0.982	34b	0.439	1.269
13a	0.442	0.813	36	0.390	0.879
13b	0.641	0.739	37	0.430	1.268
14a	0.528	1.556	38a	0.419	0.608
14b	0.455	0.825	38b	0.400	0.454
15a	0.477	0.653	39a	0.358	0.961
15b	0.397	0.870	39b	0.343	0.218
16	0.482	1.387	40a	0.432	0.851
17	0.466	0.797	40b	0.394	0.553
18	0.554	0.778	41a	0.234	0.808
19	0.433	1.655	41b	0.246	0.414
20	0.486	1.783	42a	0.221	0.195
21a	0.266	0.207	42b	0.251	0.531
21b	0.242	0.341	44a	0.330	0.299
22a	0.381	1.449	44b	0.275	1.007
22b	0.360	0.691	45a	0.411	0.920
23a	0.428	0.820	45b	0.315	0.209
23b	0.332	0.538	46a	0.395	0.811
			46b	0.403	0.277

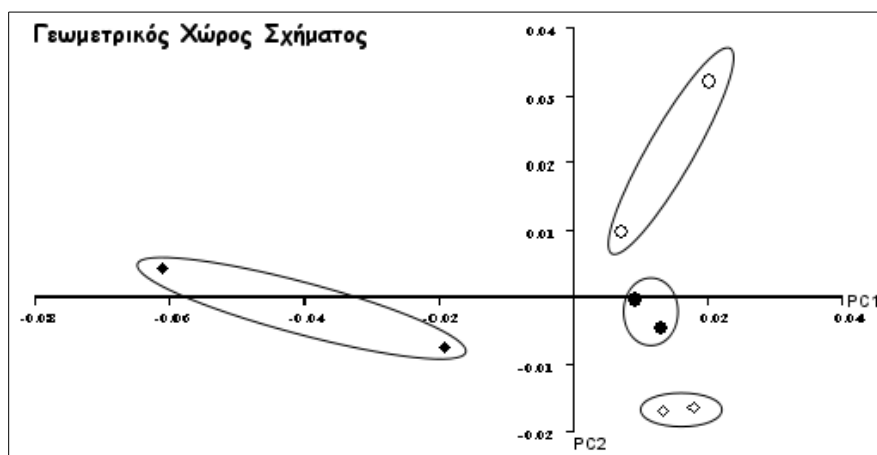
4.1.2. Ψεύδο-αναφορικά Σημεία

Σχετικά με την καμπύλη του κρανίου, δεδομένου ότι δεν εντοπίζονται σημεία αναφοράς, ο έλεγχος επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας πραγματοποιήθηκε ύστερα από την αντιστοίχιση μεταξύ των μορφών, μέσω της γενικευμένης ανάλυσης Προκρούστη (GPA).

Στις εικόνες 19 και 20 παρατηρούμε τη διασπορά που εμφανίζουν τα τέσσερα δείγματα κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας και κατά τον έλεγχο αναπαραγωγιμότητας αντίστοιχα, όπου στον άξονα x είναι οι τιμές της PC1 και στον άξονα y οι τιμές της PC2. Ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε για τα PC1 έως PC10.



Εικόνα 19: Έλεγχος επαναληψιμότητας της καμπύλης του κρανίου: Διάγραμμα διασποράς, το οποίο απεικονίζει τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος». Στον άξονα x είναι οι τιμές της PC1 ενώ στον άξονα y οι τιμές της PC2. Οι μαύροι και άσπροι ρόμβοι καθώς και οι μαύρες και άσπρες κουκίδες αντιπροσωπεύουν τις τέσσερις διαδοχικές επαναλήψεις συλλογής δεδομένων στα τέσσερα κρανία (WLH-33, ABH-96, WLH-8 και ABH-211 αντίστοιχα) από έναν παρατηρητή, ύστερα από την αντιστοίχιση μεταξύ τους μέσω της γενικευμένης ανάλυσης Προκρούστη



Εικόνα 20: Έλεγχος αναπαραγωγιμότητας της καμπύλης του κρανίου: Διάγραμμα διασποράς, το οποίο απεικονίζει τον «γεωμετρικό χώρο σχήματος». Στον άξονα x είναι οι τιμές της PC1 ενώ στον άξονα y οι τιμές της PC2. Οι μαύροι και άσπροι ρόμβοι καθώς και οι μαύρες και άσπρες κουκίδες αντιπροσωπεύουν τη συλλογή δεδομένων των τεσσάρων κρανίων (WLH-33, ABH-96, WLH-8 και ABH-211 αντίστοιχα) από δύο παρατηρητές, ύστερα από την αντιστοίχιση μεταξύ τους μέσω της γενικευμένης ανάλυσης Προκρούστη

4.2. Κρανίο Συνολικά

Σε ότι αφορά στο σχήμα του κρανίου υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για τη στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν 80 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα και Εικόνες στις σελίδες viii-xi) σε δείγμα 97 ατόμων (54 αρσενικά, 43 θηλυκά) και εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,02105$, $p\text{-value} < 1 \times 10^{-16}$). Τα αποτελέσματα του Goodall's F τεστ στο κρανίο συνολικά επιβεβαιώθηκαν και με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 2,4617$, 95% του $F_{TEO} = 1,4746$).

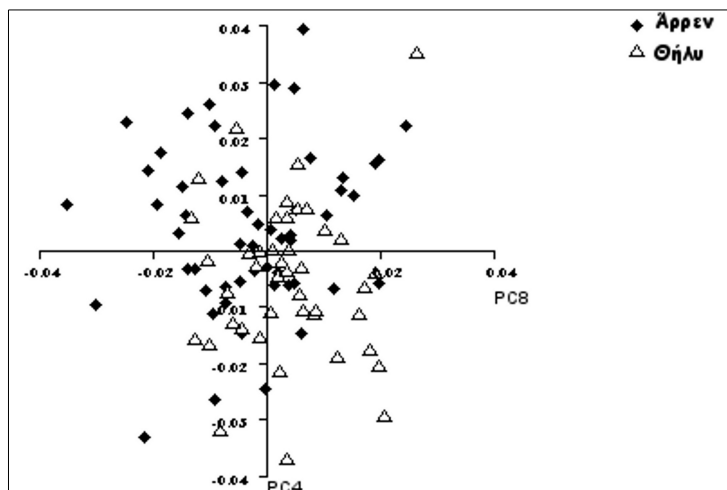
4.2.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Το σχήμα του κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 78,4% (Πίνακας 3). Πιο συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 83,3% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 72,1%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει σχήματος στηρίχθηκε στις 8 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 47,55% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας, όπου διαπιστώθηκε ότι για την κύρια συνιστώσα έξι (PC6) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} = 0,008$), με αποτέλεσμα να εφαρμοσθεί η λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι κατά σειρά η PC4 και η PC8, όπως απεικονίζεται στο διάγραμμα της εικόνας 21. Στο εν λόγω διάγραμμα φαίνεται η διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες. Στην PC4 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *supramastoid crest*, *entomion* και *mastoidale*, ενώ στην PC8 η διακύμανση των σημείων *coronale*, *crotaphion*, *sphenion* και *entomion* (βλέπε Πίνακες I και II στο Παράρτημα).

Εικόνα 21: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος του κρανίου συνολικά. Η κύρια συνιστώσα 4 (PC4) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. $N = 97$, 80 αναφορικά σημεία. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο



4.2.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Τα αρσενικά άτομα έχουν πιο εύρωστο κρανίο από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 539,4 έως 641,4, ενώ για τα θηλυκά από 516,8 έως 606,8.

Το μέγεθος του κρανίου εμφανίζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 82,5% (Πίνακας 3). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 85,2% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 79,1%.

Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου εξήχθησαν τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001), όπου ως κεντροειδές ορίζεται η κλίμακα του κάθε δείγματος, (δηλαδή το μέγεθος), το οποίο σχετίζεται ελάχιστα με το σχήμα της υπό μελέτη δομής, εν προκειμένω με το σχήμα του κρανίου στο σύνολό του (βλέπε Γενικευμένη Ανάλυση Προκρούστη).

Πίνακας 3: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής του κρανίου συνολικά

Κρανίο Συνολικά		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	45/54	83,3	31/43	72,1	78,4
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					10,7
Κεντροειδές^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	46/54	85,2	34/43	79,1	82,5
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	46/54	85,2	33/43	76,7	81,4
Μεταβλητές Μορφής^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	47/54	87	38/43	88,4	87,6
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					12,5

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

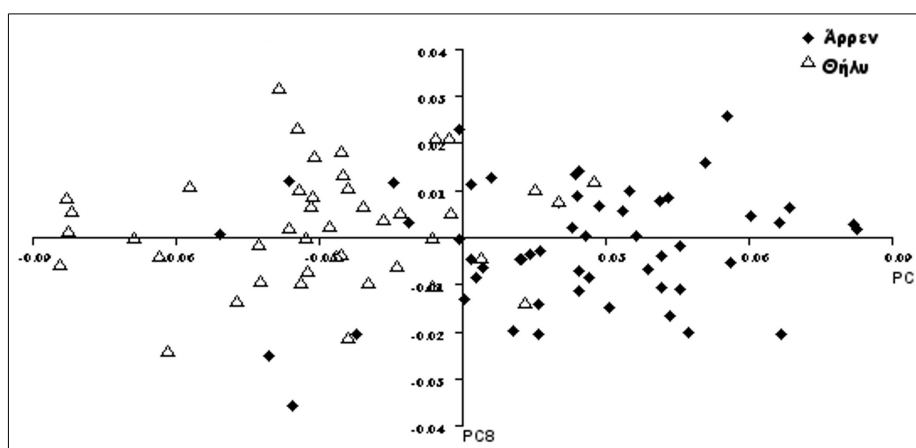
4.2.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Στον “Γεωμετρικό Χώρο Μορφής Προκρούστη” περιλαμβάνονται μεταβλητές τόσο του σχήματος όσο και του μεγέθους. Η μεταβλητή του μεγέθους εμφανίζεται στην κύρια συνιστώσα ένα (PC1) (Mitteroecker *et al.*, 2004) και απεικονίζεται στον άξονα των χ , ενώ οι μεταβλητές του σχήματος προβάλλονται στις υπόλοιπες κύριες συνιστώσες και η συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στο μοντέλο φυλετικού διαχωρισμού απεικονίζεται στον άξονα των ψ . Κατά συνέπεια, αναλόγως του βαθμού ομαδοποίησης των αρσενικών και θηλυκών ατόμων κατά τον άξονα των χ εκτιμάται και η συμβολή του μεγέθους στον προσδιορισμό του φύλου (βλέπε Εικόνα 22). Από το εν λόγω διάγραμμα διαπιστώνουμε ότι το μέγεθος του κρανίου παίζει σημαντικό ρόλο στον φυλετικό διμορφισμό.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη», η μορφή του κρανίου παρουσιάζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 87,6% (Πίνακας 3). Πιο συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 87% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 88,4%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 8 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 58,71% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας, όπου διαπιστώθηκε ότι για την κύρια συνιστώσα έξι (PC6) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} = 0,007$), ως εκ τούτου εφαρμόστηκε η λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC8 (Εικόνα 22). Στην PC8 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *opisthocranion*, *supramastoid crest*, *zygotemporale superior* και *coronale* (βλέπε Πίνακες III και IV στο Παράρτημα).



Εικόνα 22: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη του κρανίου συνολικά. Η κύρια συνιστώσα 8 (PC8) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ η μεταβλητή του μεγέθους προβάλλεται στην κύρια συνιστώσα 1 (PC1). $N = 97$, 80 αναφορικά σημεία. Παρατηρείται σαφής ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

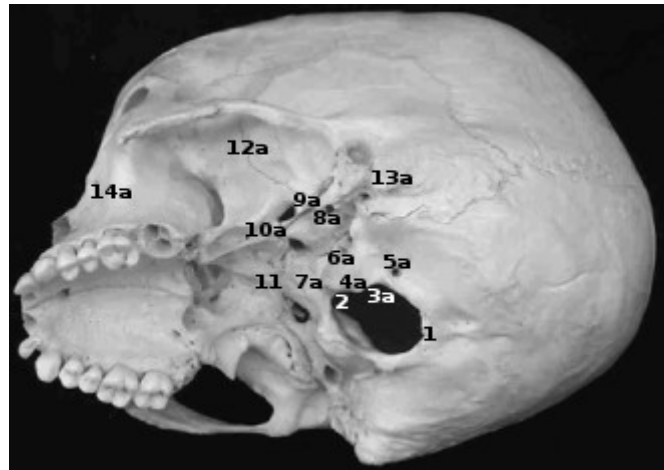
4.3. Βάση Κρανίου

Σε ότι αφορά το σχήμα της βάσης του κρανίου διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν 25 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 4 και Εικόνα 23) σε δείγμα 167 ατόμων (89 αρσενικά, 78 θηλυκά), όπου και εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,02830$, $p\text{-value} < 1 \times 10^{-16}$), ενώ τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαιώθηκαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 4,7263$, 95% του $F_{TEO} = 1,6610$).

Πίνακας 4: Αναφορικά σημεία της περιοχής της βάσης του κρανίου

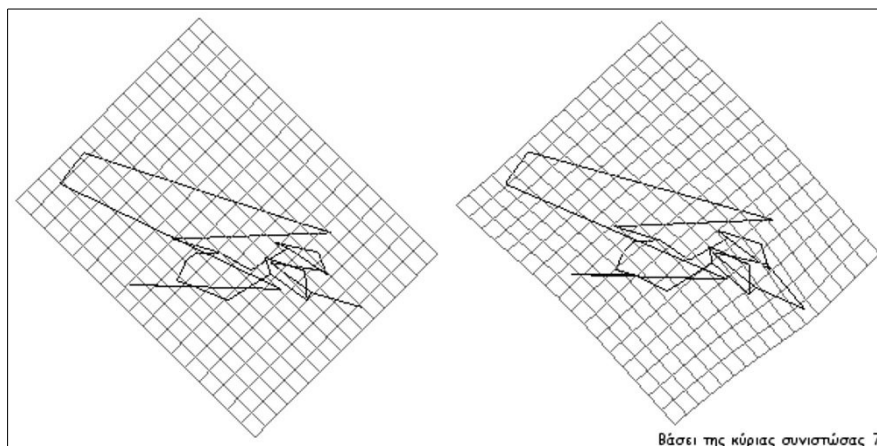
	Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
1	<i>opisthion</i>	<i>o</i>
2	<i>basion</i>	<i>ba</i>
3 (α,β)	<i>foraminolaterale</i>	<i>fol</i>
4 (α,β)	<i>occipitocondylion mediale</i>	<i>meco</i>
5 (α,β)	<i>occipitocondylion posterior</i>	<i>poco</i>
6 (α,β)	<i>occipitocondylion laterale</i>	<i>laco</i>
7 (α,β)	<i>occipitocondylion anterior</i>	<i>antco</i>
8 (α,β)	<i>caroticum mediale</i>	<i>cam</i>
9 (α,β)	<i>spinale</i>	<i>spi</i>
10 (α,β)	<i>ovale mediale</i>	<i>ovm</i>
11	<i>hormion</i>	<i>ho</i>
12 (α,β)	<i>infratemporale</i>	<i>it</i>
13 (α,β)	<i>mastoidale</i>	<i>ms</i>
14 (α,β)	<i>infraorbitale</i>	<i>io</i>



Εικόνα 23: Αναφορικά σημεία της περιοχής της βάσης του κρανίου

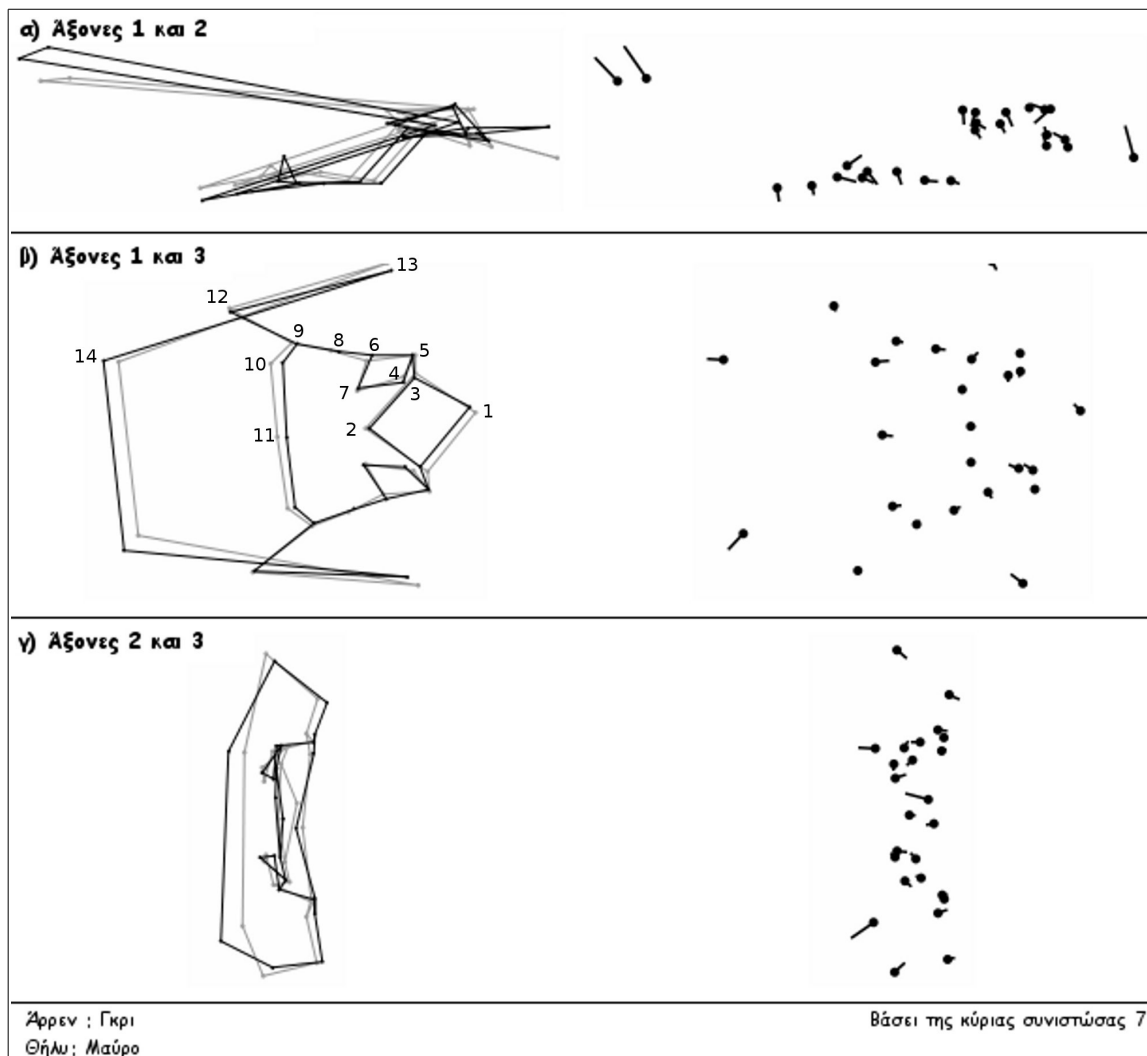
Όπως διαπιστώνουμε από τις εικόνες 24 και 25, η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία: *infraorbitale*, *infratemporale* και *ovale mediale* (14α,12α,10α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 14β,12β,10β δεξιά πλευρά), είναι πιο αμβλεία στα θηλυκά άτομα απ' ό τι στα αρσενικά. Αντίθετα, η γωνία που σχηματίζουν τα αναφορικά σημεία: αριστερό *foraminolaterale*, *opisthion* και δεξί *foraminolaterale* (3α,1,3β), είναι πιο οξεία (θήλεα).

Δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων, σχετικά με την γωνία που οριοθετούν τα σημεία: αριστερό *foraminolaterale*, *basion* και δεξί *foraminolaterale* (3α,2,3β). Η απόσταση μεταξύ των σημείων *spinale* (9α,β) και *ovale mediale* (10α,β) είναι μεγαλύτερη στους άρρενες. Συγχρόνως, οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων *infraorbitale* (14α,β) και *infratemporale* (12α,β) καθώς και αριστερού – δεξιού *infraorbitale* (14α,β) είναι μεγαλύτερες στα θηλυκά άτομα. Επιπλέον, οι ινιακοί κόνδυλοι είναι πιο επιμήκεις στους άρρενες.



Εικόνα 24: Καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού: Απεικονίζει το πώς παραμορφώνεται ο χώρος της δομής αναφοράς (θηλυκό ή αρσενικό άτομο), εν προκειμένω της βάσης του κρανίου, προκειμένου να πάρει τη μορφή στόχου (αρσενικό ή θηλυκό άτομο αντίστοιχα).

(Συνέχεια εικόνας 24): Η συγκεκριμένη μέθοδος επιτυγχάνει την πλήρη ταύτιση των σημείων της μορφής αναφοράς (ta) με τα σημεία της μορφής στόχου (ts), καθώς και την ομαλή ταύτιση των αντίστοιχων αναφορικών σημείων των δύο μορφών που βρίσκονται στα διαστήματα μεταξύ των σημείων t. Καρτεσιανά πλέγματα μετασχηματισμού δημιουργούνται βάσει της κύριας συνιστώσας με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. Για την περιοχή της βάσης του κρανίου η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC7 και η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το θηλυκό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το αρσενικό



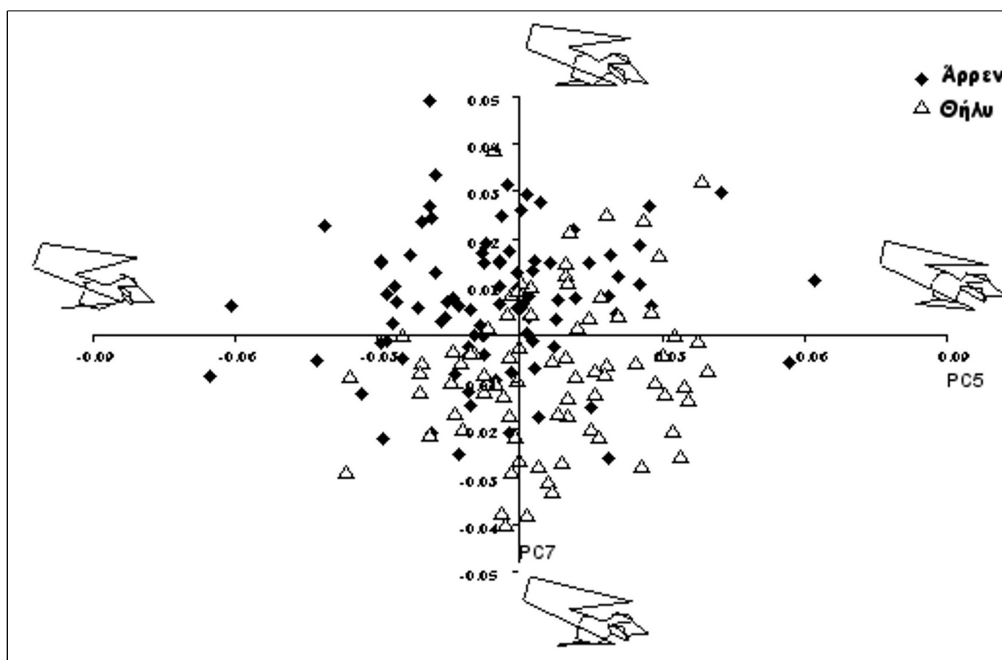
Εικόνα 25: Αριστερά: Μοντέλο περιγράμματος: Αναφορικά σημεία της εκάστοτε δομής, στη συγκεκριμένη περίπτωση της βάσης του κρανίου, επιλεγμένα από τον αναλυτή και τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ευθείες γραμμές, προκειμένου να σχηματίσουν το περίγραμμά αυτής. Εν συνεχεία, γίνεται αντιστοίχιση των περιγραμμάτων των δύο δομών (αρσενικών και θηλυκών ατόμων) σε ένα κοινό γράφημα. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο μέσος όρος του σχήματος της βάσης του κρανίου των αρσενικών ατόμων και με μαύρο ο μέσος όρος των θηλυκών ατόμων. Δεξιά: Μοντέλο «lollipop»: Η αρχή κάθε γραμμής είναι η θέση του αναφορικού σημείου του σχήματος της δομής, εν προκειμένω της βάσης του κρανίου, των αρσενικών ή θηλυκών ατόμων και συμβολίζεται με έναν μικρό κύκλο (ο). Το μήκος και η κατεύθυνση της ευθείας γραμμής υποδεικνύει τη θέση του αντίστοιχου αναφορικού σημείου του σχήματος της ίδιας δομής (βάση κρανίου) των θηλυκών ή αρσενικών ατόμων αντίστοιχα. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος της βάσης του κρανίου των αρσενικών ατόμων, ενώ με τις ευθείες γραμμές υποδηλώνεται η κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των θηλυκών ατόμων σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των αρρένων. Μοντέλα περιγράμματος καθώς και μοντέλα «lollipop» δημιουργούνται βάσει της κύριας συνιστώσας με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου μεταξύ των αξόνων α) 1 και 2, β) 1 και 3, γ) 2 και 3 του τριδιάστατου χώρου. Για την περιοχή της βάσης του κρανίου η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC7

4.3.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Το σχήμα της βάσης του κρανίου, διαπιστώθηκε ότι προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 79% (Πίνακας 5). Πιο συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 83,1% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 74,4%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει σχήματος στηρίχθηκε στις 15 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 73,35% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος και προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας, όπου διαπιστώσαμε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις οχτώ κύριες συνιστώσες, με αποτέλεσμα να εφαρμόσουμε διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,0001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι κατά σειρά η PC7 και η PC5, όπως φαίνεται από το διάγραμμα της εικόνας 26. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε τη διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις δύο αυτές κύριες συνιστώσες. Στην PC7 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *infraorbitale*, *opisthion* και *mastoidale*, ενώ στην PC5 η διακύμανση των σημείων *occipitocondylion posterior*, *mastoidale* και *infratemporale* (βλέπε Πίνακα V στο Παράρτημα).



Εικόνα 26: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος της βάσης του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 7 (PC7) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. $N=167$, 25 αναφορικά σημεία. Οι πλευρικές όψεις της βάσης του κρανίου παρουσιάζουν τις αλλαγές που συμβαίνουν στο σχήμα της βάσης και προβάλλονται από την PC5 και PC7 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.3.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Τα αρσενικά άτομα έχουν πιο εύρωστη βάση κρανίου από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 180,1 έως 221,9, ενώ για τα θηλυκά από 171,3 έως 208,1.

Το μέγεθος της βάσης του κρανίου εμφανίζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 82% (Πίνακας 5). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 78,7% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 85,9%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου εξήχθησαν τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001).

Πίνακας 5: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής για την περιοχή της βάσης του κρανίου

Βάση Κρανίου		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος ^{a, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	74/89	83,1	58/78	74,4	79
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	73/89	82	56/78	71,8	77,2
Κεντροειδές ^c	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	70/89	78,7	67/78	85,9	82
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	70/89	78,7	67/78	85,9	82
Μεταβλητές Μορφής ^{b, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	84/89	94,4	68/78	87,2	91
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	84/89	94,4	67/78	85,9	90,4

a: PC 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 12 and 13

b: PC 1, 2, 3, 5, 8 and 9

c: Διαχωριστική Ανάλυση

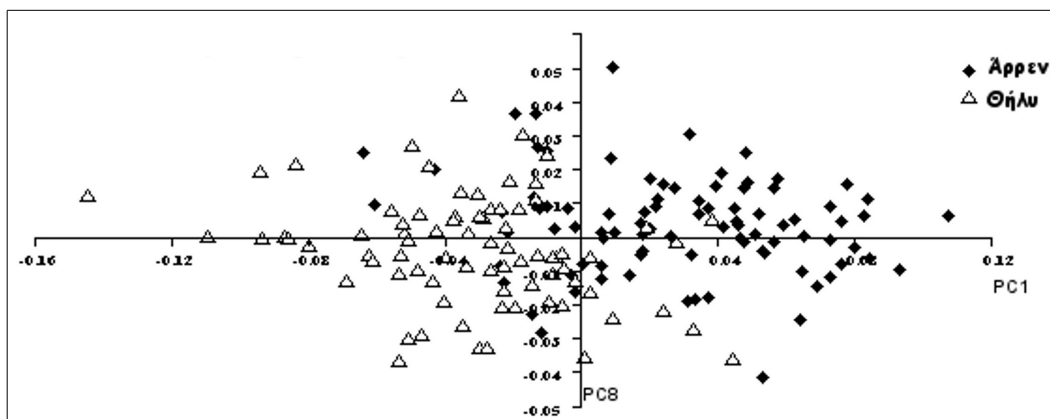
4.3.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος της βάσης του κρανίου παίζει σημαντικό ρόλο στον φυλετικό διμορφισμό όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα της εικόνας 27.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή του κρανίου παρουσιάζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου σε ποσοστό 91% (Πίνακας 5). Πιο συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 94,4%, ενώ σε θηλυκά άτομα το ποσοστό αυτό αγγίζει το 87,2%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 10 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 68,7% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας, όπου εφόσον διαπιστώθηκε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις δέκα κύριες συνιστώσες, εφαρμόστηκε διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου (p -value < 0,0001).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC8 (Εικόνα 27). Στην PC8 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *infraorbitale*, *ovale mediale*, *opisthion* και *mastoidale* (βλέπε Πίνακα VI στο Παράρτημα).



Εικόνα 27: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη της βάσης του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 8 (PC8) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ η μεταβλητή του μεγέθους αναπαρίσταται από τη κύρια συνιστώσα 1 (PC1). N= 167, 25 αναφορικά σημεία. Παρατηρούμε σαφή ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

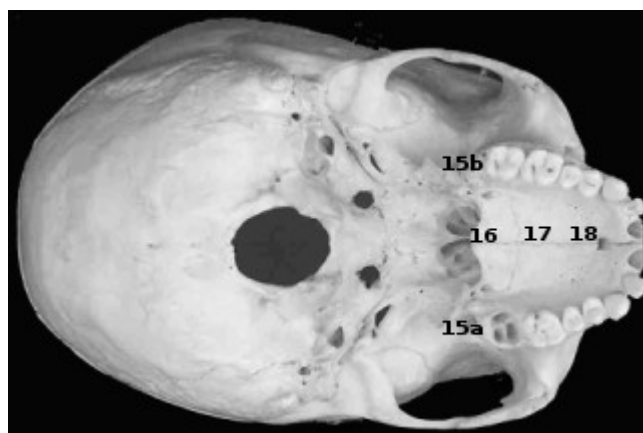
4.4. Υπερώα

Σχετικά με το σχήμα της υπερώας διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήσαμε 5 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 6 και Εικόνα 28) σε δείγμα 103 ατόμων (58 αρσενικά, 45 θηλυκά), όπου εφαρμόσαμε το Goodall's F τεστ ($d = 0,04645$, $p\text{-value} = 1,45 \times 10^{-6}$) και στη συνέχεια επιβεβαιώσαμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 5,3487$, 95% του $F_{TEO} = 2,2513$).

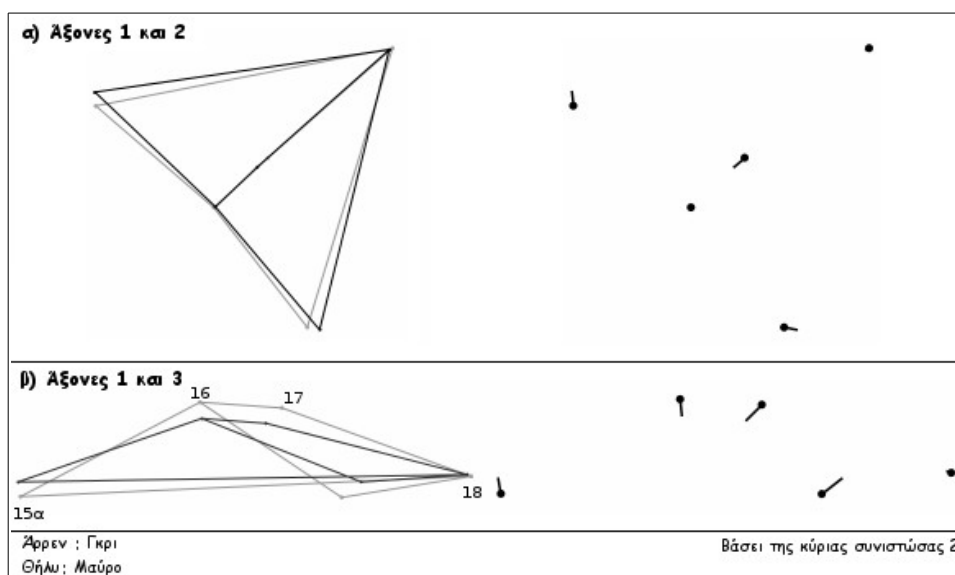
Πίνακας 6: Αναφορικά σημεία της υπερώας

Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
15 (α,β) <i>postalverion</i>	<i>poa</i>
16 <i>staphylion</i>	<i>sta</i>
17 <i>staurion</i>	<i>sr</i>
18 <i>foramen incisivum</i>	<i>inc</i>

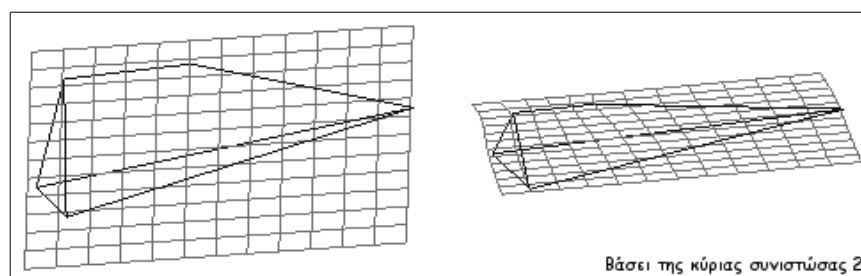


Εικόνα 28: Αναφορικά σημεία της υπερώας

Οι διαφορές στο σχήμα μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων οφείλονται κυρίως στα αναφορικά σημεία *postalverion*, *staphylion* και *staurion* (15a,b, 16 και 17), όπως παρατηρούμε στις εικόνες 29 και 30. Πιο συγκεκριμένα, η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία: αριστερό *postalverion*, *staphylion* και δεξί *postalverion* (15a,16,15b) είναι πιο οξεία στους άντρες. Ταυτόχρονα, το ύψος του συγκεκριμένου τριγώνου (15a,16,15b) είναι μεγαλύτερο στα αρσενικά άτομα. Η απόσταση μεταξύ των αναφορικών σημείων *staphylion* και *staurion* (16,17) είναι μικρότερη στα θηλυκά, ενώ αυτή μεταξύ των *staurion* και *foramen incisivum* (17,18) είναι μεγαλύτερη. Επιπλέον, η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία: αριστερό *postalverion*, *foramen incisivum* και δεξί *postalverion* (15a,18,15b) είναι πιο αμβλεία στα θηλυκά άτομα και το ύψος του ίδιου τριγώνου είναι πιο μικρό στα θηλυκά απ' ό τι στα αρσενικά άτομα.



Εικόνα 29: Αριστερά: Μοντέλα περιγράμματος της υπερώας σύμφωνα με την κύρια συνιστώσα 2 μεταξύ των αξόνων α) 1 και 2, β) 1 και 3. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο μέσος όρος του σχήματος των αρσενικών ατόμων και με μαύρο των θηλυκών ατόμων. Δεξιά: Τα αντίστοιχα μοντέλα «lollipop» των μοντέλων περιγράμματος. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των αρσενικών ατόμων, ενώ με τις ευθείες γραμμές υποδηλώνεται η κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των θηλυκών ατόμων σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των αρρένων



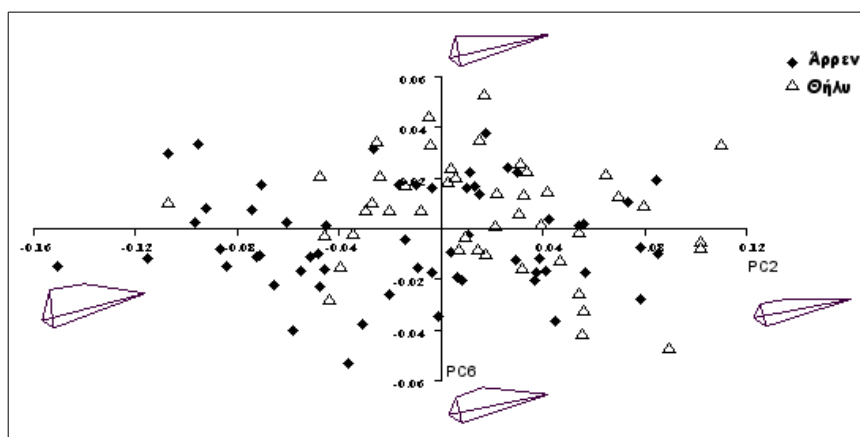
Εικόνα 30: Το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού απεικονίζει τις αλλαγές στο σχήμα της υπερώας που αναπαριστώνται από την PC2. Η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το αρσενικό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το θηλυκό

4.4.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Το σχήμα της υπερώας διαπιστώθηκε ότι προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 68,9% (Πίνακας 7). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 72,4% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 64,4%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει σχήματος στηρίχθηκε στις 7 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 99,2% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος. Οι κύριες αυτές μη-μηδενικές συνιστώσες προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Στη συνέχεια, ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας όπου διαπιστώθηκε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας για τις εν λόγω συνιστώσες, με αποτέλεσμα να εφαρμοστεί διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} = 0,0001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι κατά σειρά η PC2 και η PC6, όπως φαίνεται από το διάγραμμα της εικόνας 31. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε τη διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες. Στην PC2 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *postalverion* και *staurion*, ενώ στην PC6 η διακύμανση των σημείων *staurion* και *staphylion* (βλέπε Πίνακα VII στο Παράρτημα).



Εικόνα 31: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος της υπερώας. Η κύρια συνιστώσα 2 (PC2) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. $N = 103$, 5 αναφορικά σημεία. Οι πλευρικές όψεις της υπερώας παρουσιάζουν τις αλλαγές που προκύπτουν στο σχήμα του και αναπαριστώνται από την PC2 και PC6 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.4.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Σε γενικές γραμμές, τα αρσενικά άτομα έχουν πιο μεγάλη υπερώα από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 39,1 έως 58,3, ενώ για τα θηλυκά από 38,6 έως 53,8.

Το μέγεθος της υπερώας προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια που φτάνει το 63,1% (Πίνακας 7). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 72,4% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 51,1%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου εξήχθησαν τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου ($p\text{-value} < 0,0001$).

Πίνακας 7: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής για την περιοχή της υπερώας

Υπερώα		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος ^{a, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	42/58	72,4	29/45	64,4	68,9
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	42/58	72,4	29/45	64,4	68,9
Κεντροειδές ^c	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	42/58	72,4	23/45	51,1	63,1
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	42/58	72,4	23/45	51,1	63,1
Μεταβλητές Μορφής ^{b, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	47/58	81	32/45	71,1	76,7
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	46/58	79,3	31/45	68,9	74,8

a: PC 1, 2 and 6

b: PC 1, 2 and 7

c: Διαχωριστική Ανάλυση

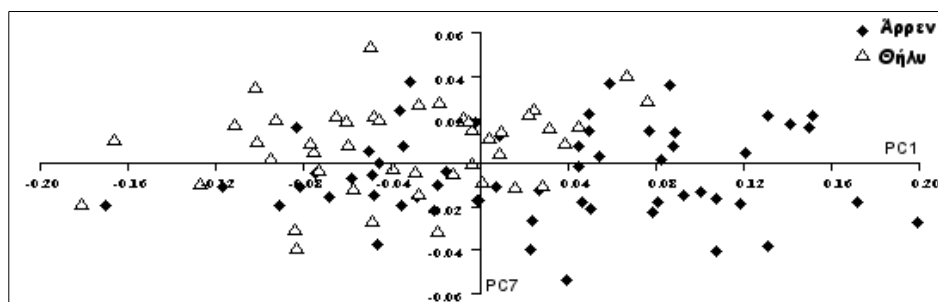
4.4.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος της υπερώας δεν φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στον φυλετικό διμορφισμό όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα της εικόνας 32.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή της υπερώας παρουσιάζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου σε ποσοστό 76,7% (Πίνακας 7). Όσον αφορά την κατάταξη σε αρσενικά άτομα το ποσοστό επιτυχίας αγγίζει το 81%, ενώ σε θηλυκά άτομα το ποσοστό αυτό διαμορφώνεται σε 71,1%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 8 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 99,43% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος και προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη καθώς και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Αφού πραγματοποιήσαμε τον έλεγχο για την κανονικότητα και διαπιστώσαμε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις οκτώ κύριες συνιστώσες, στη συνέχεια εφαρμόσαμε διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,0001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC7 (Εικόνα 32). Στην PC7 παρουσιάζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *staurion* και *staphylion* (βλέπε Πίνακα VII στο Παράρτημα).



Εικόνα 32: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη της υπερώας. Η κύρια συνιστώσα 7 (PC7) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ στη κύρια συνιστώσα 1 (PC1) προβάλλεται η μεταβλητή του μεγέθους. N= 103, 5 αναφορικά σημεία. Δεν παρατηρείται σαφής ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

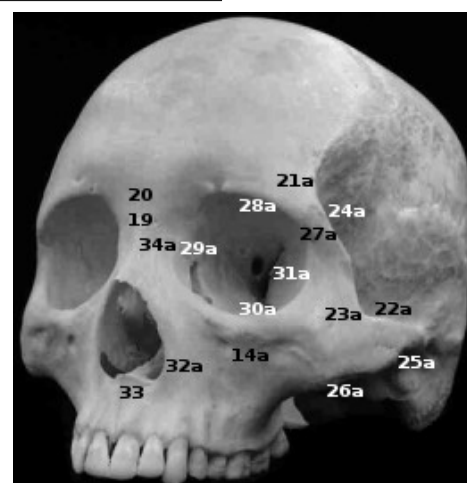
4.5. Προσωπικό Κρανίο

Σε ότι αφορά στο σχήμα του προσωπικού κρανίου βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν 31 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 8 και Εικόνα 33) σε δείγμα 166 ατόμων (89 αρσενικά, 77 θηλυκά) και εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,01928$, $p\text{-value} < 1 \times 10^{-16}$), ενώ τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαιώθηκαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 4,1410$, 95% του $F_{TEO} = 1,5792$).

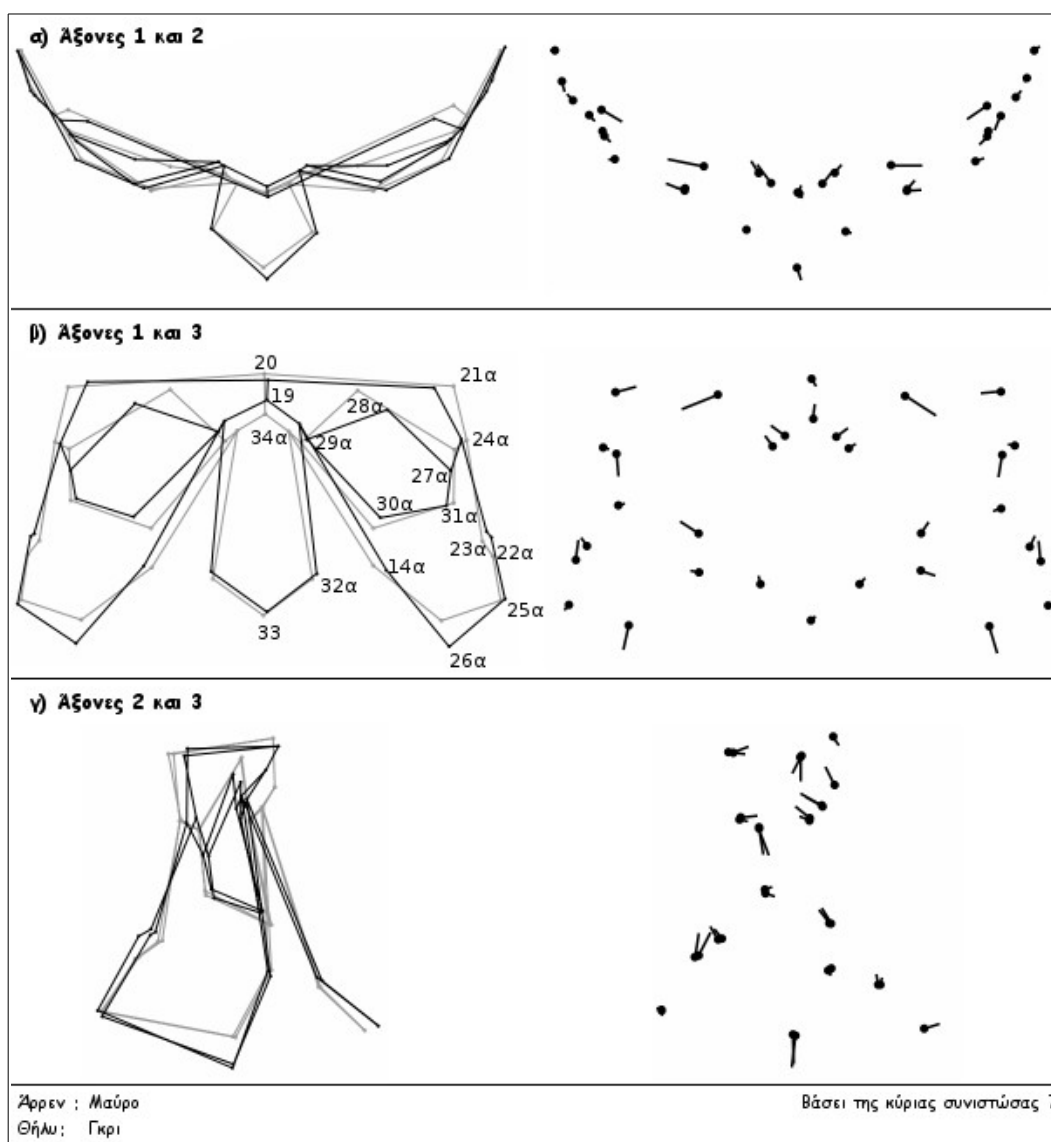
Πίνακας 8: Αναφορικά σημεία της περιοχής του προσωπικού κρανίου

Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση	Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
14 (α,β) <i>infraorbitale</i>	<i>io</i>	27 (α,β) <i>frontomolare orbitale</i>	<i>fmo</i>
19 <i>nasion</i>	<i>n</i>	28 (α,β) <i>supraconchion</i>	<i>spa</i>
20 <i>glabella</i>	<i>g</i>	29 (α,β) <i>maxillofrontale</i>	<i>mf</i>
21 (α,β) <i>frontotemporale</i>	<i>ft</i>	30 (α,β) <i>subconchion</i>	<i>sbk</i>
22 (α,β) <i>zygotemporale superior</i>	<i>zts</i>	31 (α,β) <i>ectoconchion</i>	<i>ec</i>
23 (α,β) <i>jugale</i>	<i>ju</i>	32 (α,β) <i>apertion</i>	<i>apt</i>
24 (α,β) <i>frontomolare temporale</i>	<i>fnt</i>	33 <i>nasospinale</i>	<i>ns</i>
25 (α,β) <i>zygotemporale inferior</i>	<i>zti</i>	34 (α,β) <i>maxillonasofrontale</i>	<i>mnf</i>
26 (α,β) <i>zygomaxillare</i>	<i>zm</i>		



Εικόνα 33: Αναφορικά σημεία της περιοχής του προσωπικού κρανίου

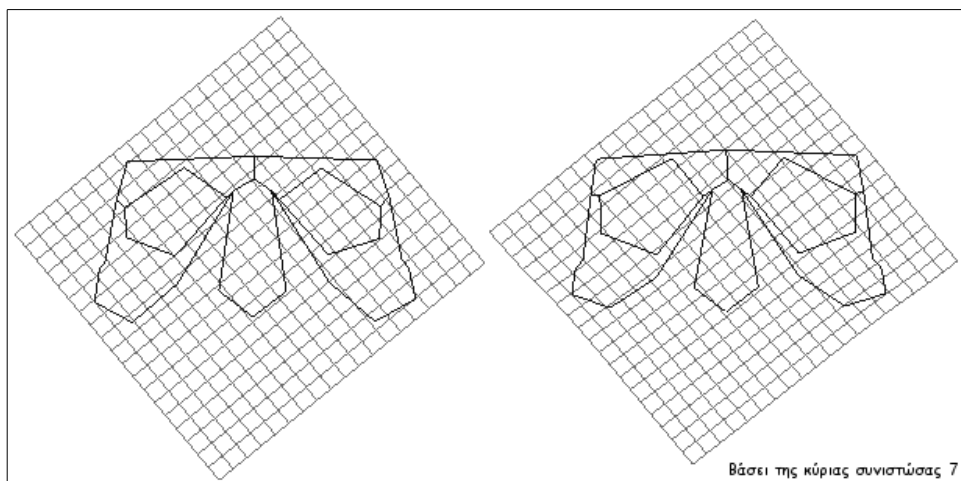
Όπως διαπιστώνουμε και από τις εικόνες 34 και 35, στην περιοχή του μετώπου, η απόσταση μεταξύ του δεξιού και αριστερού *frontotemporale* (21α,β) είναι μικρότερη στα αρσενικά άτομα. Αντίθετα, η απόσταση των *frontomale temporale* και *frontomale orbitale* (24α-27α και 24β-27β αντίστοιχα) είναι μεγαλύτερη. Η απόσταση μεταξύ του δεξιού και αριστερού *frontomale temporale* (24α,β) παραμένει σχετικά αμετάβλητη μεταξύ των δύο φύλων. Τέλος, οι γωνίες: *glabella*, *frontotemporale*, *frontomale temporale* (20,21α,24α και 20,21β,24β αντίστοιχα) και *frontomale orbitale*, *frontomale temporale*, *frontotemporale* (27α,24α,21α και 27β,24β,21β αντίστοιχα) είναι πιο οξείες στα θηλυκά άτομα.



Εικόνα 34: Αριστερά: Μοντέλα περιγράμματος του προσωπικού κρανίου σύμφωνα με την κύρια συνιστώσα 7 μεταξύ των αξόνων α) 1 και 2, β) 1 και 3, γ) 2 και 3. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο μέσος όρος του σχήματος των θηλυκών ατόμων και με μαύρο των αρσενικών ατόμων. Δεξιά: Τα αντίστοιχα μοντέλα «lollipop» των μοντέλων περιγράμματος. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των θηλυκών ατόμων, ενώ με τις ευθείες γραμμές υποδηλώνεται η κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των αρσενικών ατόμων σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των θηλυκών

Διαφορές εντοπίζονται και στη ρινική περιοχή. Συγκεκριμένα, η απόσταση μεταξύ των *nasion* και *glabella* (19-20) είναι πιο μικρή στα αρσενικά άτομα απ' ό τι στα θηλυκά. Αντιθέτως, οι αποστάσεις μεταξύ αριστερού (34α) και δεξιού (34β) *maxillonasofrontale* καθώς και μεταξύ *nasion* και *nasospinale* (19-33) είναι μεγαλύτερες στους άρρενες. Δεν παρατηρείται διαφορά μεταξύ των δύο φύλων στην απόσταση μεταξύ αριστερού (32α) και δεξιού (32β) *apertion*. Η γωνία: *nasion*, *maxillonasofrontale*, *apertion* (19,34α,32α και 19,34β,32β αντίστοιχα) είναι πιο αμβλεία στα θηλυκά άτομα σε αντίθεση με τη γωνία: *maxillonasofrontale*, *apertion*, *nasospinale* (34α,32α,33 και 34β,32β,33 αντίστοιχα) που είναι πιο οξεία. Όσον αφορά στις γωνίες: αριστερό *maxillonasofrontale*, *nasion*, δεξιό *maxillonasofrontale* (34α,19,34β) και αριστερό *apertion*, *nasospinale*, δεξιό *apertion* (32α,33,32β), αυτές δεν εμφανίζουν διαφορές στα δύο φύλα.

Στην περιοχή των ζυγωματικών οστών, οι αποστάσεις μεταξύ των *zygotemporale superior* και *zygotemporale inferior* (22α-25α και 22β-25β αντίστοιχα), *zygotemporale inferior* και *zygomaxillare* (25α-26α και 25β-26β αντίστοιχα) καθώς και *zygomaxillare* και *frontomalare temporale* (26α-24α και 26β-24β αντίστοιχα) είναι μεγαλύτερες στα αρσενικά άτομα απ' ό τι στα θηλυκά. Αντίθετα, η απόσταση μεταξύ των *jugale* και *zygotemporale superior* (23α-22α και 23β-22β αντίστοιχα) είναι μικρότερη. Επιπλέον, η γωνία: *zygotemporale superior*, *zygotemporale inferior*, *zygomaxillare* (22α,25α,26α και 22β,25β,26β αντίστοιχα) είναι πιο αμβλεία στους άρρενες συγκριτικά με τα θήλεα, ενώ η γωνία: *zygotemporale inferior*, *zygomaxillare*, *infraorbitale* (25α,26α,14α και 25β,26β,14β αντίστοιχα) είναι πιο οξεία. Τέλος, η γωνία: *frontomalare temporale*, *jugale*, *zygotemporale superior* (24α,23α,22α και 24β,23β,22β αντίστοιχα) δεν εμφανίζει ιδιαίτερες διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.



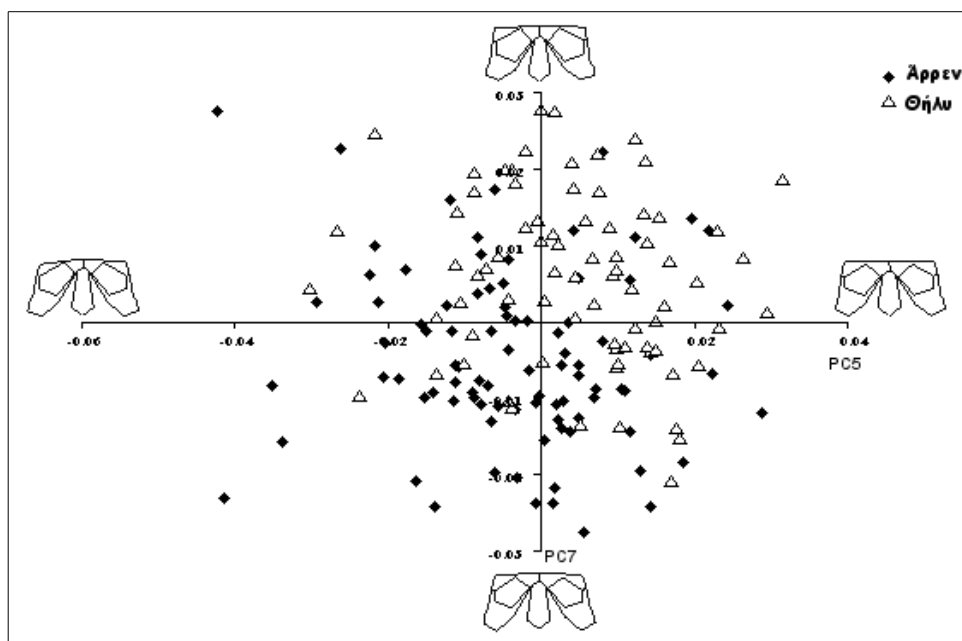
Εικόνα 35: Το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού απεικονίζει τις αλλαγές στο σχήμα του προσωπικού κρανίου που εκπροσωπούνται από την PC7. Η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το αρσενικό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το θηλυκό

4.5.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, διαπιστώθηκε ότι το σχήμα του προσωπικού κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 83,1% (Πίνακας 9). Ειδικότερα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 84,3% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 81,8%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου με βάση το σχήμα στηρίχθηκε στις 15 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες που περιγράφουν το 72,14% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας κατά τον οποίο διαπιστώθηκε ότι για την κύρια συνιστώσα τέσσερα (PC4) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} = 0,018$). Ως εκ τούτου εφαρμόστηκε η λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι κύριες συνιστώσες που συνεισφέρουν περισσότερο στον διαχωρισμό του φύλου είναι κατά σειρά η PC7 και η PC5, όπως φαίνεται από το διάγραμμα της εικόνας 36. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε τη διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες,. Στην PC7 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *supraconchion*, *zygomaxillare*, *subconchion* και *frontomale orbitale*, ενώ στην PC5 η διακύμανση των σημείων *zygotemporale superior*, *frontotemporale* και *supraconchion* (βλέπε Πίνακα VIII στο Παράρτημα).



Εικόνα 36: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος του προσωπικού κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 7 (PC7) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. N= 166, 31 αναφορικά σημεία. Από τις πρόσθιες όψεις του προσωπικού κρανίου φαίνονται οι αλλαγές στο σχήμα του, οι οποίες αναπαριστώνται από την PC5 και PC7 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.5.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Τα αρσενικά άτομα έχουν πιο εύρωστο προσωπικό κρανίο από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 234,9 έως 290,95, ενώ για τα θηλυκά από 220,8 έως 277,8.

Το μέγεθος του προσωπικού κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια που αγγίζει το 83,1% (Πίνακας 9). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 84,3% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 81,8%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου εξήχθησαν τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001).

Πίνακας 9: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής για την περιοχή του προσωπικού κρανίου

Προσωπικό Κρανίο		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος ^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	75/89	84,3	63/77	81,8	83,1
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					14
Κεντροειδές ^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	71/89	79,8	56/77	72,7	76,5
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	71/89	79,8	56/77	72,7	76,5
Μεταβλητές Μορφής ^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	79/89	88,8	65/77	84,4	86,7
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					18,4

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

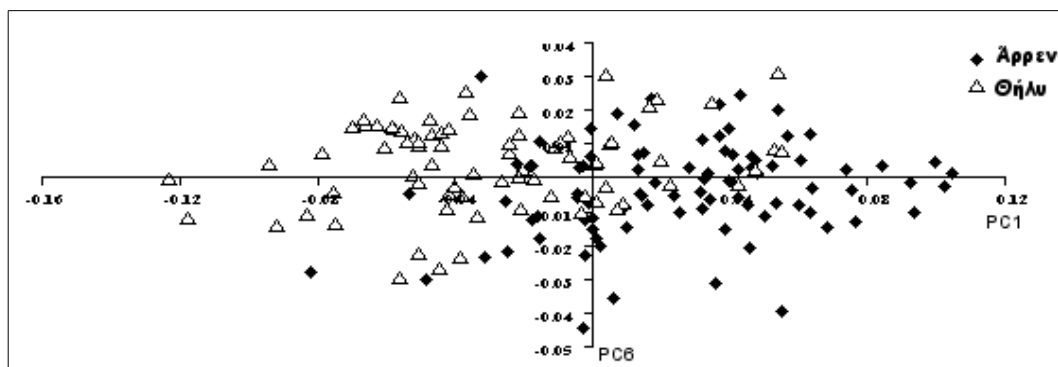
4.5.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος του προσωπικού κρανίου συμβάλλει σημαντικά στον φυλετικό διμορφισμό, όπως διαπιστώνεται από το διάγραμμα της εικόνας 37.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή του προσωπικού κρανίου παρουσιάζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 86,7% (Πίνακας 9). Ειδικότερα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 88,8% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 84,4%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου που βασίστηκε στη μορφή στηρίχθηκε στις 10 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 73,17% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος. Οι συνιστώσες αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη, καθώς και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας όπου εφόσον διαπιστώθηκε ότι για τις κύριες συνιστώσες τέσσερα (PC4) και πέντε (PC5) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας (p -value = 0,015 και p -value = 0,013 αντίστοιχα), εφαρμόστηκε η λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου (p -value < 0,001).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC6 (Εικόνα 37). Στην PC6 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *zygotemporale superior*, *supraconchion* και *frontotemporale* (βλέπε Πίνακα IX στο Παράρτημα).



Εικόνα 37: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη του προσωπικού κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 6 (PC6) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ η μεταβλητή του μεγέθους προβάλλεται στην κύρια συνιστώσα 1 (PC1). N= 166, 31 αναφορικά σημεία. Παρατηρούμε ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.6. Οφθαλμικοί Κόγχοι

Ως προς το σχήμα των οφθαλμών διαπιστώθηκαν επίσης στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

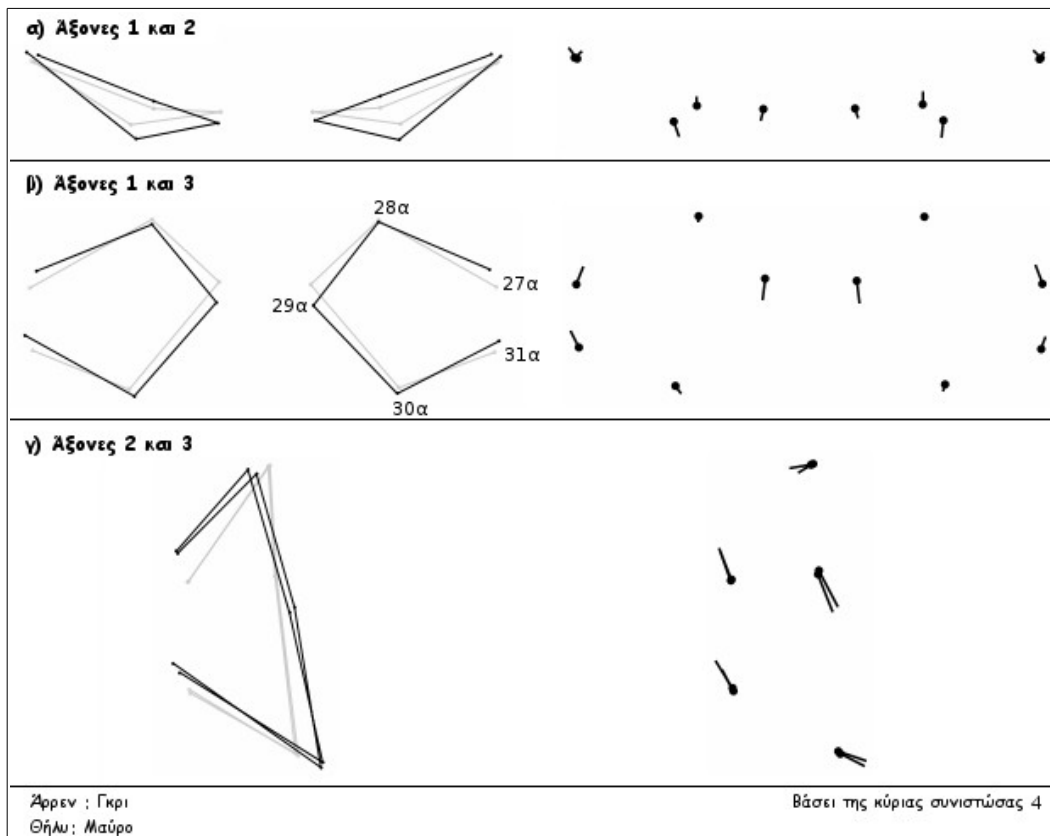
Για την στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήσαμε 10 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 10 και Εικόνα 38) σε δείγμα 172 ατόμων (91 αρσενικά, 81 θηλυκά), όπου και εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,02259$, $p\text{-value} = 7,77 \times 10^{-16}$). Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαιώθηκαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 5,4713$, 95% του $F_{TEO} = 1,9898$).

Πίνακας 10: Αναφορικά σημεία της περιοχής των οφθαλμών

Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
27 (α,β) <i>frontomale orbitale</i>	<i>fmo</i>
28 (α,β) <i>supraconchion</i>	<i>spa</i>
29 (α,β) <i>maxillofrontale</i>	<i>mf</i>
30 (α,β) <i>subconchion</i>	<i>sbk</i>
31 (α,β) <i>ectoconchion</i>	<i>ec</i>

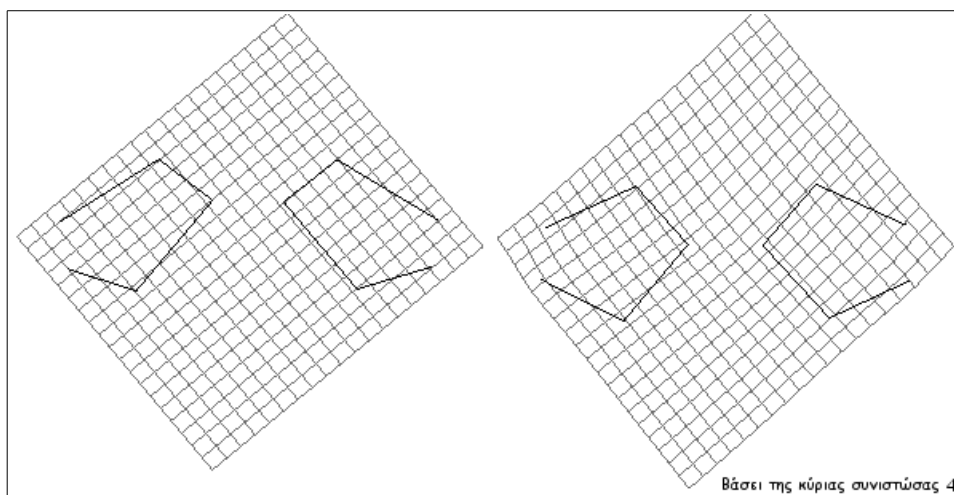


Εικόνα 38: Αναφορικά σημεία της περιοχής των οφθαλμών



Εικόνα 39: Αριστερά: Μοντέλα περιγράμματος των οφθαλμών σύμφωνα με την κύρια συνιστώσα 4 μεταξύ των αξόνων α) 1 και 2, β) 1 και 3, γ) 2 και 3. Με γκρι χρώμα απεικονίζεται ο μέσος όρος του σχήματος των αρσενικών ατόμων και με μαύρο των θηλυκών ατόμων. Δεξιά: Τα αντίστοιχα μοντέλα «lollipop» των μοντέλων περιγράμματος. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των αρσενικών ατόμων, ενώ οι ευθείες γραμμές δηλώνουν την κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των θηλυκών ατόμων σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των αρσενικών.

Μία από τις διαφορές στο σχήμα των οφθαλμικών κογχών μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων είναι ότι τα αναφορικά σημεία *maxilofrontale* (29α,β) στους άρρενες είναι πιο υψηλά, όσον αφορά στη διάταξη τους στο προσωπικό κρανίο. Επιπλέον, η απόσταση των *frontomolare orbitale* και *maxilofrontale* (27α,β και 29α,β) είναι μεγαλύτερη στα αρσενικά άτομα από ότι στα θηλυκά, ενώ η απόσταση των *supraconchion* (28α,β) και *subconchion* (30α,β) μικρότερη. Η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία *frontomolare orbitale*, *supraconchion* και *maxilofrontale* (27α,28α,29α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 27β,28β,29β δεξιά πλευρά) είναι ίδια στα θηλυκά και στα αρσενικά άτομα. Αντίθετα, η γωνία μεταξύ των σημείων *frontomolare orbitale*, *maxilofrontale* και *ectoconchion* (27α,29α,31α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 27β,29β,31β δεξιά πλευρά) είναι πιο αμβλεία στα θηλυκά άτομα. Τέλος, η γωνία που σχηματίζεται από τα σημεία *maxilofrontale*, *subconchion* και *ectoconchion* (29α,30α,31α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 29β,30β,31β δεξιά πλευρά) είναι πιο αμβλεία στα αρσενικά άτομα (Εικόνες 39 και 40).



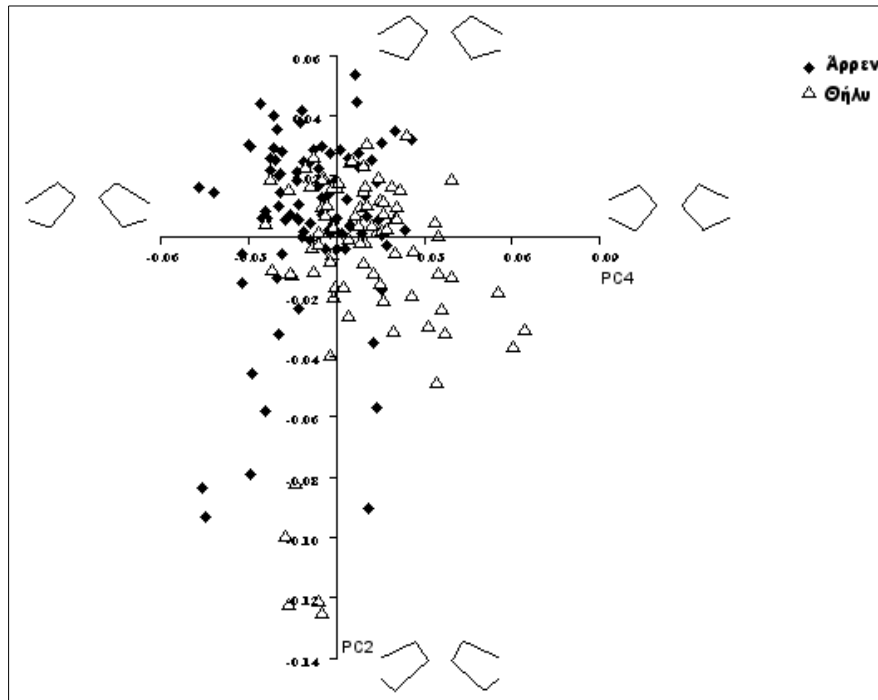
Εικόνα 40: Το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού απεικονίζει τις αλλαγές στο σχήμα των οφθαλμών, οι οποίες αναπαριστώνται από την PC4. Η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το αρσενικό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το θηλυκό

4.6.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Από την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι το σχήμα των οφθαλμών προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 72,7% (Πίνακας 11). Ειδικότερα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 74,4% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 70,4%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει σχήματος στηρίχθηκε στις 5 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 81,27% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας όπου διαπιστώθηκε ότι για τις κύριες συνιστώσες ένα (PC1) και δύο (PC2) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} < 0,001$ και για τις δύο) και για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκε λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι κατά σειρά η PC4 και η PC2, όπως βλέπουμε στο διάγραμμα της εικόνας 41. Στο εν λόγω διάγραμμα παρουσιάζεται η διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες,. Στην PC4 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *frontomale orbitale*, *maxillofrontale*, *subconchion* και *ectoconchion*, ενώ στην PC2 η διακύμανση των σημείων *subconchion* και *supraconchion* (βλέπε Πίνακα X στο Παράρτημα).



Εικόνα 41: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος των οφθαλμών. Η κύρια συνιστώσα 4 (PC4) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. N= 172, 10 αναφορικά σημεία. Οι πρόσθιες όψεις των οφθαλμών παρουσιάζουν τις αλλαγές που συμβαίνουν στο σχήμα τους, ενώ αντιπροσωπεύονται από την PC2 και PC4 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.6.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Τα αρσενικά άτομα έχουν πιο ευμεγέθεις οφθαλμικούς κόγχους από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 105,15 έως 136,05, ενώ για τα θηλυκά από 100,2 έως 129,6.

Το μέγεθος του κρανίου εμφανίζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 72,7% (Πίνακας 11). Για την ακρίβεια, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 75,8% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 69,1%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου λάβαμε τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001).

Πίνακας 11: Ποσοστά ταξινόμησης με βάση το σχήμα, το μέγεθος και τη μορφή των οφθαλμικών κογχών

Οφθαλμικοί Κόγχοι		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	68/91	74,4	57/81	70,4	72,7
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					2,7
Κεντροειδές^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	69/91	75,8	56/81	69,1	72,7
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	69/91	75,8	56/81	69,1	72,7
Μεταβλητές Μορφής^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	75/91	82,4	67/81	82,7	82,6
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					5,8

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

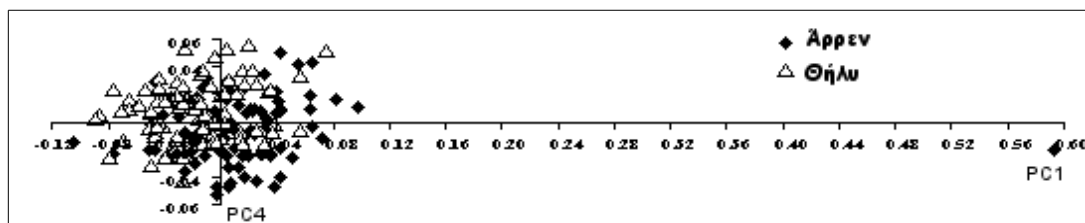
4.6.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος των οφθαλμών δεν συμβάλλει ιδιαίτερος στον φυλετικό διμορφισμό όπως διαπιστώνουμε και από το διάγραμμα της εικόνας 42.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή των οφθαλμών προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια της τάξης του 82,6% (Πίνακας 11). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 82,4% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 82,7%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 6 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 86,42% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Στη συνέχεια διεξαγάγαμε έλεγχο κανονικότητας, όπου διαπιστώσαμε ότι για τις κύριες συνιστώσες ένα (PC1), δύο (PC2) και τρία (PC3) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} < 0,001$ και για τις τρείς), ως εκ τούτου εφαρμόσαμε λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα που συνεισφέρει περισσότερο στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC4 (Εικόνα 42). Στην PC4 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *supraconchion* και *maxillofrontale* (βλέπε Πίνακα X στο Παράρτημα).



Εικόνα 42: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη των οφθαλμών. Η κύρια συνιστώσα 4 (PC4) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ στην κύρια συνιστώσα 1 (PC1) προβάλλεται η μεταβλητή του μεγέθους. $N = 172$, 10 αναφορικά σημεία. Δεν παρατηρείται ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.7. Ρινική Περιοχή

Αναφορικά προς το σχήμα της ρινικής περιοχής δεν διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν 8 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 12 και Εικόνα 43) σε δείγμα 168 ατόμων (91 αρσενικά, 77 θηλυκά) και κατόπιν εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,01557$, $p\text{-value} = 0,0181$). Ωστόσο, τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν επιβεβαιώθηκαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 1,8494$, 95% του $F_{TEO} = 1,8796$).

Πίνακας 12: Αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής

	Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
19	<i>nasion</i>	<i>n</i>
29 (α,β)	<i>maxillofrontale</i>	<i>mf</i>
32 (α,β)	<i>apertion</i>	<i>apt</i>
33	<i>nasospinale</i>	<i>ns</i>
34 (α,β)	<i>maxillonasofrontale</i>	<i>mnf</i>



Εικόνα 43: Αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής

Δεδομένων των προαναφερθέντων, δεν πραγματοποιήθηκε περαιτέρω ανάλυση στην συγκεκριμένη περιοχή. Ταυτόχρονα, οι περιοχές στις οποίες συμπεριλαμβάνονταν τα αναφορικά σημεία τόσο της ρινικής περιοχής όσο του κρανίου συνολικά και του προσωπικού κρανίου, αναλύθηκαν δύο φορές. Κατά την πρώτη ανάλυση εξετάσαμε όλα τα αναφορικά σημεία (συμπεριλαμβανομένων αυτών της ρινικής περιοχής), ενώ κατά τη δεύτερη τα σημεία αυτά τα παραλείψαμε.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων στο κρανίο συνολικά έδειξαν ότι, σύμφωνα με την ανάλυση του «γεωμετρικού χώρου σχήματος», παρατηρείται αύξηση στο ποσοστό επιτυχίας της ταξινόμησης στο συνολικό δείγμα που αγγίζει το 4%, όταν συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση τα αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής. Το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στην κατάταξη των θηλυκών ατόμων. Οι αναλύσεις του «κεντροειδούς» και του «γεωμετρικού χώρου μορφής Προκρούστη» δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Πίνακας 13).

Πίνακας 13: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής του κρανίου συνολικά εξαιρουμένων των αναφορικών σημείων της ρινικής περιοχής

Κρανίο Συνολικά (Χωρίς τα αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής)		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	44/54	81,5	28/43	65,1	74,2
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					11,1
Κεντροειδές^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	46/54	85,2	33/43	76,7	81,4
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	46/54	85,2	33/43	76,7	81,4
Μεταβλητές Μορφής^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	47/54	87	38/43	88,4	87,6
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					12,6

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

Από την άλλη πλευρά, τα αποτελέσματα των αναλύσεων στο προσωπικό κρανίο έδειξαν ότι, σύμφωνα με την ανάλυση του «γεωμετρικού χώρου μορφής Προκρούστη», παρατηρείται μεν αύξηση του ποσοστού επιτυχούς ταξινόμησης στο συνολικό δείγμα που φτάνει το 4%, όταν στην ανάλυση συμπεριλαμβάνονται τα αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό οφείλεται κυρίως στην κατάταξη των αρσενικών ατόμων. Οι αναλύσεις του «κεντροειδούς» και του «γεωμετρικού χώρου σχήματος» δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Πίνακας 14).

Πίνακας 14: Ποσοστά ταξινόμησης με βάση το σχήμα, το μέγεθος και τη μορφή του προσωπικού κρανίου εξαιρουμένων των αναφορικών σημείων της ρινικής περιοχής

Προσωπικό Κρανίο (Χωρίς τα αναφορικά σημεία της ρινικής περιοχής)		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	%
Μεταβλητές Σχήματος ^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	76/89	85,4	63/77	81,8	83,7
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					17,8
Κεντροειδές ^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	70/89	78,7	56/77	72,7	75,9
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	70/89	78,7	56/77	72,7	75,9
Μεταβλητές Μορφής ^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	74/89	83,1	62/77	80,5	81,9
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					17,9

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

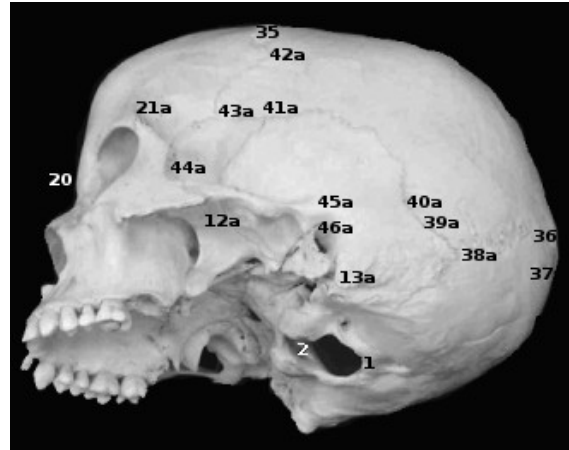
4.8. Θόλος Κρανίου

Σχετικά με το σχήμα του θόλου του κρανίου διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για τη στατιστική ανάλυση της περιοχής αυτής χρησιμοποιήθηκαν 30 αναφορικά σημεία (βλέπε Πίνακα 15 και Εικόνα 44) σε δείγμα 167 ατόμων (88 αρσενικά, 79 θηλυκά), όπου εφαρμόστηκε το Goodall's F τεστ ($d = 0,02108$, $p\text{-value} < 1 \times 10^{-16}$) και τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιβεβαιώθηκαν με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 4,1068$, 95% του $F_{TEO} = 1,5480$).

Πίνακας 15: Αναφορικά σημεία της περιοχής του κρανιακού θόλου

Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση	Αναφορικά Σημεία	Σύντμηση
1 <i>opisthion</i>	<i>o</i>	38 (α,β) <i>asterion</i>	<i>ast</i>
2 <i>basion</i>	<i>ba</i>	39 (α,β) <i>entomion</i>	<i>ent</i>
12 (α,β) <i>infratemporale</i>	<i>it</i>	40 (α,β) <i>supramastoid crest – squamous suture intersection</i>	<i>scs</i>
13 (α,β) <i>mastoidale</i>	<i>ms</i>	41 (α,β) <i>crotaphion</i>	<i>k</i>
20 <i>glabella</i>	<i>g</i>	42 (α,β) <i>coronale</i>	<i>co</i>
21 (α,β) <i>frontotemporale</i>	<i>ft</i>	43 (α,β) <i>sphenion</i>	<i>sphn</i>
35 <i>bregma</i>	<i>b</i>	44 (α,β) <i>landmark x</i>	<i>x</i>
36 <i>lambda</i>	<i>l</i>	45 (α,β) <i>auriculare</i>	<i>au</i>
37 <i>opisthocranion</i>	<i>op</i>	46 (α,β) <i>porion</i>	<i>po</i>

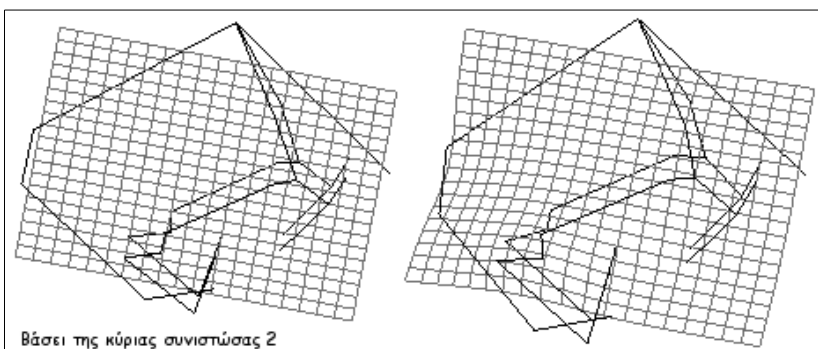


Εικόνα 44: Αναφορικά σημεία της περιοχής του κρανιακού θόλου

Σε γενικές γραμμές, τα αρσενικά άτομα στο ύψος των κροταφικών οστών είναι πιο πεπλατυσμένα (φαρδιά) από τα θηλυκά, ενώ στο νοητό άξονα που σχηματίζουν το μετωπιαίο και το ινιακό οστό τα θηλυκά άτομα είναι πιο επιμήκη από τα αρσενικά. Το ύψος του κρανίου καθώς και η απόσταση μεταξύ αριστερού και δεξιού σφηνοειδούς οστού δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο φύλων (Εικόνες 45 και 46).

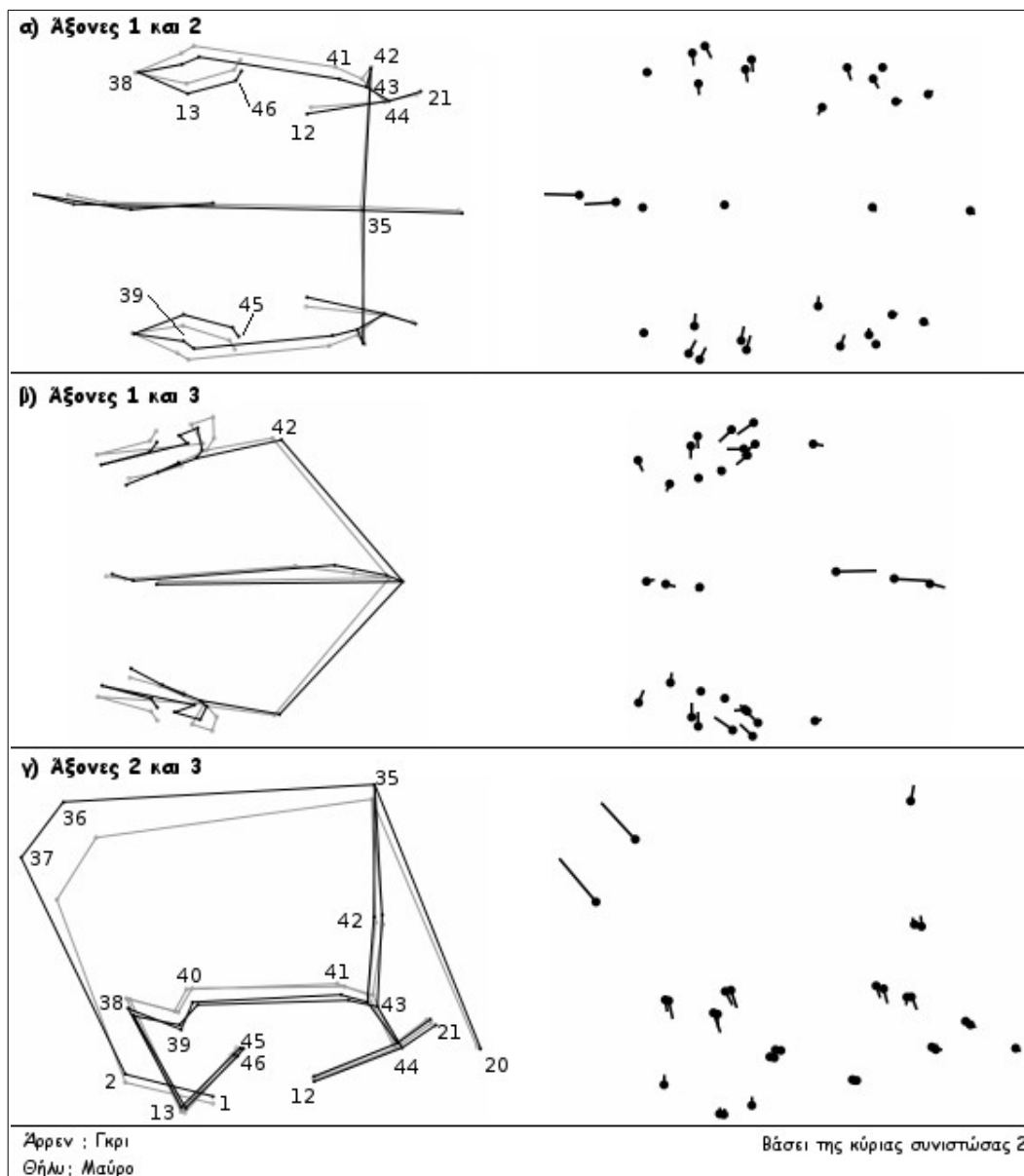
Οι γωνίες που σχηματίζονται από τα αναφορικά σημεία: *sphenion*, *landmark x*, *frontotemporale* (43α,44α,21α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 43β,44β,21β δεξιά πλευρά) και *opisthocranion*, *opisthion*, *basion* (37,1,2) είναι πιο οξείες στα αρσενικά άτομα απ' ό τι στα θηλυκά. Αντίθετα, η γωνία που σχηματίζουν τα αναφορικά σημεία: *lambda*, *opisthocranion* και *opisthion* (36,37,1) είναι πιο αμβλεία στους άρρενες συγκριτικά με τα θήλεα. Επιπλέον, οι γωνίες που σχηματίζονται από τα αναφορικά σημεία: *glabella*, *bregma*, *lambda* (20,35,36) και αριστερό *coronale*, *bregma*, δεξί *coronale* (42α,35,42β) δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ αρρένων και θηλέων.

Στο κροταφικό οστό η απόσταση μεταξύ των σημείων *auricular* και *porion* (45α,46α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 45β,46β δεξιά πλευρά) είναι σχεδόν ίδια και για τα αρσενικά και για τα θηλυκά άτομα. Επιπλέον, οι γωνίες που σχηματίζονται από τα αναφορικά σημεία: *asterion*, *entomion*, *supramastoid crest_squamous suture intersection* (38α,39α,40α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 38β,39β,40β δεξιά πλευρά) και *porion*, *mastoidale*, *asterion* (46α,13α,38α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 46β,13β,38β δεξιά πλευρά) είναι πιο οξείες στα θηλυκά άτομα συγκριτικά με τα αρσενικά.



Εικόνα 45: Το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού απεικονίζει τις αλλαγές στο σχήμα του θόλου του κρανίου που αναπαριστώνται από την PC2. Η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το θηλυκό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το αρσενικό

Τέλος, στο σφηνοειδές οστό η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία: *crotaphion*, *sphenion* και *landmark x* (41α,43α,44α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 41β,43β,44β δεξιά πλευρά) είναι πιο οξεία στα αρσενικά άτομα απ' ότι στα θηλυκά. Αντίθετα, η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία: *infratemporale*, *landmark x* και *sphenion* (12α,44α,43α αριστερή πλευρά και αντίστοιχα 12β,44β,43β δεξιά πλευρά) είναι πιο αμβλεία στα αρσενικά άτομα.



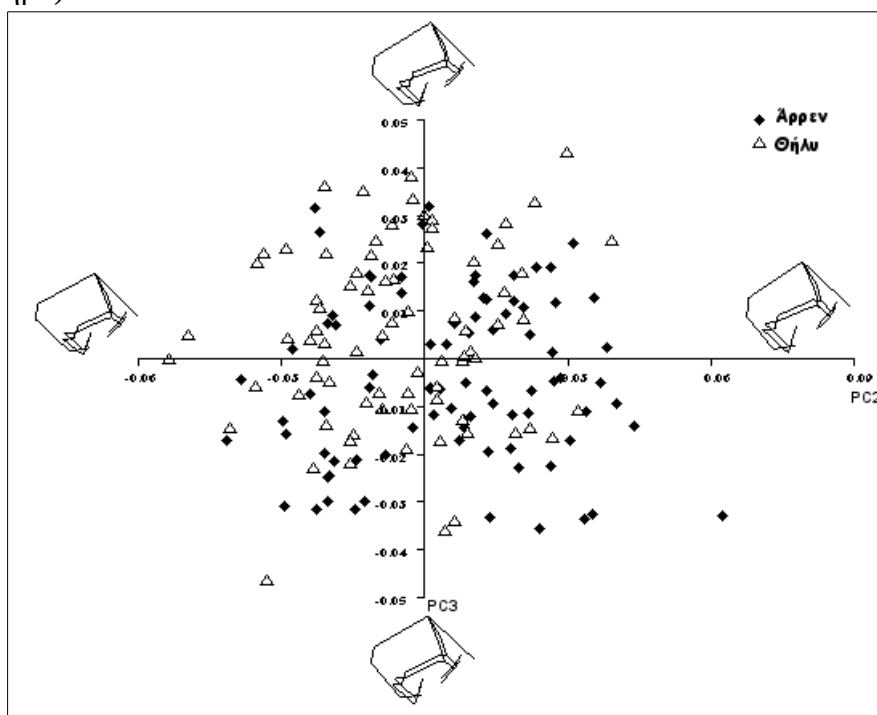
Εικόνα 46: Αριστερά: Μοντέλα περιγράμματος του θόλου του κρανίου σύμφωνα με την κύρια συνιστώσα 2 μεταξύ των αξόνων α) 1 και 2, β) 1 και 3, γ) 2 και 3. Με γκρι χρώμα παρουσιάζεται ο μέσος όρος του σχήματος των αρσενικών ατόμων και με μαύρο των θηλυκών ατόμων. Δεξιά: Τα αντίστοιχα μοντέλα «lollipop» των μοντέλων περιγράμματος. Οι κουκίδες αντιπροσωπεύουν τα αναφορικά σημεία του μέσου όρου σχήματος των αρσενικών ατόμων, ενώ οι ευθείες γραμμές δηλώνουν την κατεύθυνση των αναφορικών σημείων του μέσου όρου του σχήματος των θηλυκών ατόμων σε σχέση με τα αντίστοιχα αναφορικά σημεία των αρσενικών ατόμων

4.8.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Από την ανάλυση συμπεραίνουμε ότι το σχήμα του θόλου του κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 79% (Πίνακας 16). Ειδικότερα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 80,7% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 77,2%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου με βάση το σχήμα στηρίχθηκε στις 15 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 70,72% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος και προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Έπειτα, πραγματοποιήσαμε έλεγχο κανονικότητας, όπου διαπιστώσαμε ότι για την κύρια συνιστώσα έξι (PC6) δεν ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας ($p\text{-value} = 0,024$), αυτό οδήγησε στο να εφαρμόσουμε λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,001$).

Οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, όπως προέκυψαν από το μοντέλο, είναι κατά σειρά η PC2 και η PC3 και απεικονίζονται στο διάγραμμα της εικόνας 47. Στο συγκεκριμένο διάγραμμα βλέπουμε τη διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες,. Στην PC2 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *opisthocranion* και *lambda*, ενώ στην PC3 η διακύμανση των σημείων *opisthocranion*, *supramastoid crest*, *lambda* και *entomion* (βλέπε Πίνακα XI στο Παράρτημα).



Εικόνα 47: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος του θόλου του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 2 (PC2) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. $N = 167$, 30 αναφορικά σημεία. Οι πλευρικές όψεις του θόλου του κρανίου παρουσιάζουν τις αλλαγές που συμβαίνουν στο σχήμα του που αντιπροσωπεύονται από την PC2 και PC3 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.8.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Από την ανάλυση προέκυψε πως τα αρσενικά άτομα έχουν πιο εύρωστο θόλο κρανίου από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 373,4 έως 444,2, ενώ για τα θηλυκά από 358,5 έως 418,5.

Το μέγεθος του θόλου του κρανίου εμφανίζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 83,8% (Πίνακας 16). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα έχει ποσοστό επιτυχίας 80,7% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 87,3%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου εξήχθησαν τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001).

Πίνακας 16: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής για την περιοχή του κρανιακού θόλου

Θόλος Κρανίου		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	%
Μεταβλητές Σχήματος^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	71/88	80,7	61/79	77,2	79
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					20,5
Κεντροειδές^b	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	71/88	80,7	69/79	87,3	83,8
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	70/88	79,5	67/79	84,8	82
Μεταβλητές Μορφής^a	Συνολική Λογιστική Παλινδρόμηση	80/88	90,9	69/79	87,3	89,2
	Διασταυρωμένη Επικύρωση					16,4

a: Λογιστική Παλινδρόμηση

b: Διαχωριστική Ανάλυση

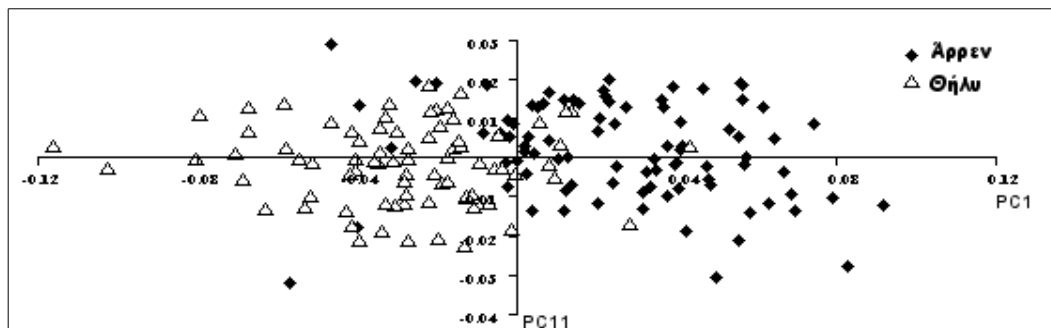
4.8.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος του θόλου του κρανίου παίζει σημαντικό ρόλο στον φυλετικό διμορφισμό όπως διαπιστώνεται και από το διάγραμμα της εικόνας 48.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή του θόλου του κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια της τάξης του 89,2% (Πίνακας 16). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 90,9% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 87,3%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 12 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 71,04% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος, όπως αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Ακολούθησε έλεγχος κανονικότητας, όπου διαπιστώθηκε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις δώδεκα κύριες συνιστώσες. Προκειμένου όμως να είναι εφικτή η σύγκριση μεταξύ ανάλυσης γεωμετρικού χώρου σχήματος και γεωμετρικού χώρου μορφής Προκρούστη, εφαρμόσθηκε η λογιστική παλινδρόμηση για την εξαγωγή του μοντέλου (p -value < 0,001).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC11 (Εικόνα 48). Στην PC11 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως των αναφορικών σημείων *opisthocranium*, *basion*, *lambda* και *sphenion* (βλέπε Πίνακα XII στο Παράρτημα).



Εικόνα 48: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη του θόλου του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 11 (PC11) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ η μεταβλητή του μεγέθους αναπαρίσταται από τη κύρια συνιστώσα 1 (PC1). N= 167, 30 αναφορικά σημεία. Παρατηρούμε σαφή ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.9. Καμπύλη Κρανίου

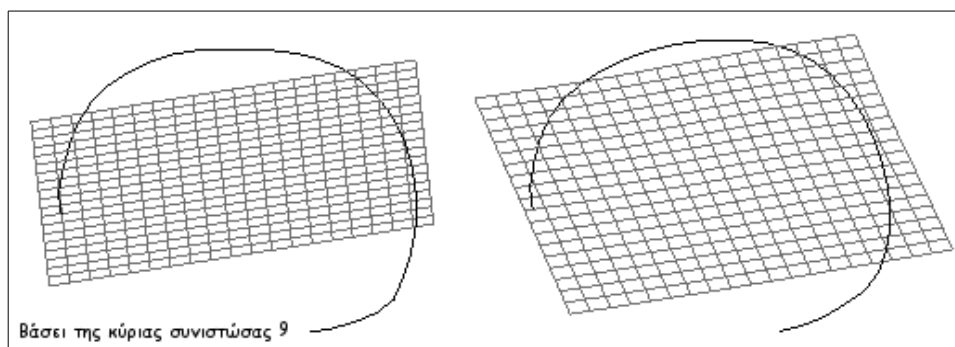
Σε ότι αφορά στο σχήμα της καμπύλης του κρανίου διαπιστώσαμε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων.

Για την στατιστική επεξεργασία χρησιμοποιήσαμε 2 αναφορικά (*nasion* και *opisthion*) και 30 ψεύδο-αναφορικά σημεία (βλέπε Εικόνα 49) σε δείγμα 141 ατόμων (70 αρσενικά, 71 θηλυκά), όπου και εφαρμόσαμε το Goodall's F τεστ ($d = 0,01261$, $p\text{-value} < 1 \times 10^{-16}$). Τα αποτελέσματα του τεστ επιβεβαιώθηκαν και με μεταθετικό έλεγχο ($F_{AKO} = 4,0542$, 95% του $F_{TEO} = 2,7974$).



Εικόνα 49: Αναφορικά σημεία της καμπύλης του κρανίου

Παρατηρούμε ότι τα θηλυκά άτομα εμφανίζουν ορθομετωπία συγκριτικά με τα αρσενικά άτομα. Ταυτόχρονα, στα αρσενικά άτομα η επιφάνεια του κρανίου στην περιοχή του ινιακού οστού κοντά στο ινιακό έπαρμα εξέχει συγκριτικά με αυτή των θηλυκών, ενώ στην περιοχή του μέσου της οβελιαίας ραφής παρατηρείται το αντίστροφο (Εικόνα 50).



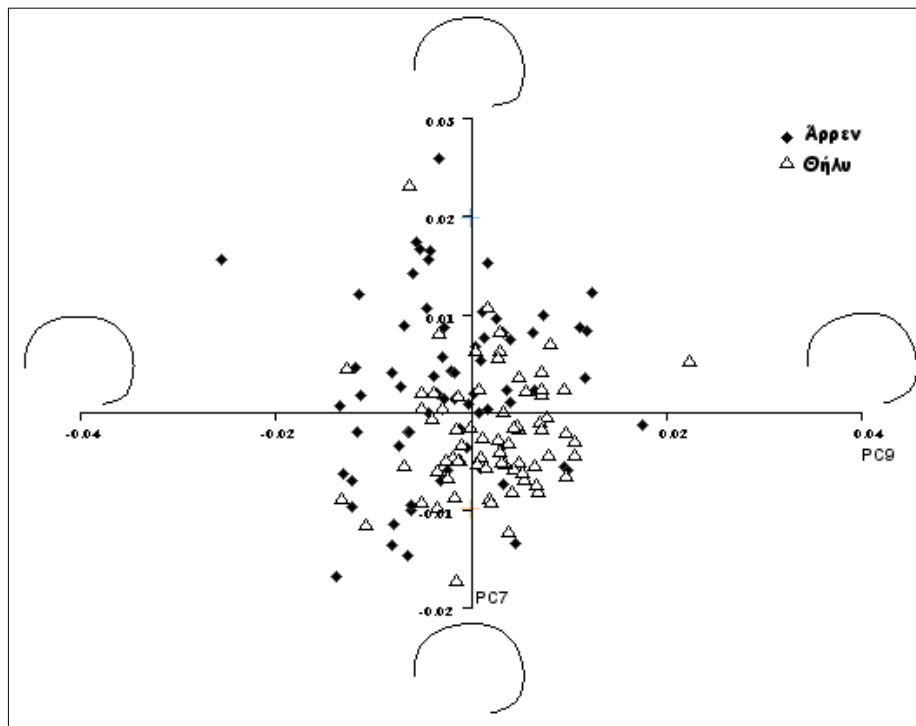
Εικόνα 50: Το καρτεσιανό πλέγμα μετασχηματισμού απεικονίζει τις αλλαγές στο σχήμα της καμπύλης του κρανίου που εκπροσωπούνται από την PC9. Η μορφή αναφοράς (αριστερά) αντιπροσωπεύει το αρσενικό άτομο, ενώ η μορφή στόχος (δεξιά) το θηλυκό

4.9.1. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Σχήματος»

Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης συμπεραίνουμε πως το σχήμα της καμπύλης κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια 70,2% (Πίνακας 17). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 65,7% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 74,6%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου με βάση το σχήμα στηρίχθηκε στις 14 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 87,77% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος και προέκυψαν τόσο από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος όσο και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Στη συνέχεια διεξαγάγαμε, όπως και στις παραπάνω περιοχές, έλεγχο κανονικότητας όπου διαπιστώσαμε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις δεκατέσσερις κύριες συνιστώσες. Ως εκ τούτου, εφαρμόσαμε διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου ($p\text{-value} < 0,0001$).

Οι κύριες συνιστώσες με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, σύμφωνα με το μοντέλο, είναι κατά σειρά η PC9 και η PC7, όπως φαίνεται και από το διάγραμμα της εικόνας 51. Στο εν λόγω διάγραμμα βλέπουμε τη διασπορά των θηλυκών και αρσενικών ατόμων σύμφωνα με τις συγκεκριμένες δύο κύριες συνιστώσες. Τόσο στην PC9 όσο και στην PC7 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως αναφορικών σημείων του ινιακού οστού (βλέπε Πίνακα XIII στο Παράρτημα).



Εικόνα 51: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο σχήματος της καμπύλης του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 9 (PC9) έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου. N= 141, 2 αναφορικά και 30 ψεύδο-αναφορικά σημεία. Οι πλευρικές όψεις της καμπύλης του κρανίου παρουσιάζουν τις αλλαγές που προκύπτουν στο σχήμα της και αντιπροσωπεύονται από την PC9 και PC7 αντίστοιχα. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

4.9.2. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Κεντροειδούς»

Τα αρσενικά άτομα έχουν πιο μεγάλη καμπύλη κρανίου από τα θηλυκά. Ειδικότερα, το εύρος μεγέθους για τα αρσενικά άτομα κυμαίνεται από 404,6 έως 496,2, ενώ για τα θηλυκά από 398,1 έως 474,9.

Το μέγεθος της βάσης του κρανίου προσδιορίζει το φύλο με ακρίβεια που φτάνει το 68,1% (Πίνακας 17). Συγκεκριμένα, τα αρσενικά άτομα κατατάσσονται επιτυχώς σε ποσοστό 64,3% και τα θηλυκά άτομα σε ποσοστό 71,8%. Το μοντέλο διαχωρισμού από όπου λάβαμε τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε από την διακριτική ανάλυση του κεντροειδούς κάθε ατόμου (p -value < 0,0001).

Πίνακας 17: Ποσοστά ταξινόμησης βάσει σχήματος, μεγέθους και μορφής της καμπύλης του κρανίου

Καμπύλη Κρανίου		Ποσοστό Επιτυχούς Ταξινόμησης				
		Άρρενα		Θήλεα		Σύνολο
		N	%	N	%	
Μεταβλητές Σχήματος ^{a, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	46/70	65,7	53/71	74,6	70,2
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	44/70	62,9	53/71	74,6	68,8
Κεντροειδές ^c	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	45/70	64,3	51/71	71,8	68,1
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	45/70	64,3	51/71	71,8	68,1
Μεταβλητές Μορφής ^{b, c}	Συνολική Διαχωριστική Ανάλυση	54/70	77,1	62/71	87,3	82,3
	Διασταυρωμένη Επικύρωση	53/70	75,7	59/71	83,1	79,4

a: PC 1, 4, 7, 8 and 9

b: PC 1, 2, 3, 5 and 10

c: Διαχωριστική Ανάλυση

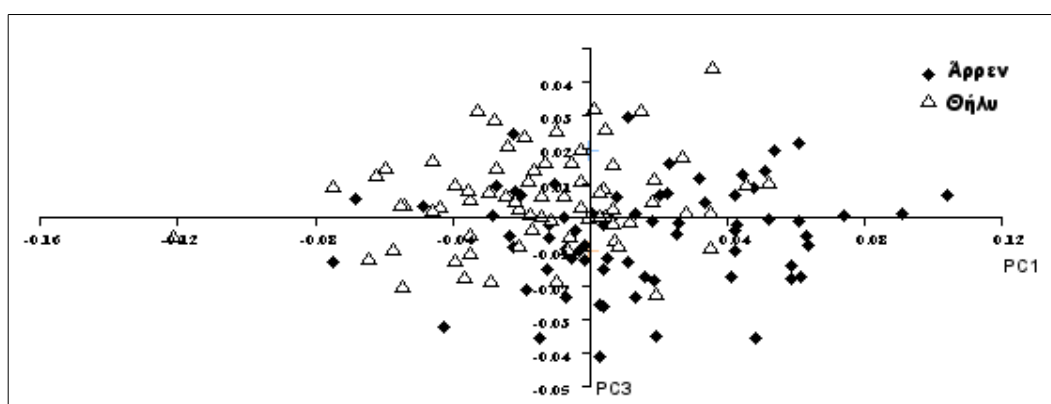
4.9.3. Αποτελέσματα Ανάλυσης «Γεωμετρικού Χώρου Μορφής Προκρούστη»

Το μέγεθος της καμπύλης του κρανίου δεν παίζει σημαντικό ρόλο στον φυλετικό διμορφισμό, όπως διαπιστώνουμε και από το διάγραμμα της εικόνας 52.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η μορφή της καμπύλης του κρανίου παρουσιάζει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 82,3% (Πίνακας 17). Συγκεκριμένα, η κατάταξη σε αρσενικά άτομα εμφανίζει ποσοστό επιτυχίας 77,1% και σε θηλυκά άτομα ποσοστό 87,3%.

Το μοντέλο διαχωρισμού του φύλου βάσει μορφής στηρίχθηκε στις 10 πρώτες μη-μηδενικές κύριες συνιστώσες, οι οποίες περιγράφουν το 88,32% της ποικιλομορφίας του συνολικού δείγματος. Οι συνιστώσες αυτές προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη και από το αντίστοιχο κριτήριο scree-plot. Πραγματοποιήσαμε έλεγχο κανονικότητας, όπου διαπιστώσαμε ότι ισχύει η υπόθεση της κανονικότητας και για τις δέκα κύριες συνιστώσες. Αυτό μας οδήγησε να εφαρμόσουμε διακριτική ανάλυση για την εξαγωγή του μοντέλου (p -value < 0,0001).

Σύμφωνα με το μοντέλο, η κύρια συνιστώσα με την μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου είναι η PC3 (Εικόνα 52). Στην PC3 απεικονίζεται η διακύμανση κυρίως αναφορικών σημείων του ινιακού οστού (βλέπε Πίνακα XIV στο Παράρτημα).



Εικόνα 52: Ανάλυση κύριων συνιστωσών στον γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη της καμπύλης του κρανίου. Η κύρια συνιστώσα 3 (PC3) παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συνεισφορά στον διαχωρισμό του φύλου, ενώ στη κύρια συνιστώσα 1 (PC1) προβάλλεται η μεταβλητή του μεγέθους. $N=141$, 2 αναφορικά και 30 ψεύδο-αναφορικά σημεία. Δεν παρατηρούμε σαφή ομαδοποίηση κατά την κύρια συνιστώσα 1. Τα αρσενικά άτομα συμβολίζονται με μαύρο ρόμβο, ενώ τα θηλυκά με άσπρο τρίγωνο

5. Συζήτηση

Για τη μελέτη του ανθρώπινου σκελετικού υλικού οι πρώτες χρήσιμες πληροφορίες που πρέπει να λάβουμε είναι το φύλο και η ηλικία θανάτου. Οι διαφορές στη διατροφή, την ασθένεια, τα πρότυπα δραστηριότητας καθώς και οι ταφικές πρακτικές που βασίζονται στην ηλικία θανάτου και το φύλο είναι προσιτές μέσω της έρευνας του ανθρώπινου σκελετικού υλικού. Οι σκελετικές μελέτες χρησιμοποιούνται ως βάση αναφοράς διαφόρων αναλύσεων, όπως η δημογραφική ανάλυση προϊστορικού νεκροταφείου και η ταυτοποίηση ενός σκελετού.

Οι κατακερματισμένοι, ελλιπείς, διάσπαρτοι ή καμένοι σωροί, καθιστούν δύσκολο τον προσδιορισμό του φύλου (Reichs, 1986), αλλά οι ιατροδικαστές συχνά έρχονται αντιμέτωποι με τέτοιου είδους υπολείμματα (Burris & Harris, 1998). Ο ορθός προσδιορισμός του φύλου εξαρτάται όχι μόνο από την μέθοδο που επιλέγεται, αλλά και από τις ανατομικές περιοχές του σκελετού καθώς και το βαθμό φυλετικού διμορφισμού που εμφανίζουν οι περιοχές αυτές στον υπό μελέτη πληθυσμό. Θραύσματα περιοχών της πυέλου και του κρανίου, οι μηριαίες κεφαλές και το στέρνο συνήθως οδηγούν σε επιτυχή προσδιορισμό του φύλου (Kerley, 1977).

5.1. Έλεγχος Επαναληψιμότητας – Αναπαραγωγιμότητας

5.1.1. Αναφορικά Σημεία

Η διαφορά στους μέσους όρους της τυπικής απόκλισης κατά τους ελέγχους επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας, (ο μέσος όρος της τυπικής απόκλισης κατά τον έλεγχο της επαναληψιμότητας είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο μέσο όρο κατά τον έλεγχο της αναπαραγωγιμότητας) αιτιολογείται από τη μικρότερη εξοικείωση του δεύτερου παρατηρητή τόσο με το όργανο συλλογής δεδομένων όσο και με το σύνολο των αναφορικών σημείων. Αξίζει να αναφερθεί ότι, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το επίπεδο ακρίβειας του Microscribe 3DX είναι ± 0.23 mm (Immersion, CA.).

Παρόλο που εντοπίζονται μικρές διαφορές στη θέση ορισμένων αναφορικών σημείων, αυτές έχουν μικρή επιρροή στην γενική περιγραφή των κρανιακών δομών. Ως εκ τούτου, η ταξινόμηση των ατόμων ως αρσενικά ή θηλυκά επηρεάζεται ελάχιστα από τον παρατηρητή και κατά συνέπεια, η θέση των συντεταγμένων των αναφορικών σημείων μπορεί να αποκλειστεί ως πηγή σφάλματος (Gonzales *et al.*, 2009).

5.1.2. Ψεύδο-αναφορικά Σημεία

Τα αποτελέσματα του ελέγχου επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας της καμπύλης του κρανίου δείχνουν ότι το σφάλμα όσον αφορά στη θέση των συντεταγμένων των ψεύδο-αναφορικών σημείων είναι μεγάλο, δεδομένου ότι η ομαδοποίηση των δειγμάτων δεν ήταν ικανοποιητική.

Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης περιοχής δεν θεωρούνται ιδιαίτερα αξιόπιστα. Το γεγονός αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μέσο και στον τρόπο συλλογής των δεδομένων. Η ψηφιοποίηση καμπύλων τμημάτων του κρανίου μέσω φωτογραφίας, ακτινογραφίας ή τριδιάστατου scanner που έχουν χρησιμοποιηθεί σε παρόμοιες μελέτες (Ball, 2011· Lidstone, 2011) πιθανόν να αποκλείει αυτήν την πηγή σφάλματος. Επίσης, η επιλογή μεγαλύτερου αριθμού ψεύδο-αναφορικών σημείων μπορεί να αποτελεί μερική λύση του προβλήματος (Bigoni *et al.*, 2010).

5.2. Κρανίο Συνολικά

Όπως διαπιστώνουμε από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων στο σχήμα του κρανίου ως σύνολο. Αντιθέτως, στον ιταλικό πληθυσμό δεν εντοπίστηκε στατιστικά σημαντικός φυλετικός διμορφισμός (Bigoni *et al.*, 2010), ύστερα από εφαρμογή τριδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρικής ανάλυσης σε δείγμα 139 σκελετών γνωστού φύλου (73 αρσενικά και 66 θηλυκά άτομα) που ανήκουν σε άτομα που έζησαν κατά το πρώτο ήμισυ του 20ου αιώνα στη Βοημία. Οι Bigoni *et al.* (2010) ψηφιοποίησαν 82 αναφορικά σημεία της εξωτερικής επιφάνειας του κρανίου καθώς και 39 ψεύδο-αναφορικά σημεία μέσω του MicroScribe G2X. Μόνο στα 98 από τα 139 κρανία εντοπίστηκαν όλα τα αναφορικά σημεία. Κατά συνέπεια, για την ανάλυση του κρανίου ως σύνολο το δείγμα περιορίστηκε σε αυτούς τους σκελετούς. Δεν εντόπισαν στατιστικά σημαντικό φυλετικό διμορφισμό στο σύνολο του κρανίου. Η διαφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων των Bigoni *et al.* (2010) και του ελληνικού πληθυσμού πιθανόν να οφείλεται στην επιλογή ορισμένων αναφορικών σημείων.

Οι Franklin *et al.* (2006a) χρησιμοποιώντας το Microscribe για τη ψηφιοποίηση 96 αναφορικών σημείων του κρανίου σε 332 σκελετούς γηγενών Νοτιοαφρικανών, με σκοπό να εξακριβώσουν τη χρησιμότητα της γεωμετρικής μορφομετρικής μεθόδου στον προσδιορισμό του φύλου, έδειξαν ότι το ποσοστό ακρίβειας ήταν της τάξης του 87%. Στον ελληνικό πληθυσμό το αντίστοιχο ποσοστό ανέρχεται σε 87,6%.

Ως προς το μέγεθος του κρανίου ως σύνολο, οι Kranioti *et al.* το 2008 συλλέγοντας 16 διαστάσεις του κρανίου με τη χρήση παχύμετρου και κεφαλόμετρου (μετρικές μέθοδοι) από 178 σκελετούς (90 αρσενικά και 88 θηλυκά άτομα) κρητικής προέλευσης, έδειξαν ότι όλες οι διαστάσεις είναι στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερες στα αρσενικά άτομα απ' ότι στα θηλυκά. Παρόμοια συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και από τη δική μας έρευνα δεδομένου ότι τα αρσενικά άτομα βρέθηκε ότι έχουν πιο εύρωστο κρανίο σε σύγκριση με τα θηλυκά.

5.3. Βάση Κρανίου

Σε γενικές γραμμές, στον ελληνικό πληθυσμό υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο σχήμα της βάσης του κρανίου μεταξύ των δύο φύλων και στα αρσενικά άτομα το μέγεθος του βασικράνιου είναι αρκετά μεγαλύτερο. Στα ίδια συμπεράσματα, ως προς το μέγεθος και το φυλετικό διμορφισμό βάσει σχήματος της βάσης του κρανίου, κατέληξαν και οι Bruner & Ripani το 2008, όταν εξέτασαν 149 κρανία, στα οποία έγινε εγκάρσια τομή στο άνω τμήμα του θόλου, προκειμένου να είναι εφικτή η πλήρης πρόσβαση στην ενδοκρανιακή κοιλότητα. Τα δείγματα συλλέχθηκαν στην αρχή του 20ου αιώνα στην Ιταλία από σκελετικό υλικό ανατομείων (Bruner *et al.*, 2003b), και προκειμένου να περιοριστεί το σφάλμα της εκτίμησης φύλου για τη μελέτη των διαφορών μεταξύ των αρσενικών και θηλυκών ατόμων, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τα κρανία που κατατάχθηκαν ως υπέρ-άρρενες (40) και υπέρ-θήλεα (50). Για το κάθε κρανίο συνέλεξαν τα δεδομένα 19 αναφορικών σημείων στην εσωτερική επιφάνεια του κρανίου και ακολούθησαν γεωμετρική μορφομετρική καθώς και Ευκλείδειων αποστάσεων ανάλυση.

Σύμφωνα με την παρούσα μελέτη, το αξονικό μήκος των ινιακών κονδύλων καθώς και η απόσταση μεταξύ αυτών στο πρόσθιο τμήμα τους δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων. Αντιθέτως, το πλάτος των ινιακών κονδύλων είναι μεγαλύτερο στους άρρενες συγκριτικά με τα θήλεα (βλέπε εικόνα 25). Οι προαναφερθείσες παρατηρήσεις δεν είναι σε συμφωνία με αυτές των Cicekcibasi *et al.* (2004), όπου έδειξαν ότι το αξονικό μήκος των ινιακών κονδύλων (ALOC) και η απόσταση μεταξύ αυτών στο πρόσθιο τμήμα τους (AICD) ήταν σημαντικά μεγαλύτερα στα αρσενικά άτομα απ' ότι στα θηλυκά. Σκοπός της μελέτης των Cicekcibasi *et al.* (2004) ήταν να αξιολογηθούν οι μορφομετρικές μετρήσεις ορισμένων βασικών αναφορικών σημείων της βάσης του κρανίου και να καθοριστούν οι σχέσεις καθώς και οι διαφορές τους μεταξύ των δύο φύλων. Το δείγμα απαρτιζόταν από 60 κρανία (34 θηλυκά και 26 αρσενικά άτομα) και αποτελούσε τμήμα των σκελετικών συλλογών διδασκαλίας του τμήματος ανατομίας της Ιατρικής Σχολής Meram στο Πανεπιστήμιο Selçuk. Σε κάθε κρανίο οι Cicekcibasi *et al.* (2004) υπολόγισαν επτά αποστάσεις και μια γωνία με τη βοήθεια ενός παχύμετρου και ενός γωνιόμετρου.

Όσον αφορά το ινιακό τμήμα, στον ελληνικό πληθυσμό καθώς και στον βραζιλιάνικο (Suazo *et al.*, 2009), τόσο το μήκος όσο και το πλάτος του είναι μεγαλύτερο στα αρσενικά άτομα (βλέπε εικόνα 25). Οι Suazo *et al.*, το 2009 ανέλυσαν 211 σκελετούς με σκοπό την αξιολόγηση της παρουσίας φυλετικού διμορφισμού στο μέγεθος του ινιακού κονδύλου. Το δείγμα ήταν γνωστού φύλου και ηλικίας και αποτελεί τμήμα της συλλογής του Μουσείου του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου στο Σάο Πάολο (UNIFESP).

5.4. Υπερώα

Δεδομένου ότι το σκελετικό δείγμα του ελληνικού πληθυσμού περιλαμβάνει όλες τις ηλικιακές ομάδες, δηλαδή και άτομα τα οποία δεν φέρουν δόντια (νωδά), η επίδραση της απώλειας δοντιών στην ακρίβεια του προσδιορισμού του φύλου σύμφωνα με το σχήμα της υπερώας αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ανάγνωση των αποτελεσμάτων και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Σε μελέτη 35 θηλυκών και 63 αρσενικών ατόμων από τη συλλογή του ομοσπονδιακού πανεπιστημίου του Σάο Πάολο (UNIFESP), βρέθηκε ότι η ακρίβεια του προσδιορισμού του φύλου βάσει του σχήματος της υπερώας δεν επηρεάζεται σημαντικά από τη νωδή άνω γνάθο (Suazo *et al.*, 2008). Σύμφωνα με την προαναφερθείσα έρευνα, τα κρανία ταξινομήθηκαν σε δύο ομάδες, η μία αποτελούνταν από κρανία με πλήρως νωδή άνω γνάθο και η δεύτερη από κρανία με μερικώς νωδή άνω γνάθο. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον προσδιορισμό του φύλου ήταν μορφολογική και βασίστηκε στην περιγραφή ότι η υπερώα στους άρρενες είναι συνήθως μεγαλύτερος σε μήκος και πλάτος απ' ότι στα θήλεα και τείνει να πάρει κλειστή u-μορφή. Το ποσοστό ακρίβειας στον προσδιορισμό του φύλου στο συνολικό δείγμα ήταν 75.5% (88,8 % για τα αρσενικά άτομα και 51,5% για τα θηλυκά άτομα). Το αντίστοιχο ποσοστό της ομάδας που περιλάμβανε τα κρανία με πλήρως νωδή άνω γνάθο ήταν 76,9 % (84 % για τους άρρενες και 70 % για τα θήλεα), ενώ η ομάδα που περιλάμβανε τα κρανία με μερικώς νωδή άνω γνάθο παρουσίασε τα χαμηλότερα ποσοστά (74,5 % στο σύνολο τη ομάδας : 90 % για τα αρσενικά άτομα και 26 % για τα θηλυκά) (Suazo *et al.*, 2008).

Σε μελέτη 60 ενήλικων κρανίων βόρειο-ινδικού πληθυσμού (30 άτομα από κάθε φύλο) από το τμήμα ανατομίας και δικανικής ιατρικής, του κυβερνητικού ιατρικού κολλεγίου στην Patiala στην Ινδία, βρέθηκε ότι βάσει του γναθοφατνιακού δείκτη της υπερώας, ο προσδιορισμός του φύλου επιτυγχάνεται σε ποσοστό της τάξης του 70 % (Sumati *et al.*, 2012). Ο γναθοφατνιακός δείκτης υπολογίστηκε από το μήκος και το πλάτος της υπερώας, των οποίων οι διαστάσεις ελήφθησαν με παχύμετρο. Στον ελληνικό πληθυσμό η ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου βάσει του σχήματος της υπερώας ανέρχεται στο 68,9%.

Ταξινόμηση με ποσοστό επιτυχίας της τάξης του 70 % προέκυψε και από την μελέτη του σχήματος της υπερώας των Bigoni *et al.* το 2010. Για την αξιολόγηση του φυλετικού διμορφισμού της υπερώας, οι Bigoni *et al.* (2010) εξέτασαν έξι αναφορικά σημεία σε 98 σκελετούς (46 θηλυκά άτομα και 52 αρσενικά), και έδειξαν ότι τα θήλεα έχουν σχετικά χαμηλότερη και ευρύτερη υπερώα έναντι των αρρένων, στους οποίους η υπερώα είναι βαθύτερη και στενότερη. Η παραπάνω διαπίστωση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στις γυναίκες, η απόσταση μεταξύ των αναφορικών σημείων *staphylion* και *staurion* είναι πίο μικρή απ' ότι στους άνδρες, όπως ακριβώς παρατηρούμε και στον ελληνικό πληθυσμό (βλέπε εικόνα 29).

Αν και το μέγεθος της υπερώας, βάσει των αποτελεσμάτων μας, δεν παίζει ουσιαστικό ρόλο στην εκτίμηση του φύλου, ταξινομεί επιτυχώς το δείγμα σε αρσενικά και θηλυκά άτομα σε ποσοστό 63,1%. Στο ίδιο ποσοστό κατέληξε και μια μελέτη 220 οδοντικών εκμαγείων από Μαύρους και Λευκούς αμερικανούς ασθενείς 12 έως 35 ετών, στα οποία δεκατέσσερα οδοντικά και υπερώια αναφορικά σημεία ψηφιοποιήθηκαν με τη μορφή καρτεσιανών συντεταγμένων και υπολογίστηκαν συνολικά δεκατρείς διαστάσεις (Burris & Harris, 1998).

5.5. Προσωπικό Κρανίο

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το σχήμα του προσωπικού κρανίου εμφανίζει στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν και από τη μελέτη 32 αναφορικών σημείων του προσωπικού κρανίου σε ένα δείγμα 125 ατόμων (θηλυκά : 58, αρσενικά : 67) ιταλικού πληθυσμού (Bigoni *et al.*, 2010). Επιπλέον, οι Bigoni *et al.* έδειξαν ότι στα αρσενικά άτομα, τα αναφορικά σημεία *jugale* είναι πιο απομακρυσμένα μεταξύ τους, ενώ τα αναφορικά σημεία *nasospinale* και *nasion* είναι πιο πρόσθια μετατοπισμένα, όπως παρατηρούμε και στον ελληνικό πληθυσμό (βλέπε εικόνα 34). Από την άλλη μεριά, στον ιταλικό πληθυσμό το ύψος της ρινικής περιοχής είναι μικρότερο στα αρσενικά άτομα, το αναφορικό σημείο *supraconchion* είναι μετατοπισμένο σε πιο οπίσθια θέση στα θηλυκά και η γωνία που σχηματίζουν τα αναφορικά σημεία *zm*, *io* και *apt* είναι πιο αμβλεία στα αρσενικά άτομα (Bigoni *et al.*, 2010). Η παρούσα έρευνα έδειξε ότι στα αρσενικά άτομα, το ύψος της ρινικής περιοχής είναι μεγαλύτερο, το αναφορικό σημείο *supraconchion* είναι μετατοπισμένο σε πιο οπίσθια θέση και η γωνία που σχηματίζουν τα αναφορικά σημεία *zm*, *io* και *apt* είναι πιο οξεία (βλέπε εικόνα 34).

Λεδομένου ότι τα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης για τα αρσενικά και τα θηλυκά άτομα είναι σχεδόν ίδια και στο σύνολο του δείγματος ισούται με 83,1 %, στον ελληνικό πληθυσμό, το σχήμα του προσωπικού κρανίου παρέχει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου. Αντιθέτως, σε μελέτη ενήλικων ατόμων σύγχρονου ευρωπαϊκού πληθυσμού από τις συλλογές του μουσείου

φυσικής ιστορίας του Λονδίνου (NHM), με τη μέθοδο γεωμετρικής μορφομετρικής ανάλυσης και τη βοήθεια ενός laser scanner, εννέα αναφορικών σημείων του προσωπικού κρανίου, βρέθηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντικός φυλετικός διμορφισμός (Hennessy & Stringer, 2002). Η διαφωνία μεταξύ των αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης έρευνας και του ελληνικού πληθυσμού, πιθανόν να οφείλεται στο μικρό αριθμό αναφορικών σημείων που εξέτασαν οι Hennessy & Stringer το 2002.

5.6. Οφθαλμικοί Κόγχοι

Για τον ελληνικό πληθυσμό, το σχήμα των οφθαλμών παρέχει ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου της τάξης του 72,7%. Η μελέτη ανάλυσης σχήματος των οφθαλμών 133 κρανίων (61 θηλυκά και 72 αρσενικά) από την Ιταλία με εφαρμογή τριδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρίας, έδειξε ότι η ακρίβεια του προσδιορισμού φύλου για την συγκεκριμένη περιοχή ήταν 74 % (Bigoni *et al.*, 2010). Επιπλέον, βάσει αυτής της μελέτης, βρέθηκε ότι στον ιταλικό πληθυσμό, όπως και στον ελληνικό (βλέπε εικόνα 39), ο οφθαλμικός κόγχος των αρσενικών ατόμων είναι παράλληλος προς το μετωπιαίο επίπεδο, ενώ στα θηλυκά άτομα έχει ελαφρώς οβελιαία κατεύθυνση. Ταυτόχρονα, στις γυναίκες, το αναφορικό σημείο *maxillofrontale* είναι πιο πρόσθια μετατοπισμένο και τα αναφορικά σημεία *ectoconchion* και *frontomale orbitale* πιο οπίσθια σε σύγκριση με τους άνδρες. Τέλος, η πρόσθια όψη έδειξε ότι στα θήλεα, η γραμμή που συνδέει τα αναφορικά σημεία *mf-ek* είναι σχεδόν οριζόντια σε σχέση με τη βάση, ενώ στους άνδρες το αναφορικό σημείο *maxillofrontale* είναι τοποθετημένο υψηλότερα.

Σύμφωνα με τη διατριβή της Lidstone το 2011, όπου εφάρμοσε τη μέθοδο γεωμετρικής μορφομετρίας σε οφθαλμικούς κόγχους 99 ενήλικων ατόμων (48 άντρες και 51 γυναίκες) από το εργαστήριο ιατροδικαστικής του πανεπιστημίου της Κοπεγχάγης, στη Δανία, τόσο η διδιάστατη όσο και η τριδιάστατη ανάλυση, οδήγησαν σε υψηλά ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης βάσει φύλου. Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τη διδιάστατη ανάλυση το ποσοστό επιτυχίας ήταν της τάξης του 82,8 %, ενώ με την τριδιάστατη ανάλυση 94,95 %. Η Lidstone (2011), για κάθε σκελετό, εξέτασε συνολικά δεκαέξι σημεία (4 αναφορικά σημεία και 12 ψεύδο-αναφορικά σημεία) του αριστερού οφθαλμικού κόγχου που συλλέχθηκαν από αξονική τομογραφία. Αντιθέτως, στην έρευνα των Bigoni *et al.* (2010) καθώς και στην παρούσα διατριβή, αναλύθηκαν 10 αναφορικά σημεία (5 αναφορικά σημεία στο δεξιό οφθαλμικό κόγχο και 5 αναφορικά σημεία στον αριστερό) που συλλέχθηκαν με τη βοήθεια του Microscribe. Κατά συνέπεια, η διαφορά στα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης μεταξύ του σκανδιναβικού πληθυσμού, του ελληνικού καθώς και του ιταλικού πληθυσμού, ενδεχομένως να οφείλεται στη χρήση και ψεύδο-αναφορικών σημείων για τον προσδιορισμό του φύλου από του οφθαλμικούς κόγχους και στη μεθοδολογία συλλογής δεδομένων.

5.7. Ρινική Περιοχή

Το σχήμα της ρινικής περιοχής δεν εμφανίζει έντονο φυλετικό διμορφισμό στον ελληνικό πληθυσμό, δεδομένου ότι η απόσταση Προκρούστη μεταξύ των δύο φύλων δεν είναι στατιστικά σημαντική σύμφωνα με το μεταθετικό έλεγχο του Goodall's F τεστ. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μεγάλη ποικιλομορφία που παρατηρείται στην περιοχή αυτή εντός των ομάδων.

Η σύγκριση όμως των αποτελεσμάτων της περιοχής του κρανίου συνολικά και του προσωπικού κρανίου συμπεριλαμβανομένων των αναφορικών σημείων της ρινικής περιοχής και απουσία αυτών, σύμφωνα με την οποία διαφορές παρατηρήθηκαν μόνο βάσει της ανάλυσης του «γεωμετρικού χώρου σχήματος» και του «γεωμετρικού χώρου μορφής Προκρούστη» αντίστοιχα, υποδεικνύει ότι η ρινική περιοχή εμφανίζει κάποιου βαθμού φυλετικό διμορφισμό (βλέπε πίνακες 3, 9, 13 και 14).

Μελέτη που διεξήχθη σε δείγμα 90 σκελετών από τη συλλογή του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου του Σάο Πάολο (UNIFESP), προκειμένου να εξετάσει την ύπαρξη φυλετικού διμορφισμού και την αλληλεπίδρασή του με το χρώμα του δέρματος, όσον αφορά στο μέγεθος του αποειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας έδειξε ότι, όλες οι διαστάσεις ήταν μεγαλύτερες στους άνδρες συγκριτικά με τις γυναίκες (López *et al.*, 2009). Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα ανήκε σε βραζιλιάνους άνω των 18 ετών με καταγεγραμμένα στοιχεία σχετικά με το φύλο, την ηλικία και το χρώμα του δέρματος. Διαμορφώθηκαν τρεις ομάδες: η πρώτη αποτελούνταν από 30 κρανία ατόμων λευκού χρώματος δέρματος, η δεύτερη από 30 κρανία ατόμων μαύρου χρώματος δέρματος και η τρίτη από 30 κρανία ατόμων καστανού χρώματος δέρματος. Με τη χρήση ενός ψηφιακού παχύμετρου, προσδιορίστηκαν οι εξής διαστάσεις: ύψος, άνω και κάτω πλάτος αποειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μόνο το ύψος είναι στατιστικά σημαντικό σε όλες τις ομάδες. Στατιστικά σημαντικές διαφορές στο άνω πλάτος αποειδούς στομίου της ρινικής κοιλότητας μεταξύ των δύο φύλων εντοπίστηκαν μόνο στον πληθυσμό με μαύρο χρώμα δέρματος.

Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των φύλων βάσει του σχήματος της ρινικής περιοχής με ποσοστό επιτυχούς ταξινόμησης της τάξης του 77 %, βρέθηκε ύστερα από μελέτη εννέα αναφορικών σημείων σε δείγμα 118 ατόμων (56 θηλυκά, 62 αρσενικά) ιταλικού πληθυσμού (Bigoni *et al.*, 2010). Ενδεικτικά αναφέρουμε πως στον ιταλικό πληθυσμό, στους άνδρες το στόμιο της ρινικής κοιλότητας είναι στενότερο και μεγαλύτερο σε ύψος συγκριτικά με τις γυναίκες, τα οστά που απαρτίζουν την ρινική περιοχή προεξέχουν περισσότερο στα αρσενικά άτομα, ενώ η γωνία που σχηματίζεται από τα αναφορικά σημεία αριστερό *aperion*, *nasion* και δεξί *aperion* είναι πιο αμβλεία στα θήλεα (περίπου 180°).

5.8. Θόλος Κρανίου

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας διατριβής, υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο σχήμα του θόλου του κρανίου μεταξύ θηλυκών και αρσενικών ατόμων. Η διαπίστωση αυτή είναι αντίστοιχη με αυτή που ανέκυψε ύστερα από μελέτη της επίδρασης του μεγέθους και του φύλου στο σχήμα του κρανίου μεταξύ αμερικανικών πληθυσμών (Kimmerle *et al.*, 2008). Η ψηφιοποίηση τριδιάστατων συντεταγμένων 16 αναφορικών σημείων με τη βοήθεια του Microscribe-3DX σε 118 σκελετούς από την συλλογή του W.M. Bass και της Ιατροδικαστικής Τράπεζας δεδομένων, έδειξε ότι στις γυναίκες, το αναφορικό σημείο *opisthocranion* είναι προσανατολισμένο πιο ψηλά και το *asterion* πιο πρόσθια από ότι στους άνδρες, με αποτέλεσμα, το αναφορικό σημείο *frontotemporale* να έχει πιο πρόσθια τοποθέτηση στα θηλυκά άτομα (Kimmerle *et al.*, 2008). Οι διαφορές που ειπώθηκαν προηγουμένως, εντοπίζονται και στον ελληνικό πληθυσμό (βλέπε εικόνα 46).

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, μια μελέτη για το θόλο του κρανίου σε ιταλικό πληθυσμό με εφαρμογή τριδιάστατης γεωμετρικής μορφομετρικής ανάλυσης έδειξε ότι το σχήμα της συγκεκριμένης περιοχής δεν εμφανίζει φυλετικό διμορφισμό (Bigoni *et al.*, 2010)

Δύο έρευνες που βασίστηκαν σε κρανιομετρικές αποστάσεις κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος του θόλου του κρανίου είναι αρκετά μεγαλύτερο στα αρσενικά άτομα απ' ότι στα θηλυκά. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την παρούσα έρευνα, η οποία εξετάζει ελληνικό πληθυσμό. Η πρώτη μελέτη περιελάμβανε 178 κρανία ενήλικων ατόμων (88 θηλυκά και 90 αρσενικά άτομα) από τα νεκροταφεία «Αγίου Κωνσταντίνου» και «Πατέλες» στο Ηράκλειο Κρήτης (Kranioti *et al.*, 2008) και η δεύτερη 226 κρανία του ομοσπονδιακού πανεπιστημίου του Σάο Πάολο (Zavando *et al.*, 2009). Οι δύο αυτές έρευνες, μελέτησαν τις αποστάσεις μεταξύ των αναφορικών σημείων δεξί *Eurion*-αριστερό *Eurion*, *Glabella*-*Opisthocranion* και *Basion*-*Bregma*, οι οποίες βρέθηκαν να είναι μεγαλύτερες στους άνδρες συγκριτικά με τις γυναίκες (βλέπε εικόνα 46).

Ειδικότερα, οι Paiva & Segre το 2003, καθώς και οι Suazo *et al.* το 2008, καθόρισαν την ύπαρξη φυλετικού διμορφισμού στην περιοχή της μαστοειδούς απόφυσης. Και οι δύο μελέτες έδειξαν ότι η επιφάνεια της συγκεκριμένης περιοχής είναι μεγαλύτερη στα αρσενικά άτομα, όπως παρατηρούμε και στον ελληνικό πληθυσμό (βλέπε εικόνα 46). Οι Paiva & Segre εξέτασαν 60 κρανία (30 άνδρες και 30 γυναίκες), τα οποία ανήκουν στη συλλογή του Εργαστηρίου Ιατροδικαστικής Ανθρωπολογίας του "Setor de Perícias Médico-Legais", ενώ οι Suazo *et al.* χρησιμοποίησαν 81 κρανία γνωστού φύλου και ηλικίας (50 άνδρες και 31 γυναίκες μεταξύ 40 και 70 ετών), που ανήκουν σε άτομα που έζησαν στη Βραζιλία και αποτελούν τμήμα της συλλογής του Σάο Πάολο του Μουσείου του Ομοσπονδιακού Πανεπιστημίου (UNIFESP).

5.9. Καμπύλη Κρανίου

Σε γενικές γραμμές, για τον ελληνικό πληθυσμό υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο σχήμα της καμπύλης του κρανίου μεταξύ των δύο φύλων, και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι γυναίκες έχουν ένα πιο σφαιρικό νευροκράνιο. Στα αρσενικά άτομα η επιφάνεια του κρανίου στην περιοχή του ινιακού οστού κοντά στο ινιακό έπαρμα εξέχει συγκριτικά με αυτή των θηλυκών, ενώ η περιοχή του μετώπου είναι πιο επίπεδη και το μεσόφρυο πιο ογκώδες. Αντίστοιχα συμπεράσματα προέκυψαν και από την αξιολόγηση του φυλετικού διμορφισμού βάσει 39 ψεύδο-αναφορικών σημείων μεταξύ των *nasion* και *oristion* αναφορικών σημείων της καμπύλης του κρανίου σε ιταλικό πληθυσμό (Bigoni *et al.*, 2010). Σε αντίθεση όμως με τον ιταλικό πληθυσμό, όπου παρατηρήθηκε ότι η περιοχή κοντά στο σημείο που τέμνονται η μετωποβρεγματική και η οβελιαία ραφή είναι χαμηλότερη στα θηλυκά άτομα, στον ελληνικό πληθυσμό η αντίστοιχη περιοχή είναι σχετικά υψηλότερη στα θηλυκά από ότι στα αρσενικά άτομα. Επιπλέον, σύμφωνα με την παρούσα διατριβή, η ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου βάσει του σχήματος της καμπύλης του κρανίου είναι της τάξης του 70,2% ενώ το αντίστοιχο ποσοστό που προέκυψε από τα αποτελέσματα της ανάλυσης των Bigoni *et al.* (2010) είναι 99%. Η διαφωνία στα ποσοστά επιτυχούς ταξινόμησης μεταξύ του ελληνικού και του ιταλικού πληθυσμού, πιθανόν να οφείλεται στο μεγαλύτερο αριθμό ψεύδο-αναφορικών σημείων που εξέτασαν οι Bigoni *et al.* (2010).

Τέλος, σε μελέτη 104 κρανίων ενήλικων ατόμων, γνωστού φύλου και ηλικίας (52 θηλυκά και 52 αρσενικά άτομα) από την οστεολογική συλλογή του Ινστιτούτου Ανθρωπολογίας της Κοϊμπρα του Πανεπιστημίου της Πορτογαλίας (Rocha, 1995) και την ψηφιοποίηση των τριδιάστατων συντεταγμένων 29 αναφορικών σημείων του προσωπικού κρανίου και της κάτω γνάθου με τη χρήση του MicroScribe 3DX, βρέθηκε ότι στα αρσενικά άτομα το ίνιον εξέχει προς τα κάτω περισσότερο συγκριτικά με τα θηλυκά άτομα (Rosas & Bastir, 2002). Η προαναφερθείσα διαφορά στη μορφολογία του κρανίου μεταξύ των δύο φύλων εντοπίζεται και στον ελληνικό πληθυσμό (βλέπε εικόνα 50).

6. Συμπεράσματα

Ο σκοπός της παρούσας έρευνας ήταν η παρουσίαση μιας νέας μεθόδου προσδιορισμού του φυλετικού διμορφισμού στο κρανίο σύμφωνα με το σχήμα του. Από το προτεινόμενο πρωτόκολλο το σχήμα του κρανίου καθώς και η πλειονότητα των μεμονωμένων περιοχών του παρουσίασαν φυλετικό διμορφισμό. Εξαίρεση αποτέλεσε το σχήμα της ρινικής περιοχής. Τα χαμηλά ποσοστά ταξινόμησης στις περιοχές της υπερώας, των οφθαλμικών κογχών και της καμπύλης του κρανίου καθιστούν τις περιοχές αυτές ανακριβείς και αναξιόπιστους δείκτες εκτίμησης φύλου βάσει σχήματος. Αντιθέτως, το σχήμα του κρανίου ως σύνολο καθώς και της βάσης, του θόλου και του προσωπικού κρανίου, αποδεικνύονται ακριβείς και αξιόπιστοι δείκτες. Τη μεγαλύτερη ακρίβεια εμφανίζει το σχήμα του προσωπικού κρανίου και ακολουθούν το σχήμα του βασικράνιου, του κρανιακού θόλου και τέλος το κρανίο ως σύνολο. Κατά συνέπεια, επιβεβαιώνεται η υπόθεση ότι η εκτίμηση του φύλου μπορεί να τεκμηριωθεί από το σχήμα του κρανίου. Όπως αναμενόταν, σε όλες τις υπό μελέτη περιοχές τα ποσοστά ταξινόμησης αυξάνονται, όταν η ανάλυση περιλαμβάνει και τη μεταβλητή του μεγέθους, δηλαδή όταν μελετάται η μορφή των περιοχών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το ποσοστό ταξινόμησης βάσει της μορφής του κρανίου συνολικά, του προσωπικού κρανίου, της βάσης καθώς και του θόλου του κρανίου ανέρχεται σε 85-90%. Ποσοστό αντίστοιχο με αυτό των μετρικών μεθόδων σε μετακρανιακό υλικό (Meindl *et al.*, 1985· Krogman & Iscan, 1986· Mays & Cox, 2000).

Ταυτόχρονα, διάφορα προβλήματα που ανέκυψαν στην παρούσα διατριβή θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σε μεταγενέστερες μελέτες. Τα προβλήματα αυτά αφορούν κυρίως το πρωτόκολλο συλλογής δεδομένων. Το πρώτο μειονέκτημα αυτού του πρωτοκόλλου σχετίζεται με την καμπύλη του κρανίου. Κατά τον έλεγχο επαναληψιμότητας και αναπαραγωγιμότητας της καμπύλης του κρανίου το σφάλμα, όσον αφορά τη θέση των συντεταγμένων των ψεύδο-αναφορικών σημείων, αποδείχθηκε μεγάλο. Το δεύτερο μειονέκτημα, είναι ο μικρός αριθμός καλά καθορισμένων αναφορικών σημείων σε ευπαθείς περιοχές του κρανίου, όπως η ρινική περιοχή και η υπερώα. Το τρίτο μειονέκτημα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου σχετίζεται με τη βάση στήριξης των κρανίων. Ο τρόπος στήριξης που ακολουθήθηκε καθιστά την εργασία χρονοβόρα και επίπονη.

Εκτός από τις περαιτέρω έρευνες σχετικά με τη μεθοδολογία ανάλυσης (τριδιάστατη γεωμετρική μορφομετρική ανάλυση) που ακολουθήθηκε στη παρούσα έρευνα, η ανάπτυξη ενός νέου προγράμματος, το οποίο θα υπολογίζει τους γεωμετρικούς συσχετισμούς (αποστάσεις, γωνίες, επιφάνειες) μεταξύ των αναφορικών σημείων κάθε κρανίου θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για την επιβεβαίωση ή αναίρεση των αναφερθέντων συμπερασμάτων. Τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για τη μελέτη των μορφολογικών αλλαγών στις οποίες υπόκειται το κρανίο λόγω ηλικίας, με την προϋπόθεση ότι το δείγμα θα αυξανόταν προκειμένου να

καλύπτει επαρκώς όλες τις ηλικιακές ομάδες.

Έχουν υπάρξει πολλές μελέτες με στόχο να ανιχνευθεί και να ποσοτικοποιηθεί το εύρος της φυσικής επιλογής της κρανιακής μορφολογίας των πρωτευόντων και των ανθρώπων (Marroig *et al.*, 2004· Ackermann & Cheverud, 2004· Roseman, 2004· Marroig & Cheverud, 2004· Roseman & Weaver, 2004· Weaver *et al.*, 2007). Οι μελέτες αυτές έχουν αποδείξει έμμεσα ότι οι περισσότερες εξελικτικές αλλαγές στη σύγχρονη ανθρώπινη μορφολογία του προσωπικού κρανίου είναι αποτέλεσμα γενετικής παρέκκλισης και όχι προσαρμοστικής επιλογής. Εξαιρέσεις σε αυτό το γενικό πρότυπο, αφορούν ορισμένες προσαρμογές συγκεκριμένων περιοχών του κρανίου (κυρίως ρινική περιοχή) σε ακραίες καιρικές συνθήκες (Roseman, 2004) καθώς και μείωση της μηχανικής καταπόνησης του μαστήριου μηχανισμού μέσω της κατανάλωσης πιο μαλακών και πιο επεξεργασμένων τροφίμων (Larsen, 1997).

Η τριδιάστατη γεωμετρική μορφομετρική ανάλυση που χρησιμοποιήσαμε θα μπορούσε υπό συγκεκριμένες συνθήκες να βρει εφαρμογή τόσο σε διαφορετικής προέλευσης πληθυσμούς, με εξαίρεση κλειστούς πληθυσμούς, όσο και σε διαφορετικής εποχής πληθυσμούς. Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά στην παρατηρούμενη απόκλιση των αποτελεσμάτων της παρούσας έρευνας από αυτά άλλων ερευνητών σχετικά με την περιοχή της υπερώας, την καμπύλη του κρανίου, τους οφθαλμικούς κόγχους με εξαίρεση το αναφορικό σημείο *supraconchion* και το κροταφικό οστό, θεωρούμε ότι οφείλεται κατά κύριο λόγο στα διαφορετικά ερευνητικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιήθηκαν. Κατά συνέπεια κρίνεται απαραίτητή η δημιουργία ενός κοινά αποδεκτού ερευνητικού πρωτοκόλλου προκειμένου να επαληθευθούν τα αποτελέσματα. Ως προς τη βάση του κρανίου, τα συγκριτικά δεδομένα δεν είναι επαρκή, ενώ η ρινική περιοχή και η περιοχή της άνω γνάθου δεν μπορούν να έχουν γενική ισχύ και αφορούν το συγκεκριμένο πληθυσμό στο συγκεκριμένο τόπο και χρόνο. Για τα αρχαιολογικά δείγματα, δεδομένου ότι υπάρχει το πρόβλημα των "ελλিপών τιμών", η έρευνα θα πρέπει να λαμβάνει υπ' όψη της συγκεκριμένα τμήματα του κρανίου τα οποία εμφανίζουν αυξημένο βαθμό αξιοπιστίας και υψηλά ποσοστά ακρίβειας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας οι περιοχές του κρανίου που καλύπτουν τις παραπάνω προϋποθέσεις είναι η βάση του κρανίου και το κροταφικό οστό. Και στις δύο περιπτώσεις, δηλαδή για την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου σε διαφορετικής προέλευσης πληθυσμούς και σε αρχαιολογικό υλικό, κρίνεται απαραίτητη η επιβεβαίωση της υπόθεσης μέσω περαιτέρω έρευνας.

Αυτό που διατυπώθηκε στην παρούσα έρευνα ήταν ένα καλά καθορισμένο και επαναλήψιμο πρωτόκολλο που παρουσίασε ακρίβεια στον προσδιορισμό του φύλου βάσει σχήματος σε ορισμένες περιοχές του κρανίου. Τέλος, η παρούσα διατριβή προώθησε τη μελέτη της μορφολογικής ποικιλομορφίας στον ανθρώπινο σκελετό καταγράφοντας τις διαφορές στο κρανίο μεταξύ αρσενικών και θηλυκών ατόμων του σύγχρονου ελληνικού πληθυσμού.

Βιβλιογραφία

- Ackerman RR, Cheverud JM. 2004a. Morphological integration in primate evolution. In: Pigliucci M, Preston K, editors. Phenotypic integration: studying the ecology and evolution of complex phenotypes. Oxford: Oxford University Press. p 302-319.
- Ackerman RR, Cheverud JM. 2004b. Detecting genetic drift versus selection in human evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:17946-17951.
- Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71:5–16.
- Ball RM. 2011. SizeChina: A 3D Anthropometric Survey of the Chinese Head. Ph.D. Thesis. Reading University: Delft University of Technology, Netherlands.
- Barrio PA, Tranco GJ, Sanchez JA. 2006. Metacarpal sexual determination in a Spanish population. *J. Forensic Sci.* 51:990–995.
- Bartolo P, Bidanda B. 2008. Bio-materials and prototyping applications in medicine. New York: Springer.
- Bass WM. 1995. Human osteology: a laboratory and field manual. Columbia: Missouri Archaeological Society.
- Baughan B, Demirjian A. 1978. Sexual dimorphism in the growth of the cranium. *Am J Phys Anthropol* 49:383–90.
- Berrizbeitia EL. 1989. Sex determination with the head of the radius. *J Forensic Sci* 34:1206-13.
- Bidmos M, Dayal M. 2004. Further evidence to show population specificity of discriminant function equations for sex determination using the talus of South African blacks. *J. Forensic Sci.* 49:1165–1170.
- Bigoni L, Velemínska J, Bruzek J. 2010. Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *HOMO — Journal of Comparative Human Biology* 61:16–32.
- Birkby WH. 1966. An evaluation of race and sex identification from cranial measurements. *Am. J. Phys. Anthropol.* 24:21–27.
- Black TK. 1978. A new method for assessing the sex of fragmentary skeletal remains: femoral shaft circumference. *Am J Phys Anthropol* 48:227-32.
- Bookstein F, Streissguth A, Sampson P, Connor P, Barr H. 2002. Corpus callosum shape and neuropsychological deficits in adult males with heavy fetal alcohol exposure. *Neuroimage* 15:233–251.
- Bookstein F. 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bookstein FL, Chernoff B, Elder RL, Humphries JM, Smith GR, Strauss RE. 1985. Morphometrics in evolutionary biology. *Spec. Publ. Acad. Nat. Sci. Phila.* 15:1–277.
- Bookstein FL. 1989. Principal warps: thin-plate splines and the decomposition of deformations. *IEEE trans. Pattern Analysis Machine Intelligence.* 11:567-585.
- Bookstein FL. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. *Medical Image Analysis* 1:225–243.
- Braga J, Treil J. 2007. Estimation of pediatric skeletal age using geometric morphometrics and three-dimensional cranial size changes. *International Journal of Legal Medicine* 121:439-443.
- Bruner E, Ripani M. 2008. A Quantitative and Descriptive Approach to Morphological Variation of the Endocranial Base in Modern Humans. *American Journal Of Physical Anthropology* 137:30–40.

- Buck TJ, Vidarsdottir US. 2004. A proposed method for the identification of race in sub-adult skeletons: a geometric morphometric analysis of mandibular morphology. *J. Forensic Sci.* 49: 1159–1164.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey.
- Bulygina E, Mitteroecker P, Aiello L. 2006. Ontogeny of Facial Dimorphism and Patterns of Individual Development Within One Human Population. *American Journal Of Physical Anthropology* 131:432–443.
- Burris BG, Harris EF. 1998. Identification of race and sex from palate dimensions. *J Forensic Sci.* 43(5):959–963.
- Buschang PH, Baume RM, Nass G. 1983. A craniofacial growth maturity gradient for males and females between 4 and 16 years of age. *Am J Phys Anthropol* 61(3):373–82.
- Cattell RB. 1966. The scree test for the number of factors. *Multiv. Behav. Res.*, 1:245–276.
- Chapman R. 1990. Conventional Procrustes approaches. In: Rohlf FJ, Bookstein FL, editors. *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop (Special publication No. 2)*. Ann Arbor: University of Michigan Museum of Zoology. p. 251–267.
- Charisi D, Eliopoulos C, Vanna V, Koiliass CG, Manolis SK. 2011. Sexual Dimorphism of the Arm Bones in a Modern Greek Population. *J Forensic Sci.* 56.
- Chovalopoulou MA, Valakos ED, Manolis SK. 2013. Sex determination by three-dimensional geometric morphometrics of the palate and cranium base. *Anthrop Anz J Biol Clin Anthropol*. In press.
- Cicekcibasi AE, Murshed KA, Ziyilan T, Seker M, Tuncer I. 2004. A Morphometric Evaluation of Some Important Bony Landmarks on the Skull Base Related to Sexes. *Turk J Med Sci.* 34: 37-42.
- Corner BD, Lele S, Richtsmeier JT. 1992. Measuring precision of three-dimensional landmark data. *J Quant Anthropol* 3:347–359.
- Corti M. 1993. Geometric morphometrics: an extension of the revolution. *Trends Ecol. Evol.* 8: 302–303.
- Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The Problem of Assessing Landmark Error in Geometric Morphometrics: Theory, Methods, and Modifications. *Am J Phys Anthropol* 134:24–35.
- Cunningham LL, Madsen MJ, Peterson G. 2005. Stereolithographic modeling technology applied to tumor resection. *J Oral Maxillofac Surg* 63:873–878.
- Defrise-Gussenhoven E. 1966. A masculinity–femininity scale based on a discriminant function. *Acta Genet.* 16:198–208.
- Dryden IL and Mardia KV. 1993. Multivariate Shape Analysis. *Sankhya* 55: 460-480.
- Dryden IL and Mardia KV. 1998. *Statistical Shape Analysis*. John Wiley and Sons, Chichester, England, p 347.
- Dwight Thomas. 1904/1905. The Size of the Articular Surfaces of the Long Bones as Characteristic of Sex; An Anthropological Study. *American Journal of Anatomy* 4:19-36.
- Efron B and Tibshirani RJ. 1993. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, London, 436 p.
- Eliopoulos C. 2006. The Creation of a documented human skeletal reference collection and the application of current aging and sexing standards on a Greek skeletal population. Doctoral dissertation, University of Sheffield.
- Eliopoulos C, Lagia A, Manolis S. 2007. A modern, documented human skeletal collection from Greece. *HOMO*; 58:221-8.

- Enlow DH. 1982. Handbook of facial growth (2nd edition). Toronto: W.B. Saunders Company.
- Falsetti AB. 1995. Sex assessment om metacarpals of the human hand. *J Forensic Sci* 40:774-76.
- Fantini M, Benazzi S, De Crescenzo F, Persiani F, Gruppioni G. 2005. Virtual reconstruction of a dismembered andean mummy from CT data. In: VAST 2005: The 6th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage. Vol. 144: p 61–66.
- France DL. 1988. Osteometry at muscle origin and insertion in sex determination. *Am J Phys Anthropol* 76:515-26.
- France Diane L. 1998. Observational and Metric Analysis of Sex in the Skeleton. In: Reichs Kathleen J., editor. *Forensic Osteology: Advances in the Identification of Human Remains* (2nd ed.). Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher. p 163-186.
- Franklin D, Freedman L, Milne N. 2005. Sexual dimorphism and discriminant function sexing in indigenous South African crania. *Homo* 55:213–228.
- Franklin D, Freedman L, Milne N, Oxnard CE. 2006a. A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern Africans. *S. Afr. J. Sci.* 102:229–238.
- Franklin D, O’Higgins P, Oxnard CE, Dadour I. 2006b. Determination of sex in South African blacks by discriminant function analysis of mandibular linear dimensions. A preliminary investigation using the Zulu local population. *Forensic Sci. Med. Pathol.* 2:263–268.
- Franklin D, O’Higgins P, Oxnard CE, Dadour I. 2007a. Sexual dimorphism and population variation in the adult mandible. *Forensic applications of geometric morphometrics. Forensic Sci. Med. Pathol.* 3:15–22.
- Franklin D, Oxnard CE, O’Higgins P, Dadour I. 2007b. Sexual dimorphism in the subadult mandible: quantification using geometric morphometrics. *J. Forensic Sci.* 52:6–10.
- Franklin D, O’Higgins P, Oxnard CE. 2008. Sexual dimorphism in the mandible of indigenous South Africans: A geometric morphometric approach. *South African Journal of Science* 104.
- Frutos LR. 2005. Metric determination of sex from the humerus in a Guatemalan forensic sample. *Forensic Sci. Int.* 147:153–157.
- Ghosh AK, Sinha P. 2001. An economised craniofacial identification system. *Forensic Sci Int* 117:109–119.
- Giles E, Elliot O. 1963. Sex determination by discriminant function analysis of crania. *Am. J. Phys. Anthropol.* 21:53–68.
- Giles E. 1964. Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. *Am. J. Phys. Anthropol.* 22:129–135.
- Goldstein MS. 1936. Changes in dimensions and form of the face and head with age. *Am J Phys Anthropol* (old series) 22:37–89.
- Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI. 2009. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *International Journal of Osteoarchaeology* 21(1): 82-91.
- Goodall C. 1991. Procrustes methods in the statistical analysis of shape. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B (Methodological)*, 53:285-339.
- Gower JC. 1975. Generalised Procrustes Analysis. *Psychometrika* 40: 33-51.
- Graw M, Czarnetzki A, Haffner H. 1999. The form of the supraorbital margin as a criterion in identification of sex from the skull: investigations based on modern human skulls. *Am J Phys Anthropol* 108:91–6.
- Gualdi-Russo E. 2007. Sex determination from the talus and calcaneus measurements. *Forensic Sci. Int.* 171:151–156.
- Gulekon IN, Turgut HB. 2003. The external occipital protuberance: can it be used as a criterion in the determination of sex? *J Forensic Sci* 48(3):513–6.

- Hanihara K. 1959. Sex diagnosis of Japanese skulls by means of discriminant function. *J. Anthropol. Soc. Nippon* 6:191–197.
- Harvati K, 2003. Quantitative Analysis of Neanderthal Temporal Bone Morphology Using Three-Dimensional Geometric Morphometrics. *Am J Phys Anthropol* 120:323–338.
- Harvati K, Weaver TD. 2006. Human Cranial Anatomy and the Differential Preservation of Population History and Climate Signatures. *The Anatomical Record* 288A:1225–1233.
- Haun SJ. 2000. Brief communication: a study of the predictive accuracy of mandibular ramus flexure as a singular morphologic indicator of sex in an archaeological sample. *Am J Phys Anthropol* 111(3):429–32.
- Henke W. 1974. Zur Methode der diskriminanzanalytischen Geschlechtbestimmung am Schadel. *Homo* 24:99–117.
- Hennessy RJ, Stringer CB. 2002. Geometric Morphometric Study of the Regional Variation of Modern Human Craniofacial Form. *American Journal Of Physical Anthropology* 117:37– 48.
- Hill CA. 2000. Technical note: evaluating mandibular ramus flexure as a morphological indicator of sex. *Am J Phys Anthropol* 111(4):573–7.
- Holman DJ, Bennett KA. 1991. Determination of sex from arm bone measurements. *Am J Phys Anthropol* 84:421–26.
- Hotelling H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology* 24:417.
- Hoyme LE, Iscan MY. 1989. Determination of sex and race: accuracy and assumptions. In: Iscan MY, Kennedy KAR, editors. *Reconstruction of life from the skeleton*. New York: Wiley-Liss.
- Humphrey LT. 1998. Growth patterns in the modern human skeleton. *Am J Phys Anthropol* 105(2):57–72. Iscan MY, Yoshino M, Kato S. 1995a. Sexual dimorphism in modern Japanese crania. *Am. J. Hum. Biol.* 7:459–464.
- IscanMY, Miller-Shaivitz P. 1984. Discriminant function sexing of the tibia. *J Forensic Sci* 29:1087–93.
- Iscan MY, Helmer RP. 1993. *Forensic analysis of the skull: craniofacial analysis, reconstruction, and identification*. New York: Wiley.
- Iscan MY, Ding S. 1995. *Sexual Dimorphism in the Chinese Cranium*. International Association of Craniofacial Identification, Boca Raton, FL.
- Iscan MY, Steyn M. 1999. Craniometric determination of population affinity in South Africans. *Int. J. Legal Med.* 112:91–97.
- Iscan MY. 2005. Forensic anthropology of sex and body size. *Forensic Sci. Int.* 147:107–112.
- Jolliffe IT. 2002. *Principal Component Analysis*, Second Edition. Springer.
- Karakostis FA, Zorba E, Moraitis K. 2013. Sexual dimorphism of proximal hand phalanges. *Int J Osteoarchaeol*. DOI: 10.1002/oa.2340.
- Keen JA. 1950. A study of the differences between male and female skulls. *Am J Phys Anthropol* 8:65–79.
- Kemkes-Grottenthaler A. 2005. Sex determination by discriminant analysis: an evaluation of the reliability of patella measurements. *Forensic Sci. Int.* 147:129–133.
- Kendall D. 1981. The statistics of shape. In V. Barnett (Ed.), *Interpreting multivariate data*. New York: Wiley, pp. 78–80.
- Kendall D. 1984. Shape manifolds, Procrustean metrics and Complex projective spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society*, 16(2):81–121.
- Kerley ER. 1977. *Forensic medicine a study in trauma and environmental hazards in Forensic anthropology Vol II Physical trauma*. WB Saunders Company, London 1102–1111.

- Kimmerle EH, Ross A, Slice DE. 2008. Sexual dimorphism in America: geometric morphometric analysis of the craniofacial region. *J. Forensic Sci.* 53:54–57.
- Klepinger LL. 2006. *Fundamentals of Forensic Anthropology*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Klingenberg CP. 2011. MORPHOJ: an integrated software package for geometric Morphometrics. *Molecular Ecology Resources* 11:353–357.
- Konigsberg L, Hens SM. 1998. Use of ordinal categorical variables in skeletal assessment of sex from the cranium. *Am J Phys Anthropol* 107:97–112.
- Kranioti EF, Iscan MY, Michalodimitrakis M. 2008. Craniometric analysis of the modern Cretan population. *Forensic Science International* 180:110.e1–110.e5.
- Kranioti EF, Bastir M, Sanchez-Meseguer A, Rosas A. 2009. A geometric-morphometric study of the cretan humerus for sex identification. *Forensic Science International* 189:111.e1–111.e8
- Krogman WM, Iscan MY. 1986. *The Human Skeleton in Forensic Medicine* (2nd ed.). Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Krogman WM. 1962. *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Springfield, Illinois: Charles C. Thomas Publisher.
- Larsen CS. 1997. *Bioarcheology: Interpreting Behavior from the Human Skeleton*. New York: Cambridge University Press.
- Letterman GS. 1941. The Greater Sciatic Notch in American Whites and Negroes. *American Journal of Physical Anthropology* 28:99-117.
- Lidstone LJ. 2011. *Analysis of Sexual Dimorphism in Human Eye Orbits using Computed Tomography*. A Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies of The University of Manitoba.
- Lockwood CA, Lynch JM, Kimbel WH. 2002. Quantifying temporal bone morphology of great apes and humans: an approach using geometric morphometrics. *J Anat* 201:447–464.
- López MC, Suazo GIC, Zavando MDA, Smith RL. 2009. Sexual Dimorphism Determination by Piriform Aperture Morphometric Analysis in Brazilian Human Skulls. *Int. J. Morphol.* 27(2):327-331.
- Loth SR, Henneberg M. 1996. Mandibular ramus flexure: A New Morphologic Indicator of Sexual Dimorphism in the Human Skeleton. *Am J Phys Anthropol* 99:473-485.
- Manolis SK, Eliopoulos C, Koiliias CG, Fox SC. 2009. Sex determination using metacarpal biometric data from the Athens Collection. *Forensic Science International*, 193:130.e1–130.e6.
- Marcus LF, Corti M, Loy A, Naylor GJP and Slice D. 1996. *Advances in Morphometrics*. Nato ASI series. New York: Plenum Press.
- Marroig G, Cropp S, Cheverud JM. 2004. Systematics and evolution of the Jacchus group of marmosets (Platyrrhini). *American Journal of Physical Anthropology* 123:11-22.
- Marroig G, Cheverud JM. 2004. Did natural selection or genetic drift produce the cranial diversification of neotropical monkeys? *American Naturalist* 163:417-428.
- Mays S, Cox M. 2000. Sex determination in skeletal remains. In: Cox, M., Mays, S. (Eds.), *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*. Greenwich Medical Media, London, pp. 117–130.
- Meindl RS, Lovejoy CO, Mensforth RP, Don Carlos L. 1985. Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton: implications for paleodemography. *Am J Phys Anthropol* 68:79–85.
- Mitsea AG, Moraitis K, Leon G, Spiliopoulou C, Nicopoulou-Karayianni K. 2014. Sex determination by tooth size in a sample of Greek population. *HOMO - J. Comp. Hum. Biol.* DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jchb.2014.05.002>.

- Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M, Schaefer K, Bookstein FL. 2004. Comparison of cranial ontogenetic trajectories among great apes and humans. *J. Hum. Evol.* 46:679–698.
- Mountrakis C, Eliopoulos C, Koiliias CG, Manolis SK. 2010. Sex determination using metatarsal osteometrics from the Athens collection. *Forensic Science International*, 178.e1–178.e7.
- Nanda RS. 1955. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. *Am J Ortho* 41:658–73.
- Noren A, Lynnerup N, Czarnetzki A, Graw M. 2005. Lateral Angle: A Method for Sexing Using the Petrous Bone. *Am J Phys Anthropol* 128:318–323.
- O’Higgins P, Jones N. 1998. Facial growth in *Cercocebus torquatus*: an application of three-dimensional geometric morphometric techniques to the study of morphological variation. *J Anat* 193:251–272.
- O’Higgins P, Jones N. 2006. Morphologika2, v. 2.4. Hull York Medical School, York.
- Oettle AC, Pretorius E, Steyn M. 2005. Geometric morphometric analysis of mandibular ramus flexure. *Am. J. Phys. Anthropol.* 128:623–629.
- Olivier G. 1975. Biometry of the human occipital bone. *J. Anat.* 120, 3, pp. 507-518.
- Paiva LAS, Segre M. 2003. Sexing the human skull through the mastoid process. *Rev. Hosp. Clin. Fac. Med. S. Paulo* 58(1):15-20.
- Pearson K. 1901. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. *Phil Mag Ser* 6:559-572.
- Pellegrini A. 2009. Geometric Morphometric Craniofacial analysis of early Bronze age Austrian population. Doctoral dissertation, Wien University.
- Perez-Arjona E, Dujovny M, Park H, Kulyanov D, Galaniuk A, Agner C, Michael D, Diaz FG. 2003. Stereolithography: neurosurgical and medical implications. *Neurol Res* 25:227–236.
- Phenice T. W. 1969. A Newly Developed Visual Method of Sexing the Os Pubis. *American Journal of Physical Anthropology* 30:297-302.
- Plomp E. 2011. Literature Review : Determination of sex of juvenile skeletons.
- Pretorius E, Steyn M, Scholtz Y. 2006. Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. *Am. J. Phys. Anthropol.* 129:64–70.
- Reichs KJ. 1986. *Forensic osteology: Advances in the identification of human remains in Forensic implications of skeletal pathology: sex.* Charles C Thomas Publishers, Springfield Illinois, USA 113.
- Robling AG, Ubelaker DH. 1997. Sex estimation from the metatarsals. *J Forensic Sci* 42:1062-1069.
- Rogers TL. 2005. Determining the Sex of Human Remains Through Cranial Morphology. *Journal of Forensic Sciences* 50:493-500.
- Rohlf FJ, Slice DE. 1990. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Zoology* 39:40-59.
- Rohlf FJ, Marcus LF. 1993. A revolution in morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 129–132.
- Rohlf FJ. 1996. Morphometrics spaces, shape components and the effects of linear transformations. In: Marcus LF, Corti M, Loy A, Naylor GJP, Slice DE. (Eds.), *Advances in Morphometrics.* Plenum Press, New York, pp. 117–129.
- Rohlf FJ. 1999. Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *J. Classif.* 16: 197–223.
- Rosas A, Bastir M. 2002. Thin-Plate Spline Analysis of Allometry and Sexual Dimorphism in the Human Craniofacial Complex. *American Journal Of Physical Anthropology* 117:236 –245.

- Roseman CC. 2004. Detecting interregionally diversifying natural selection on modern human cranial form by using matched molecular and morphometric data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 101:12824-12829.
- Roseman CC, Weaver TD. 2004. Multivariate apportionment of global human craniometric diversity. *American Journal of Physical Anthropology* 125:257-263.
- Rosing FW, Graw M, Marre B, Ritz-Timme S, Rothschild MA, Rotzscher K, Schmeling A, Schroder I, Geserick G. 2007. Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. *Homo* 58:75–89.
- Ross AH, Kimmerle EH, Slice DE, Falsetti AB. 2006. What matters—size or shape? Three dimensional analysis of craniofacial sexual variation among American populations [published abstract]. *American Academy of Forensic Sciences*, WA 12:279.
- Ross AH, McKeown AH, Konigsberg LW. 1999. Allocation of crania to groups via the “new morphometry”. *J. Forensic Sci.* 44:584–587.
- Schaefer K, Mitteroecker P, Gunz P, Bernhard M and Bookstein FL. 2004. Craniofacial sexual dimorphism patterns and allometry among extant hominids. *Annals of Anatomy* 186:471-478.
- Scheuer JL, Elkington NM. 1993. Sex determination from metacarpals and the first proximal phalanx. *J Forensic Sci* 38:769-78.
- Scheuer L, Black SM. 2004. *The Juvenile Skeleton*. Edition, illustrated. Publisher, Elsevier Academic Press, pp. 1-3.
- Schwartz JH. 1995. *Skeleton keys*. Oxford University Press.
- Shearer BM, Sholts SB, Garvin HM, Warmlander SKTS. 2012. Sexual dimorphism in human browridge volume measured from 3D models of dry crania: A new digital morphometrics approach. *Forensic Science International* 222:400.e1–400.e5.
- Singleton M. 2002. Patterns of cranial shape variation in the Papionini (Primates: Cercopithecinae). *J Hum Evol* 42:547– 578.
- Slice DE. 1998. *Morpheus et al.: software for morphometric research*. Revision 01-30-98. New York: Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- Slice DE. 2005. Modern morphometrics. In: Slice, D.E. (Ed.), *Modern Morphometrics in Physical Anthropology*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 1–45.
- Slice DE. 2007. Geometric morphometrics. *Annu. Rev. Anthropol.* 36:261–281.
- Slice DE. 2008. *Morpheus et al. Version II: Multiplatform software for morphometric analysis*. Pre-release version. Department of Scientific Computing, Florida State University, USA.
- Smith SL. 1996. Attribution of hand bones to sex and population groups. *J Forensic Sci* 41:469-477.
- Smith SL. 1997. Attribution of foot bones to sex and population groups. *J Forensic Sci.* 42:186-95.
- Snow FJ. 2004. *Geometric Morphometry Analysis of the Scapula: Implications for the Determination of Sex and Ancestry*. Ph.D. Dissertation, University of Tennessee, Knoxville.
- Steele DG. 1976. The estimation of sex on the basis of the talus and calcaneus. *Am J Phys Anthropol* 45:581-88.
- Steyn M, Iscan MY. 1998. Sexual dimorphism in the crania and mandibles of South African whites. *Forensic Sci. Int.* 98:9–16.
- Steyn M, Pretorius E, Hutten L. 2004. Geometric morphometric analysis of the greater sciatic notch in South Africans. *Homo* 54:197–206.
- Suazo GIC, Russo PP, Zavando MDA, Smith RL. 2009. Sexual Dimorphism in the Foramen Magnum Dimensions. *Int. J. Morphol.* 27(1):21-23.
- Suazo GIC, Zavando MDA, Smith RL. 2008. Accuracy of Palate Shape as sex Indicator in Human Skull with Maxillary Teeth Loss. *Int. J. Morphol.* 26(4):989-993.

- Suazo GIC, Zavando MDA, Smith RL. 2008. Sex determination using mastoid process measurements in Brazilian skulls. *Int. J. Morphol.* 26(4):941-944.
- Sumati, Patnaik VVG, Phatak A. 2012. Determination of sex from hard palate by discriminant function analysis. *International Journal of Basic and Applied Medical Sciences* ISSN: 2277-2103 (Online).
- Thompson, DAW. 1917. *On growth and form*. Cambridge: University press.
- Valeri CJ, Cole TM III, Lele S, Richtsmeier JT. 1998. Capturing data from three-dimensional surfaces using fuzzy landmarks. *Am J Phys Anthropol* 107:113–124.
- Vetter JH. 2006. Sexual dimorphism of the ilium and iliac crest: A quantitative approach. Doctoral dissertation, Kansas State University, BS.
- Viðarsdóttir US, O'Higgins P, Stringer C. 2002. A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. *J Anat* 201:211–229.
- Walker PL, Drayer FJ, Siefkin SK. 1996. Malibu human skeletal remains: a bioarchaeological analysis. Santa Barbara: Department of Anthropology, University of California—Santa Barbara.
- Walrath DE, Turner P, Bruzek J. 2004. Reliability test of the visual assessment of cranial traits for sex determination. *American Journal of Physical Anthropology*, 125:132-137.
- Weaver TD, Roseman CC, Stringer CB. 2007. Were neandertal and modern human cranial differences produced by natural selection or genetic drift? *Journal of Human Evolution* 53:135-145.
- Weiss KM. 1972. On the systematic bias in skeletal sexing. *Am J Phys Anthropol* 37:239–50.
- White TD, Black MT, Folkens PA. 2012. *Human Osteology* (3rd ed.). Publisher, Elsevier Academic Press, pp. 379-426.
- Williams BA, Rogers TL. 2006. Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination. *J. Forensic Sci.* 51:729–735.
- Williams SE. 2008. Is aging only skin deep?: assessing change in the facial bone curvature with age. Doctoral dissertation, University of Florida, Gainesville, FL.
- Wong TY, Fang JJ, Chung CH, Huang JS. 2002. Restoration of the temporal defect using laser stereolithography technique. *J Oral Maxillofac Surg* 60:1374–1376.
- Zavando MDA, Suazo GIC, Smith RL. 2009. Sexual Dimorphism Determination from the Lineal Dimensions of Skulls. *Int. J. Morphol.* 27(1):133-137.
- Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD and William LF. 2004. *Geometric Morphometrics For Biologists: A Primer*. Elsevier (USA) .
- Zorba E, Moraitis K, Manolis S. 2011. Sexual dimorphism in permanent teeth of modern Greeks. *Forensic Sci Int* 210: 74-81.
- Zorba E, Moraitis K, Eliopoulos C, Spiliopoulou C. 2012. Sex determination in modern Greeks using diagonal measurements of molar teeth. *Forensic Sci Int* 217: 19-26.
- Zorba E, Moraitis K, Spiliopoulou C. 2013. Evaluation of the accuracy of different molar teeth measurements in assessing sex. *Forensic Sci Med Pathol* 9:13-23.
- Zorba E, Vanna V, Moraitis K. 2014. Sexual dimorphism of root length in permanent teeth. *HOMO - J. Comp. Hum. Biol.* 65: 143-154.
- Βαλάκος ΣΔ, Παπαβασιλείου Σ. 2013. Εργαστηριακό Βιβλίο Φυσικής Ανθρωπολογίας του Τομέα της Φυσιολογίας Ζώων και Ανθρώπου, του Τμήματος Βιολογίας στο ΕΚΠΑ.
- Φλυτζάνης Η. 2004. Γραμμική Άλγεβρα και Εφαρμογές (τεύχος Α). Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Εκδόσεις Κ. & Π. Σμπίλιας ΑΕΒΕ “Το οικονομικό”.

Παράρτημα

Πίνακας Ι: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του κρανίου συνολικά στους άξονες τέσσερα και οχτώ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος

«Κρανίο Συνολικά» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος									
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
				Κόρυς Συνιστώσα 4	Κόρυς Συνιστώσα 8	Κόρυς Συνιστώσα 4	Κόρυς Συνιστώσα 8	Κόρυς Συνιστώσα 4	Κόρυς Συνιστώσα 8
nasion	x συνιστώσα	Left	subconchion	0.0576017722	-0.0313275351	Left	subconchion	0.0068804502	0.011690227
	y συνιστώσα			0.0137787785	0.0062639367			-0.0531785807	-0.0118397415
	z συνιστώσα			0.0322106559	-0.08339811264			0.0140423253	0.0140423253
	x συνιστώσα			0.126360278	-0.0595431356			-0.029319413	-0.060722162
glabella	y συνιστώσα	Left	ectoconchion	0.0235541735	0.0127562714	Left	ectoconchion	0.0106704633	0.0201418696
	z συνιστώσα			-0.0322855928	-0.03339676804			-0.0498437277	-0.0065738903
	x συνιστώσα			0.1072593109	0.0103410504			0.0416671515	0.07782439906
	y συνιστώσα			-0.0095434259	-0.0204459106			-0.0191981611	0.0218818866
bregma	z συνιστώσα	Left	infraorbiale	-0.078085004	0.0905134596	Left	infraorbiale	-0.0167429876	-0.0037243022
	x συνιστώσα			0.0841829458	-0.014760667			0.0125019569	0.0681289538
	y συνιστώσα			0.043140498	-0.1004897188			0.0302200684	0.006347214
	z συνιστώσα			0.016254482	0.1800540858			-0.0608964158	-0.0307215945
opisthocranion	x συνιστώσα	Left	apertion	0.0981737743	-0.0397923546	Left	apertion	-0.0010488127	0.0927517157
	y συνιστώσα			0.0471267925	-0.0749973845			0.0381141782	0.000980815
	z συνιστώσα			-0.0100808675	0.0478629794			0.0639733304	-0.0368963833
	x συνιστώσα			0.0778287852	0.0579174361			0.0304919877	-0.0095823574
opisthion	y συνιστώσα	Left	maxillonasofrontale	-0.0476925737	0.0745073877	Left	maxillonasofrontale	-0.0228992556	0.0177141119
	z συνιστώσα			0.0363844134	-0.0034866701			-0.0285623462	-0.0273496484
	x συνιστώσα			0.0731833057	0.0230083523			0.0667597475	0.045787628
	y συνιστώσα			0.0148011743	0.0494274124			0.0096073263	0.057803929
basion	z συνιστώσα	Right	foraminolaterale	0.021535129	0.0128137805	Right	foraminolaterale	0.056012177	0.0274796421
	x συνιστώσα			0.0639556682	0.0491066063			0.0428731894	0.0297731048
	y συνιστώσα			-0.0427278636	0.0340472273			-0.0147384805	0.0549131526
	z συνιστώσα			-0.0131328276	-0.019521119			0.0199331302	0.0096421787
Left foraminolaterale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion mediale	0.0234277581	0.046865948	Right	occipitocondylion mediale	0.0112959817	0.0217440457
	y συνιστώσα			-0.07167011294	0.0486107825			0.0379642086	0.0534531733
	z συνιστώσα			0.0218573253	-0.0017673838			0.1050141499	0.0179187019
	x συνιστώσα			0.0140062785	0.050336479			0.1051883373	0.1100695011
Left occipitocondylion posterior	y συνιστώσα	Left	occipitocondylion posterior	-0.0545447146	0.0392272515	Left	occipitocondylion posterior	0.0086704806	0.0218557065
	z συνιστώσα			-0.0045351744	-0.0069476398			0.0713128299	0.0646642035
	x συνιστώσα			0.1338197543	0.0529220035			0.1100808057	0.0593067914
	y συνιστώσα			-0.0746131944	0.0081318462			-0.0254678106	0.0159913975
Left occipitocondylion laterale	z συνιστώσα	Left	occipitocondylion laterale	-0.0393380889	0.0352091358	Left	occipitocondylion laterale	0.0408408174	0.0487434424
	x συνιστώσα			0.1204698056	0.0522072413			0.0351638075	0.0046046032
	y συνιστώσα			-0.071669712	-0.0096173085			-0.0053454737	0.0224380681
	z συνιστώσα			0.0236786272	0.0268422486			0.0801852856	0.0938781641
Left caroticum mediale	x συνιστώσα	Left	caroticum mediale	0.0055232076	-0.0329348333	Left	caroticum mediale	0.0199135042	-0.0022797335
	y συνιστώσα			-0.0634903036	-0.0126346077			-0.0183787084	-0.0505217002
	z συνιστώσα			0.0079764236	0.0220936555			0.0417137732	0.0944043265
	x συνιστώσα			0.0151242371	-0.0483265676			0.032714416	-0.0270986764
Left spinale	y συνιστώσα	Left	spinale	-0.0470630678	-0.0995266157	Left	spinale	-0.0412558525	-0.0499551155
	z συνιστώσα			0.0195214804	0.0745938409			0.0498071734	0.0608206205
	x συνιστώσα			0.0093727078	-0.0728055094			-0.0412182724	0.1074178734
	y συνιστώσα			-0.04097752	-0.0400346522			0.0013976521	0.0025400634
Left ovale mediale	z συνιστώσα	Left	postalverion	0.0380234483	0.0385196327	Left	postalverion	-0.0577682893	-0.1088609009
	x συνιστώσα			-0.0017546914	0.1292401187			0.0163534147	0.020831623
	y συνιστώσα			0.0780110203	0.0672689457			-0.0219783123	0.0377405204
	z συνιστώσα			-0.0282305635	0.0283966541			0.0289748057	0.0720336901
Left homion	x συνιστώσα	Left	homion	0.0408484753	0.0084400805	Left	homion	0.076092091	0.0276661275
	y συνιστώσα			-0.0345684875	-0.0055050662			0.1778246535	0.0138397046
	z συνιστώσα			0.033469951	-0.0058861431			-0.0130402358	0.1155503973
	x συνιστώσα			-0.0166213613	0.0530227337			-0.0554953662	0.0462474379
Left staphylon	y συνιστώσα	Left	staphylon	-0.0146480381	-0.0186902979	Left	staphylon	0.0563113232	-0.0526221255
	z συνιστώσα			1.3323413E-005	0.0224304787			0.0744230022	0.1193532146
	x συνιστώσα			0.0390406481	0.0234977037			-0.2067041978	0.1840372775
	y συνιστώσα			-0.0008448551	0.0203266943			0.0491680081	-0.0308958181
Left staurion	z συνιστώσα	Left	staurion	-0.0100873554	-0.0499716986	Left	staurion	0.0778053093	0.0561781135
	x συνιστώσα			-0.0058821842	0.1332010527			-0.3170535042	0.1442088541
	y συνιστώσα			0.0460339568	-0.0392672298			0.0696173995	-0.0881352068
	z συνιστώσα			-0.0662906694	-0.0293154317			0.1084743013	0.0884441838
foramen incisivum	x συνιστώσα	Left	supramasoid crest – squamous suture intersection			Right	supramasoid crest – squamous suture intersection		
	y συνιστώσα								
	z συνιστώσα								
	x συνιστώσα								

Πίνακας II: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του κρανίου συνολικά στους άξονες τέσσερα και οχτώ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος (Συνέχεια)

«Κρανίο Συνολικά» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος – Συνέχεια			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	
Μεταβλητές Κύρια Συνιστώσα 4	Κύρια Συνιστώσα 8	Μεταβλητές Κύρια Συνιστώσα 4	Κύρια Συνιστώσα 8
Left	infra-temporale	x συνιστώσα	0.0321089594
		y συνιστώσα	0.2077132702
	z συνιστώσα	y συνιστώσα	0.2131139432
Left	mastoïdale	x συνιστώσα	0.0099593578
		y συνιστώσα	0.2131139432
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0257944725
Left	asterion	x συνιστώσα	-0.0035906511
		y συνιστώσα	-0.0709961518
	z συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0755498925
Left	entomion	x συνιστώσα	0.1268000719
		y συνιστώσα	-0.0894997957
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0268300532
Left	supranastoid crest – squamous suture intersection	x συνιστώσα	0.0196715517
		y συνιστώσα	0.062530957
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0436219044
Left	crotophion	x συνιστώσα	0.0410240135
		y συνιστώσα	-0.0478511503
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.086308297
Left	landmark x	x συνιστώσα	-0.0244457519
		y συνιστώσα	-0.0260582478
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0219038519
Left	auriculare	x συνιστώσα	0.0178062062
		y συνιστώσα	-0.129506997
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.006576138
Left	coronale	x συνιστώσα	0.0391744283
		y συνιστώσα	-0.0580575931
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0339865513
Left	sphenion	x συνιστώσα	0.0232716188
		y συνιστώσα	-0.0332669812
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0467775074
Left	frontotemporale	x συνιστώσα	-0.0181746161
		y συνιστώσα	-0.106628437
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0258989033
Left	jugale	x συνιστώσα	0.0285435162
		y συνιστώσα	-0.0363027485
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.005030322
Left	frontomale temporale	x συνιστώσα	0.026267633
		y συνιστώσα	-0.0363790022
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0595670284
Left	landmark x	x συνιστώσα	0.0093322807
		y συνιστώσα	0.0076467944
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0412584791
Left	auriculare	x συνιστώσα	0.0059283453
		y συνιστώσα	-0.0304804567
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.11217245
Left	supra-temporale superior	x συνιστώσα	0.0165645632
		y συνιστώσα	0.0098550667
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0569405781
Left	jugale	x συνιστώσα	-0.0029539901
		y συνιστώσα	-0.0573087566
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0701950929
Left	frontomale inferior	x συνιστώσα	0.0408460234
		y συνιστώσα	-0.0171768621
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.004875186
Left	portion	x συνιστώσα	-0.0009119856
		y συνιστώσα	-0.0310206991
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0682965044
Left	zygomaxillare	x συνιστώσα	0.0750914569
		y συνιστώσα	-0.0132782142
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0981975484
Left	frontomale orbitale	x συνιστώσα	-0.0089576636
		y συνιστώσα	0.0103020878
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.039995514
Left	supraconchion	x συνιστώσα	0.0096240502
		y συνιστώσα	-0.0251285444
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0697969007
Left	maxillofrontale	x συνιστώσα	-0.0250971272
		y συνιστώσα	0.0736469443
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.038671654
Left	portion	x συνιστώσα	0.0050569524
		y συνιστώσα	-0.028802984
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.08622997
Left	zygomaxillare	x συνιστώσα	0.0374012884
		y συνιστώσα	-0.0291578803
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0180690018
Left	frontomale orbitale	x συνιστώσα	-0.0152144997
		y συνιστώσα	-0.0765847754
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0383302697
Left	subconchion	x συνιστώσα	0.0129585826
		y συνιστώσα	-0.080484004
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0093076052
Left	ectonchion	x συνιστώσα	0.0590526535
		y συνιστώσα	-0.0676358164
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0214318649
Left	infraorbitale	x συνιστώσα	0.0085793272
		y συνιστώσα	-0.0119695305
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0016937047
Left	apertion	x συνιστώσα	0.0087647872
		y συνιστώσα	-0.101304786
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0741139895
Left	maxillonasofrontale	x συνιστώσα	-0.035324457
		y συνιστώσα	-0.0208817241
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.014678979
Left		x συνιστώσα	0.020973309
		y συνιστώσα	0.0803433633
		z συνιστώσα	-0.0078138562
Left		x συνιστώσα	0.0403432636
		y συνιστώσα	-0.0370603604
		z συνιστώσα	-0.044526626
Left		x συνιστώσα	0.056688368
		y συνιστώσα	-0.0276466578
		z συνιστώσα	-0.0157857355

Πίνακας III: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του κρανίου συνολικά στους άξονες ένα και οχτώ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Κρανίο Συνολικό» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών
	Κύρια Συνιστώσα 1	Κύρια Συνιστώσα 8	
nasion	x συνιστώσα	0.0082339199	-0.053678279
	y συνιστώσα	-0.0124942136	-0.0018969843
	z συνιστώσα	0.0314386108	-0.0422768212
	x συνιστώσα	0.0241468196	-0.0786837644
glabella	y συνιστώσα	0.0084642212	-0.0587189348
	z συνιστώσα	0.0001815303	-0.022453249
	x συνιστώσα	0.0559404823	0.0243435904
	y συνιστώσα	0.0358671751	0.1393449841
bregma	z συνιστώσα	-0.040084092	-0.0538656752
	x συνιστώσα	0.0975445456	0.1241544185
	y συνιστώσα	0.019365191	0.002634985
	z συνιστώσα	-0.0154967922	-0.0963667147
lambda	x συνιστώσα	0.1046863969	0.1342082797
	y συνιστώσα	-0.0081413622	0.2635144045
	z συνιστώσα	-0.0398936623	-0.2249679009
	x συνιστώσα	-0.0001580964	-0.0075057874
opisthocranion	y συνιστώσα	-0.0236931622	0.0140523482
	z συνιστώσα	0.0049906251	0.0124260877
	x συνιστώσα	0.0057944472	-0.0850150186
	y συνιστώσα	0.0120918376	-0.0601558888
opisthion	z συνιστώσα	-0.0068662955	0.0725730758
	x συνιστώσα	-0.0001780753	-0.0426356381
	y συνιστώσα	0.0061213048	-0.0247195007
	z συνιστώσα	0.0038853292	0.0546196132
basion	x συνιστώσα	0.0068545672	-0.0480750175
	y συνιστώσα	0.0089287443	-0.0715319621
	z συνιστώσα	0.005388563	0.0579032493
	x συνιστώσα	-0.0185770884	-0.062601283
foraminolaterale	y συνιστώσα	-0.001465358	-0.0119555601
	z συνιστώσα	0.0039751752	0.0823891504
	x συνιστώσα	-0.0048529436	-0.0397423248
	y συνιστώσα	0.0116436246	-0.1105234806
occipitocondylion posterio	z συνιστώσα	0.018806231	0.0809548042
	x συνιστώσα	0.0140888068	-0.067293843
	y συνιστώσα	0.014552526	-0.1081030932
	z συνιστώσα	-0.026652571	0.1328908684
occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	0.0023815012	-0.0502709726
	y συνιστώσα	-0.0042814977	0.0020892725
	z συνιστώσα	0.0009843732	0.0358822504
	x συνιστώσα	0.0043286464	-0.0357508853
caroticum mediale	y συνιστώσα	-0.0026694336	0.1076984043
	z συνιστώσα	-0.0065256671	-0.0212737015
	x συνιστώσα	0.0084721376	-0.0572698567
	y συνιστώσα	-0.0111659281	0.0911356248
spinale	z συνιστώσα	0.0074793015	-0.030317616
	x συνιστώσα	-0.008699283	0.0194025538
	y συνιστώσα	0.0339311298	-0.0143962925
	z συνιστώσα	-0.0141534883	0.0123989217
ovale mediale	x συνιστώσα	0.0001541426	-0.02833484797
	y συνιστώσα	0.0068528377	0.0617940181
	z συνιστώσα	0.0069525756	-0.02535992372
	x συνιστώσα	-0.0033399871	-0.0219097726
postalverion	y συνιστώσα	0.0089274561	0.0208777237
	z συνιστώσα	4.80885E-005	-0.012587794
	x συνιστώσα	0.0206528656	-0.002144501
	y συνιστώσα	0.0028862789	0.0186956232
hormion	z συνιστώσα	0.0075576433	-0.0132938433
	x συνιστώσα	-0.0085212615	0.0206383439
	y συνιστώσα	0.0219284302	-0.0464617588
	z συνιστώσα	-0.0087229415	0.0087968631
foramen incisivum	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
Left	subconchion	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
Left	ectonchion	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Left	infraorbitale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Left	apertion	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Left	nasospinale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Left	maxillonasofrontale	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	occipitocondylion posterio	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	spinale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	ovale mediale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	postalverion	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	infratemporal	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	masstoïdale	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	asterion	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	entomion	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα
Right	supramastoid crest – squamous suture intersection	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	z συνιστώσα
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	y συνιστώσα

Πίνακας IV: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του κρανίου συνολικά στους άξονες ένα και οχτώ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη (Συνέχεια)

«Κράνιο Συνολικό» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη – Συνέχεια			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	
Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
Κύρια Συνιστώσα 1	Κύρια Συνιστώσα 8	Κύρια Συνιστώσα 1	Κύρια Συνιστώσα 8
Left	x συνιστώσα	Right	x συνιστώσα
	y συνιστώσα		y συνιστώσα
Left	infratemporal	Right	crataphion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	mastoidale	Right	coronale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	asterion	Right	sphenion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	entomion	Right	frontotemporal
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	supramastoid crest – squamous suture intersection	Right	landmark x
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	crataphion	Right	auriculare
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	coronale	Right	zygotemporal superior
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	sphenion	Right	jugale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	frontotemporal	Right	frontomalar temporal
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	landmark x	Right	porion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	auriculare	Right	zygotemporal inferior
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	zygotemporal superior	Right	zygomaxillare
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	jugale	Right	frontomalar orbitale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	frontomalar temporal	Right	supraconchion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	porion	Right	maxillofrontale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	zygotemporal inferior	Right	subconchion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	zygomaxillare	Right	ectoconchion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	frontomalar orbitale	Right	infraorbitale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	supraconchion	Right	apertion
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
Left	maxillofrontale	Right	maxillonasofrontale
	z συνιστώσα		z συνιστώσα
		Μέγεθος	

Πίνακας V: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων της βάσης του κρανίου στους άξονες εφτά και πέντε της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος

«Βάση Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος											
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών			Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		
			Κύρια Συνιστώσα 7	Κύρια Συνιστώσα 5				Κύρια Συνιστώσα 7	Κύρια Συνιστώσα		
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.2399854114	-0.006166113	Left	infraorbital	x συνιστώσα	-0.3290652459	0.1004730162		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.2652604086	0.0107381674			y συνιστώσα	-0.1023993344	-0.1222703231		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0952803821	-0.1481102021			x συνιστώσα	0.0421234811	0.0844924266		
	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0876651583	0.032181962	Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	-0.1385844244	-0.0173998173		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0376729667	-0.0113312097			y συνιστώσα	-0.0683321069	0.0575038733		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.02665964	-0.0021357701			z συνιστώσα	-0.0729430519	-0.0149007759		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0601124391	0.0074125373	Right	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	-0.1501605395	-0.0547454934		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0043401062	0.0357490065			y συνιστώσα	-0.0339151076	0.0351719448		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.090606898	-0.0615571075			z συνιστώσα	-0.0605357673	0.0082992014		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.007855924	-0.0398645442	Right	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	-0.0531876067	-0.1012296601		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.045345752	0.0097243621			y συνιστώσα	-0.0568689383	0.0006298665		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0646783992	-0.0746208077			z συνιστώσα	0.0080571898	-0.0140378784		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.095712306	-0.0371533649	Right	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	0.0783528654	0.3259409861		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0751227081	0.0369803398			y συνιστώσα	0.0973244993	0.0226469638		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0503764805	-0.0365737861			z συνιστώσα	0.0339245197	0.3738420039		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.1089597591	0.2350699567	Right	occipitocondylion anterior	x συνιστώσα	0.0277723418	0.0405465622		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0541637932	-0.2474667045			y συνιστώσα	0.1170154294	-0.152985514		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0669644754	-0.0906459936			z συνιστώσα	-0.0843078263	0.1859841438		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0856262238	0.0216868388	Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	0.0862711007	-0.0632210059		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0659721623	-0.1333809458			y συνιστώσα	-0.0417258929	0.1044952195		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.1137102202	0.0853702466			z συνιστώσα	0.0274093949	-0.0745619941		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.127666928	-0.0681195	Right	spinale	x συνιστώσα	0.1042212112	-0.0479359681		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0164273038	0.0668675765			y συνιστώσα	0.0410713444	0.0900651048		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0525381197	-0.0666609842			z συνιστώσα	-0.0963400994	-0.1905080489		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.1505293591	-0.00343326849	Right	ovale mediale	x συνιστώσα	0.1308124469	-0.0466613472		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0631771435	0.1527927979			y συνιστώσα	-0.0047842859	0.1065108542		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0283399611	-0.0518114702			z συνιστώσα	0.0021139285	-0.1213764889		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.1968204309	-0.0175619945	Right	infratemporale	x συνιστώσα	0.0644583038	-0.0257099962		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0416640348	0.1345589895			y συνιστώσα	0.0397481125	-0.0050575102		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0274084778	-0.0457855285			z συνιστώσα	-0.0614545465	-0.2053969873		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0846488833	0.150990708	Right	mastoidale	x συνιστώσα	-0.0698678447	-0.2323771542		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.1102999939	-0.0137122161			y συνιστώσα	0.0666199804	-0.1443286479		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.1244813135	-0.038165387			z συνιστώσα	-0.2448698284	0.1371417696		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0808916597	0.0411562736	Right	infratemporale	x συνιστώσα	-0.392202594	0.0076727558		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.1358775426	0.1547594553			y συνιστώσα	0.0002034659	-0.0287571816		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0236927175	0.1087476324			z συνιστώσα	0.2863587506	0.1322311026		
Left	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.1220376678	-0.201552955	Right	mastoidale	x συνιστώσα	-0.0698678447	-0.2323771542		
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.1565954045	-0.1599042693			y συνιστώσα	0.0002034659	-0.0287571816		
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0292795865	0.1207406776			z συνιστώσα	0.2863587506	0.1322311026		

Πίνακας VI: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων της βάσης του κρανίου στους άξονες ένα και οχτώ της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Βάση Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη									
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Τιμές Βαρύτητας Κόρια Συνιστώσα 1			Τιμές Βαρύτητας Κόρια Συνιστώσα 8
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Τιμές Βαρύτητας Κόρια Συνιστώσα 1			Τιμές Βαρύτητας Κόρια Συνιστώσα 8
Left	opisthion	x συνιστώσα	Left	infraorbitale	x συνιστώσα	Left	infraorbitale	x συνιστώσα	-0.0500269178
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0020794459
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.0690046178
Right	basion	x συνιστώσα	Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	-0.0005377028
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0108393993
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0409324961
Left	foraminolaterale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	-0.0121995912
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				0.0028352152
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.0384982149
Left	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	-0.0196132679
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0520481871
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.0156050333
Left	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	-0.0038579895
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0154151816
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.1791903257
Left	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion anterior	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion anterior	x συνιστώσα	-0.0610912189
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				0.033550088
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0246480924
Left	caroticum mediale	x συνιστώσα	Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	0.0265316428
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0633673874
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.0082303757
Left	spinale	x συνιστώσα	Right	ovale mediale	x συνιστώσα	Right	ovale mediale	x συνιστώσα	-0.0172334011
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0087692003
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.014018495
Left	hormion	x συνιστώσα	Right	mastoidale	x συνιστώσα	Right	mastoidale	x συνιστώσα	0.01444957
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				0.0294540184
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0157663783
Left	infratemporeale	x συνιστώσα	Right	infratemporeale	x συνιστώσα	Right	infratemporeale	x συνιστώσα	0.1633626582
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0009107505
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0141194354
Left	basion	x συνιστώσα	Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	Right	foraminolaterale	x συνιστώσα	0.0392706007
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				0.0244340372
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0128571392
Left	occipitocondylion mediale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion posterior	x συνιστώσα	0.0661616166
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0635343781
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.0710374678
Left	occipitocondylion laterale	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion anterior	x συνιστώσα	Right	occipitocondylion anterior	x συνιστώσα	0.0369517718
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0228561613
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				-0.2438855124
Left	caroticum mediale	x συνιστώσα	Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	Right	caroticum mediale	x συνιστώσα	-0.3885318516
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				-0.0537686802
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.0223256841
Left	spinale	x συνιστώσα	Right	ovale mediale	x συνιστώσα	Right	ovale mediale	x συνιστώσα	0.0223256841
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				0.0107160644
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				0.2088520212
Left	hormion	x συνιστώσα	Right	mastoidale	x συνιστώσα	Right	mastoidale	x συνιστώσα	0.9688731968
		y συνιστώσα			y συνιστώσα				
		z συνιστώσα			z συνιστώσα				

Πίνακας VII: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων της υπερώας στους άξονες δύο και έξι της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος καθώς και στους άξονες ένα και εφτά της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Ουρανίσκος» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
		Κύρια Συνιστώσα 2	Κύρια Συνιστώσα 6
Left	postalverion	x συνιστώσα	-0.179433351
		y συνιστώσα	0.032727146
		z συνιστώσα	-0.004920117
	staphylion	x συνιστώσα	0.007012887
		y συνιστώσα	-0.429538462
		z συνιστώσα	0.378477658
Right	staution	x συνιστώσα	0.081910557
		y συνιστώσα	0.67031256
		z συνιστώσα	-0.260577295
	foramen incisivum	x συνιστώσα	0.003267896
		y συνιστώσα	-0.314958176
		z συνιστώσα	-0.050996903
Right	postalverion	x συνιστώσα	0.087242011
		y συνιστώσα	0.041456932
		z συνιστώσα	-0.061983343

«Ουρανίσκος» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
		Κύρια Συνιστώσα 1	Κύρια Συνιστώσα 7
Left	postalverion	x συνιστώσα	0.1306204627
		y συνιστώσα	0.2167039861
		z συνιστώσα	-0.0243420236
	staphylion	x συνιστώσα	0.0146288364
		y συνιστώσα	-0.2458036305
		z συνιστώσα	0.1806920578
Right	staution	x συνιστώσα	0.0558565688
		y συνιστώσα	-0.1501095976
		z συνιστώσα	0.1294051475
	foramen incisivum	x συνιστώσα	-0.293728922
		y συνιστώσα	0.0925269406
		z συνιστώσα	-0.0466038016
Right	postalverion	x συνιστώσα	0.092623054
		y συνιστώσα	0.0866823013
		z συνιστώσα	-0.23915138
	Μέγεθος		0.7933520613
			-0.1180662558
			0.0162771941
			-0.0348602129
			-0.0060072884
			-0.449495813
			0.3983736169
			0.1085088187
			0.6723407834
			-0.2438784018
			-0.0289041324
			-0.277519956
			-0.0059300508
			0.0444688574
			0.038397792
			-0.1137049519
			-0.0789586725

Πίνακας VIII: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του προσωπικού κρανίου στους άξονες εφτά και πέντε της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος

«Προσωπικό Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος				
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	
	Κύρια Συνιστώσα 7	Κύρια Συνιστώσα 5		
nasion	0.0615758816	-0.0078505084	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1001862471	0.114326298	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1013888876	-0.1070498559	z συνιστώσα	z συνιστώσα
glabella	-0.0394116508	-0.0787390301	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0756728839	0.0569759908	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0117688288	-0.0490857423	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left frontotemporale	-0.1214363291	-0.1909421887	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1008053365	0.0189509191	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.1642247149	0.1491649274	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left zygotemporale superior	-0.0404692347	0.1499945604	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1511630201	-0.0663553667	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1007784455	0.0590245901	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left jugale	0.0513571926	0.1386686805	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0504477854	0.0187486864	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0990300097	0.0573707788	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left frontomale temporale	-0.1222667186	-0.0383592936	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0406696425	0.0630032453	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0445926502	0.0779151813	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left zygotemporale inferior	0.0314216263	-0.1752024985	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0172457627	-0.0909006644	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0458047191	0.0939407581	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left zygomaxillare	0.040098557	0.1380094913	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.2374026611	-0.034903489	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0964549361	0.0484103126	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left frontomale orbitale	-0.0615478658	0.0264877387	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.141294126	0.0044619375	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.1654238	0.031176503	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left supraconchion	0.0033309397	-0.0133981932	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.3298431808	0.1953696515	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1106516353	0.0602123679	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left maxillofrontale	0.0672176467	0.0035383724	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0069015046	0.1453810948	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0684801629	-0.0751949118	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left subconchion	0.0649128736	0.1240169644	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0393442049	-0.0971165084	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1204748715	-0.0664935266	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left ectoconchion	-0.0648316044	0.0571876527	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0225870731	-0.0117289747	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0741085177	0.0725540043	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left infraorbitale	0.0074194034	0.0175658305	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.1197024195	0.06794871	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0683834772	-0.0239428605	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left apertion	-0.0197202431	-0.1255466595	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0061773272	-0.0108739911	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0675754966	0.0730050157	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Left nasospinale	-0.116782958	-0.1583314389	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.003074158	-0.0082120455	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0422824237	0.015734591	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right maxillonasofrontale	0.1210592802	-0.03794448649	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0034737964	0.1785356885	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1390686545	-0.0897864671	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right frontotemporale	-0.1217218209	-0.2526822323	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0882420691	-0.2583694384	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1721653203	0.0613683886	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right zygotemporale superior	-0.1053648939	0.2876279031	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1206708968	-0.0479577407	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.1257133354	0.1369393951	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right jugale	0.0486363118	0.1098149455	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0849275285	-0.0356697748	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0091329984	-0.0036291053	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right frontomale temporale	-0.0539104293	-0.0810495621	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.042554514	-0.0350176674	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0268788761	-0.1404410102	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right zygotemporale inferior	-0.0006210246	-0.0926321206	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.0096157236	-0.0461393535	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0542148825	0.1605669433	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right zygomaxillare	0.0128082427	0.1707570807	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.145339745	-0.0477224792	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.1815524048	0.0508245214	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right frontomale orbitale	-0.0165739724	0.0067334101	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.1753219432	-0.0335322413	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.1219606676	-0.0366865887	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right supraconchion	0.0876047293	-0.038034662	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1152608409	-0.0994754512	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.3465362767	-0.2573166376	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right maxillofrontale	0.1061982245	0.0437383207	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1146142309	0.0557418251	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0150354169	-0.1231372063	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right subconchion	0.0634310072	0.1342724506	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1959044483	0.0285134031	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0555423033	0.0796303183	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right ectoconchion	-0.0545659414	-0.0048411118	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	-0.02648025	-0.1389852108	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0485685206	-0.003817289	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right infraorbitale	0.0033894005	0.033491284	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0546436383	0.0641488409	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0514511935	-0.0605774054	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right apertion	0.0051201127	-0.1097463583	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.0658081403	-0.0513321154	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	-0.0343120617	0.0036967178	z συνιστώσα	z συνιστώσα
Right maxillonasofrontale	0.1636432512	-0.0366039656	x συνιστώσα	x συνιστώσα
	0.1561876468	0.1021861833	y συνιστώσα	y συνιστώσα
	0.0278941405	-0.19437671	z συνιστώσα	z συνιστώσα

Πίνακας ΙΧ: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του προσωπικού κρανίου στους άξονες ένα και έξι της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Προσωπικό Κρανίο» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη									
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Κόρυα	
		Κόρυα	Συνιστώσα 1	Κόρυα	Συνιστώσα 6			Κόρυα	Συνιστώσα 1
Left	nasion	x συνιστώσα	0.0241445573	-0.0081856699	x συνιστώσα	Left	maxillonasofrontale	0.0151193109	-0.0398563415
		y συνιστώσα	-0.0167639923	0.113488628	y συνιστώσα			-0.0064845173	0.1812509272
		z συνιστώσα	0.0334560178	-0.1013507226	z συνιστώσα			0.0253195222	-0.0861652672
	glabella	x συνιστώσα	0.054095949	-0.0717560082	x συνιστώσα	Right	frontotemporale	-0.001594983	-0.2514447422
		y συνιστώσα	0.0381537316	0.068874828	y συνιστώσα			0.0103535245	-0.255522608
		z συνιστώσα	-0.0231597531	-0.0533136218	z συνιστώσα			0.0090562257	0.0809918827
Left	frontotemporale	x συνιστώσα	-0.0073239891	-0.1916204492	x συνιστώσα	Right	zygotemporale superior	-0.0178105444	0.2946078175
		y συνιστώσα	-0.0098153548	-0.0003593518	y συνιστώσα			-0.0143042177	-0.054566602
		z συνιστώσα	-0.013919772	0.1432356037	z συνιστώσα			0.0028221375	0.1429048534
	zygotemporale superior	x συνιστώσα	-0.0203266968	0.1540820287	x συνιστώσα	Right	jugale	-0.0253744813	0.1076622183
		y συνιστώσα	-0.0021553504	-0.0732233904	y συνιστώσα			-0.0173018582	-0.0407167643
		z συνιστώσα	0.0174600047	0.0646552511	z συνιστώσα			-0.0030459127	-0.0050805404
Left	jugale	x συνιστώσα	-0.031556451	0.1363502243	x συνιστώσα	Right	frontomolare temporale	-0.0078235077	-0.0826757634
		y συνιστώσα	0.0155894583	0.0190041149	y συνιστώσα			0.0149877844	-0.0344581746
		z συνιστώσα	0.0115448479	0.0621193911	z συνιστώσα			-0.0006054683	-0.133825222
	frontomolare temporale	x συνιστώσα	-5.6857381E-005	-0.0350745522	x συνιστώσα	Right	zygotemporale inferior	-0.0187846843	-0.0883656647
		y συνιστώσα	0.0122591732	0.0568023515	y συνιστώσα			0.0229481223	-0.0443311517
		z συνιστώσα	-0.0203603561	0.0755246138	z συνιστώσα			-0.0336087475	0.1524133712
Left	zygotemporale inferior	x συνιστώσα	-0.0092305746	-0.1717675325	x συνιστώσα	Right	zygomaxillare	0.0055306127	0.1707911515
		y συνιστώσα	0.029318055	-0.086945054	y συνιστώσα			0.0513508136	-0.0357166444
		z συνιστώσα	-0.0165924297	0.0933551268	z συνιστώσα			0.0087633354	0.0343307147
	zygomaxillare	x συνιστώσα	-0.0086539775	0.1359802694	x συνιστώσα	Right	frontomolare orbitale	-0.0021329951	0.0052784739
		y συνιστώσα	0.0103251647	-0.0157906914	y συνιστώσα			0.0264652515	-0.0256635497
		z συνιστώσα	-0.0441077332	0.0396130145	z συνιστώσα			-0.0285672592	-0.038673022
Left	frontomolare orbitale	x συνιστώσα	0.0013846375	0.0275380828	x συνιστώσα	Right	supraconchion	0.0116240645	-0.0414194736
		y συνιστώσα	0.0362271676	0.0075809713	y συνιστώσα			-0.0133356122	-0.0979893052
		z συνιστώσα	-0.0309256885	0.0237368649	z συνιστώσα			-0.0578419902	-0.2700113979
	supraconchion	x συνιστώσα	0.0252129038	-0.0113858138	x συνιστώσα	Right	maxillofrontale	0.0116266121	0.0416290504
		y συνιστώσα	0.037248504	0.2035139723	y συνιστώσα			-0.0249376728	0.0532514151
		z συνιστώσα	-0.0022995929	0.0553673093	z συνιστώσα			-0.0150801173	-0.1258783413
Left	maxillofrontale	x συνιστώσα	0.0165378303	0.0029534572	x συνιστώσα	Right	subconchion	-0.0069356553	0.1272427673
		y συνιστώσα	0.0087036193	0.1491015669	y συνιστώσα			-0.037804701	0.0125848347
		z συνιστώσα	0.0128057814	-0.0738643283	z συνιστώσα			0.0197364411	0.0739952746
	subconchion	x συνιστώσα	-0.0032373216	0.1170832455	x συνιστώσα	Right	ectoconchion	0.0009929708	-0.0054023686
		y συνιστώσα	-0.025896161	-0.0948091537	y συνιστώσα			0.0178736401	-0.1397066276
		z συνιστώσα	0.0338358347	-0.0510353639	z συνιστώσα			0.0034756657	-0.010548475
Left	ectoconchion	x συνιστώσα	-0.0024421006	0.0578307549	x συνιστώσα	Right	infraorbitale	0.0110217183	0.0366106529
		y συνιστώσα	8.9264582E-005	-0.0150025156	y συνιστώσα			-0.0312937693	0.0586897675
		z συνιστώσα	-0.014397595	0.0705249407	z συνιστώσα			0.0147703035	-0.0631082993
	infraorbitale	x συνιστώσα	0.0170549853	0.021187136	x συνιστώσα	Right	apertion	-0.0140523157	-0.1127684704
		y συνιστώσα	-0.0187270565	0.071095063	y συνιστώσα			-0.0216103671	-0.0554051218
		z συνιστώσα	0.0295425051	-0.0168804798	z συνιστώσα			0.0277549777	0.0054507754
Left	apertion	x συνιστώσα	-0.0095345785	-0.1266176443	x συνιστώσα	Right	maxillonasofrontale	0.0090532774	-0.0408438338
		y συνιστώσα	-0.0361918228	-0.0127013461	y συνιστώσα			-0.028542298	0.0981228702
		z συνιστώσα	0.0287530675	0.0763011191	z συνιστώσα			-0.0051026441	-0.196607167
	nasospinale	x συνιστώσα	-0.0163068773	-0.1576430047	x συνιστώσα			0.9770271765	0.0081888126
		y συνιστώσα	-0.0266975229	-0.0104532679	y συνιστώσα				
		z συνιστώσα	0.0305183911	0.0202188171	z συνιστώσα				
						Μέγεθος			

Πίνακας X: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων των οφθαλμών στους άξονες τέσσερα και δύο της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος καθώς και στους άξονες ένα και τέσσερα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Οφθαλμικές Κόγχες» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
		Κόρια Συνιστώσα 1	Κόρια Συνιστώσα 4
Left	x συνιστώσα	-0.0073483487	0.0555634988
	y συνιστώσα	0.0660570964	-0.2451661036
	z συνιστώσα	-0.0999906627	-0.0575965619
Left	x συνιστώσα	-0.0009765768	-0.1233222695
	y συνιστώσα	0.2945276925	0.3811983233
	z συνιστώσα	-0.2174284533	0.4272803037
Left	x συνιστώσα	0.01222892	0.0613221571
	y συνιστώσα	0.0967529526	0.1200157126
	z συνιστώσα	-0.0456250283	-0.0233398833
Left	x συνιστώσα	-0.0213408737	0.028725281
	y συνιστώσα	-0.1531470274	0.1927536863
	z συνιστώσα	0.3769573244	0.0899018006
Left	x συνιστώσα	0.0307478839	-0.0070373088
	y συνιστώσα	-0.1850722072	-0.1468932519
	z συνιστώσα	0.0996671666	-0.1038490475
Right	x συνιστώσα	-0.0137323303	0.0627715366
	y συνιστώσα	0.1073621955	0.0203954883
	z συνιστώσα	-0.0468290338	0.2189137151
Right	x συνιστώσα	-0.0329957506	-0.1479709031
	y συνιστώσα	0.2535879031	-0.370224209
	z συνιστώσα	-0.26745225	-0.4234011644
Right	x συνιστώσα	-0.0035985493	0.0627663514
	y συνιστώσα	0.0384164101	0.0363381763
	z συνιστώσα	-0.0854873218	-0.0999363505
Right	x συνιστώσα	-0.0127531019	0.0016805684
	y συνιστώσα	-0.3814917069	-0.0496094356
	z συνιστώσα	0.1088647281	-0.1762852564
Right	x συνιστώσα	0.049768727	0.0055010859
	y συνιστώσα	-0.1369933085	0.061191614
	z συνιστώσα	0.1773235306	0.1483124445
Μέγεθος		0.5088843593	-0.1677777511

«Οφθαλμικές Κόγχες» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος			
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
		Κόρια Συνιστώσα 4	Κόρια Συνιστώσα 2
Left	x συνιστώσα	-0.122252124	-0.0933480067
	y συνιστώσα	-0.3250192829	0.1950245206
	z συνιστώσα	0.1243267005	0.0101060094
Left	x συνιστώσα	-0.2056798877	0.1044624374
	y συνιστώσα	0.0316592594	0.3002375779
	z συνιστώσα	0.0351294327	0.2253286764
Left	x συνιστώσα	0.1529513952	0.0372854639
	y συνιστώσα	0.3054587346	-0.0597404645
	z συνιστώσα	-0.2074256563	0.0465518635
Left	x συνιστώσα	0.2691541726	0.0361164882
	y συνιστώσα	0.0491642685	-0.4528276761
	z συνιστώσα	-0.1296886148	-0.2862727764
Left	x συνιστώσα	-0.1014936441	-0.0810744323
	y συνιστώσα	-0.0929800767	0.036262162
	z συνιστώσα	0.1579636095	0.0538847172
Right	x συνιστώσα	-0.1071008796	-0.1007298565
	y συνιστώσα	-0.1891064473	0.0269852062
	z συνιστώσα	0.2866767779	-0.2184124981
Right	x συνιστώσα	-0.144164282	0.1181977267
	y συνιστώσα	0.0149208644	-0.1461209804
	z συνιστώσα	-0.0579840217	-0.267512559
Right	x συνιστώσα	0.1791563738	0.0279863676
	y συνιστώσα	0.2605530787	-0.0629203069
	z συνιστώσα	-0.2793642459	0.0022940023
Right	x συνιστώσα	0.2312757543	0.0631322464
	y συνιστώσα	0.2088724784	0.2400523629
	z συνιστώσα	0.0249579229	0.4914320802
Right	x συνιστώσα	-0.1518468788	-0.1120284349
	y συνιστώσα	-0.2635228741	-0.0769523997
	z συνιστώσα	0.0454080962	-0.0573995155

Πίνακας XI: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του θόλου του κρανίου στους άξονες δύο και τρία της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος

«Θόλος Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος							
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών		Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών	
		Κύρια Συνιστώσα 2	Κύρια Συνιστώσα 3			Κύρια Συνιστώσα 2	Κύρια Συνιστώσα 3
glabella	x συνιστώσα	-0.0431047755	-0.0374451379	Left	landmark x	x συνιστώσα	-0.0221183374
	y συνιστώσα	-0.0161538687	-0.071993768			y συνιστώσα	0.0403964673
	z συνιστώσα	-0.0202739494	-0.0891194293			z συνιστώσα	-0.0186665865
bregma	x συνιστώσα	0.0568941496	-0.0510904073	Left	auriculare	x συνιστώσα	-0.0287807694
	y συνιστώσα	0.0827181056	0.0348614268			y συνιστώσα	0.1065411014
	z συνιστώσα	-0.1082191751	0.0628359778			z συνιστώσα	0.0975181503
lambda	x συνιστώσα	0.4627447649	-0.2573190332	Left	porion	x συνιστώσα	-0.0195806348
	y συνιστώσα	0.0611713069	0.2064851583			y συνιστώσα	0.1045246625
	z συνιστώσα	-0.0957546956	-0.1946319702			z συνιστώσα	0.0961555034
opisthocranion	x συνιστώσα	0.5295037536	-0.1665030789	Right	infratemporale	x συνιστώσα	0.0122027466
	y συνιστώσα	0.1141268107	0.3554247942			y συνιστώσα	-0.0781870125
	z συνιστώσα	-0.0998582181	-0.2622298245			z συνιστώσα	-0.0277166824
opisthion	x συνιστώσα	0.0485729936	-0.0241483251	Right	mastoidale	x συνιστώσα	0.0135187069
	y συνιστώσα	0.0424606076	0.1573921085			y συνιστώσα	-0.0352698418
	z συνιστώσα	-0.0634688339	-0.0852650884			z συνιστώσα	-0.1085801127
basion	x συνιστώσα	0.0390699579	-0.0326555247	Right	asterion	x συνιστώσα	-0.1192276597
	y συνιστώσα	0.0547073357	0.0874638914			y συνιστώσα	-0.0877030463
	z συνιστώσα	-0.0216613685	-0.0773796154			z συνιστώσα	0.0751068911
Left infratemporale	x συνιστώσα	0.0066422712	0.0142599658	Right	entomion	x συνιστώσα	-0.0804455415
	y συνιστώσα	0.0709002921	-0.0243889655			y συνιστώσα	-0.1505032414
	z συνιστώσα	0.0617617699	-0.0318117721			z συνιστώσα	-0.0301631653
Left mastoidale	x συνιστώσα	0.0228858333	-0.0822029754	Right	supramastoid crest – squamous suture intersection	x συνιστώσα	-0.1408135636
	y συνιστώσα	0.109886342	-0.0529745385			y συνιστώσα	-0.149503275
	z συνιστώσα	0.0701410132	0.1148411221			z συνιστώσα	-0.0228280854
Left asterion	x συνιστώσα	-0.0722909185	-0.0049007535	Right	crotaphion	x συνιστώσα	-0.1087512685
	y συνιστώσα	-0.0629464712	0.0031354185			y συνιστώσα	-0.1435450087
	z συνιστώσα	0.0396593763	0.1065941122			z συνιστώσα	-0.0364674736
Left entomion	x συνιστώσα	-0.1533301752	0.1308614413	Right	coronale	x συνιστώσα	0.0567295861
	y συνιστώσα	-0.0019146233	-0.1115326836			y συνιστώσα	0.0505284968
	z συνιστώσα	0.1807807047	0.181564736			z συνιστώσα	-0.0626036615
Left supramastoid crest – squamous suture intersection	x συνιστώσα	-0.1189761923	0.0970800945	Right	sphendon	x συνιστώσα	-0.1053618938
	y συνιστώσα	0.0211076433	-0.1722858877			y συνιστώσα	-0.1009997767
	z συνιστώσα	0.1400137876	0.2264932912			z συνιστώσα	-0.0245554978
Left crotaphion	x συνιστώσα	-0.0897888755	0.0334708871	Right	frontotemporale	x συνιστώσα	-0.0477400045
	y συνιστώσα	0.0214279568	-0.0632309097			y συνιστώσα	0.0223381663
	z συνιστώσα	0.133117622	-0.0636992174			z συνιστώσα	0.0208585735
Left coronale	x συνιστώσα	0.0420712274	0.0162012144	Right	landmark x	x συνιστώσα	-0.0415342167
	y συνιστώσα	0.0373815162	0.0586749087			y συνιστώσα	0.0268086313
	z συνιστώσα	-0.0177352612	-0.0818900684			z συνιστώσα	-0.0118983133
Left sphendon	x συνιστώσα	-0.0328274581	-0.0587310479	Right	auriculare	x συνιστώσα	-0.0157502745
	y συνιστώσα	-0.00721107	-0.0069864193			y συνιστώσα	-0.0705121154
	z συνιστώσα	0.0790922847	-0.0212536817			z συνιστώσα	-0.1007896665
Left frontotemporale	x συνιστώσα	-0.0291920977	0.028981695	Right	porion	x συνιστώσα	-0.02122133
	y συνιστώσα	0.0028511458	0.0025363637			y συνιστώσα	-0.0654272389
	z συνιστώσα	-0.0262391383	-0.1037127699			z συνιστώσα	-0.0967257892

Πίνακας XII: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων του θόλου του κρανίου στους άξονες ένα και έντεκα της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Θόλος Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη				
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	
	Κύρια Συνιστώσα 1	Κύρια Συνιστώσα 11		
	0.0282043699	0.0163196464		
	0.0181552017	0.0743156546		
glabella	-0.0068955479	-0.0850077127	Left	Landmark x
	0.0541765831	-0.3689063714		
bregma	0.0231677099	-0.0241914889	Left	auriculare
	-0.0300267601	0.0712719074		
	0.1321712024	0.0433422778		
lambda	0.007084827	0.2739404384	Left	porion
	-0.0069114427	-0.2001046254		
	0.1447112411	0.0075949507		
opisthocranium	-0.0357631801	-0.2984885213	Right	infratemporale
	-0.0157156863	0.4386524181		
	0.0152376896	0.0144627722		
opisthion	-0.0457084662	0.0084954423	Right	mastoidale
	0.0183949387	-0.0477506288		
	0.0101712922	0.0544586227		
basion	-0.0126815109	0.0463268399	Right	asterion
	0.0118730367	-0.0132283624		
	-0.0039624145	0.0733346722		
infratemporale	0.0048058191	-0.0446069312	Right	entomion
	7.477821E-006	-0.0161540687		
	0.0354838787	-0.0807732125		
mastoidale	0.049555169	0.035855169	Right	supramastoid crest – squamous suture intersection
	-0.0296230123	-0.0744128164		
	-0.0334007654	-0.0060683907		
asterion	0.000685338	-0.0251459708	Right	crotaphion
	-0.0320056662	-0.0604291169		
	-0.0681651455	-0.1115499076		
entomion	0.0086825182	0.0284178248	Right	coronale
	0.0026604894	-0.0946879382		
	-0.0678440495	-0.1185130715		
supramastoid crest – squamous suture intersection	0.0236379704	-0.1135771579	Right	sphenion
	-0.0008284188	0.0607509348		
	0.0074120989	0.0958853497		
Left	-0.0253700691	-0.1005613348	Right	frontotemporale
	0.0334659728	0.092351336		
	-0.0036122856	-0.0610391805		
Left	-0.048639064	0.1051435272	Right	landmark x
	0.01546314	-0.0073059994		
	-0.00191711307	0.0509619234		
Left	-0.0097586972	-0.0678911248	Right	auriculare
	0.010318917	0.0881256948		
	0.0056920266	0.0392104519		
Left	-0.0035408156	0.0825416739	Right	porion
	-0.0081933838	-0.1704740007		
				Μέγεθος

Πίνακας XIII: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων της καμπύλης του κρανίου στους άξονες εννιά και εφτά της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο σχήματος

«Καμπύλη Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Σχήματος						
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών		Κόρια Συνιστώσα 7
	Κόρια Συνιστώσα 9	Κόρια Συνιστώσα 7		Κόρια Συνιστώσα 9	Κόρια Συνιστώσα 7	
nasion	x συνιστώσα	0.0130067385	16	x συνιστώσα	0.0310130947	0.0380399583
	y συνιστώσα	0.0407529193		y συνιστώσα	-0.0123919342	-0.0437398923
	z συνιστώσα	0.063188172		z συνιστώσα	0.1541760619	0.0299211174
1	x συνιστώσα	-0.010592911	17	x συνιστώσα	0.0611882967	0.0356298895
	y συνιστώσα	0.012704798		y συνιστώσα	0.0948228502	0.0520612462
	z συνιστώσα	0.0599920597		z συνιστώσα	0.1054520202	0.0281310075
2	x συνιστώσα	0.0234581214	18	x συνιστώσα	0.1007411825	0.0265150364
	y συνιστώσα	0.006970918		y συνιστώσα	0.1041843354	0.0938010085
	z συνιστώσα	0.0623798295		z συνιστώσα	0.0152875833	-0.0067393242
3	x συνιστώσα	0.0398538818	19	x συνιστώσα	0.1266945969	0.068041334
	y συνιστώσα	0.0118234083		y συνιστώσα	0.0805991552	0.1436104061
	z συνιστώσα	0.0654277246		z συνιστώσα	-0.0576750767	-0.0100425547
4	x συνιστώσα	0.0174430004	20	x συνιστώσα	0.1338057531	0.1121309974
	y συνιστώσα	0.0201767579		y συνιστώσα	0.064632099	0.1252687387
	z συνιστώσα	0.0188525964		z συνιστώσα	-0.0677585429	-0.0423842585
5	x συνιστώσα	-0.0295215567	21	x συνιστώσα	0.0840845863	0.111912838
	y συνιστώσα	0.0264259752		y συνιστώσα	0.0157288847	0.1210220963
	z συνιστώσα	-0.0846855659		z συνιστώσα	-0.1245075628	-0.0357320516
6	x συνιστώσα	-0.065167908	22	x συνιστώσα	0.0168320052	0.0950825144
	y συνιστώσα	0.0962457291		y συνιστώσα	-0.0108965878	0.0666937246
	z συνιστώσα	-0.1231517428		z συνιστώσα	-0.1121705365	-0.0963234612
7	x συνιστώσα	-0.0742158686	23	x συνιστώσα	-0.0665730897	0.1059085301
	y συνιστώσα	0.1608309316		y συνιστώσα	0.0283611143	0.071033659
	z συνιστώσα	-0.1002230837		z συνιστώσα	-0.0783769001	-0.0990600746
8	x συνιστώσα	-0.0612738013	24	x συνιστώσα	-0.1346939385	0.1398356253
	y συνιστώσα	0.1724942638		y συνιστώσα	0.0620957506	0.0692587078
	z συνιστώσα	-0.0755064716		z συνιστώσα	-0.0470829054	-0.0918702239
9	x συνιστώσα	-0.052208716	25	x συνιστώσα	-0.1909558596	0.1450974774
	y συνιστώσα	0.0664440378		y συνιστώσα	0.1473525712	0.0550009007
	z συνιστώσα	-0.1196717935		z συνιστώσα	0.0521406856	-0.1014636077
10	x συνιστώσα	-0.0342291695	26	x συνιστώσα	-0.1980993769	0.0905942949
	y συνιστώσα	-0.0276576349		y συνιστώσα	0.1674388605	0.0255538103
	z συνιστώσα	-0.05838335028		z συνιστώσα	0.1858798955	-0.1219559614
11	x συνιστώσα	-0.0226135537	27	x συνιστώσα	-0.0015410213	-0.0619526672
	y συνιστώσα	-0.1186410975		y συνιστώσα	-0.0622781611	0.1369701684
	z συνιστώσα	0.0372538198		z συνιστώσα	0.1903251777	-0.1609644992
12	x συνιστώσα	-0.0332967195	28	x συνιστώσα	0.0864778174	-0.161964454
	y συνιστώσα	-0.2298421884		y συνιστώσα	-0.176022059	0.1652674951
	z συνιστώσα	0.0515513331		z συνιστώσα	0.1129066629	-0.0762109597
13	x συνιστώσα	-0.0401072466	29	x συνιστώσα	0.1101975615	-0.2001571271
	y συνιστώσα	-0.2817012525		y συνιστώσα	-0.1081603943	-0.0735811873
	z συνιστώσα	0.0577039145		z συνιστώσα	-0.0718363827	0.0768102133
14	x συνιστώσα	-0.0422766117	30	x συνιστώσα	0.1070890817	-0.1794808683
	y συνιστώσα	-0.2152357672		y συνιστώσα	-0.0375342509	-0.1988232381
	z συνιστώσα	0.1209999126		z συνιστώσα	-0.1728660309	0.1653954542
15	x συνιστώσα	-0.0146273747	opisthion	x συνιστώσα	0.1201089752	-0.1896725777
	y συνιστώσα	-0.1156711911		y συνιστώσα	0.0159471203	-0.2160170757
	z συνιστώσα	0.1497576708		z συνιστώσα	-0.2093790786	0.2706160399

Πίνακας XIV: Τιμές βαρύτητας (loadings) για κάθε μια από τις 3 συντεταγμένες των αρχικών αναφορικών σημείων της καμπύλης του κρανίου στους άξονες ένα και τρία της ανάλυσης κύριων συνιστωσών στο γεωμετρικό χώρο μορφής Προκρούστη

«Καμπύλη Κρανίου» Γεωμετρικός Χώρος Μορφής Προκρούστη				
Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών	Μεταβλητές Κύριων Συνιστωσών			Τιμές Βαρύτητας Μεταβλητών
	Κόρια Συνιστώσα 1	Κόρια Συνιστώσα 2	Κόρια Συνιστώσα 3	
nasion	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0922897636	16
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0206740683	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.001729024	
1	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0079318727	17
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0176602751	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0020827971	
2	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0157329635	18
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.012633889	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.001928176	
3	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0192623634	19
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0072311766	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0093651553	
4	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0255384161	20
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.004275364	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0163057402	
5	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0341866664	21
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0158274123	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0093785996	
6	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0383236458	22
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0089980795	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0206871318	
7	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0301079385	23
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0117175729	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0223471913	
8	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0144805395	24
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0112832886	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0217269576	
9	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.004981522	25
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0072735403	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0199126747	
10	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0155495351	26
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0003054887	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0231401675	
11	x συνιστώσα	x συνιστώσα	-0.0041088509	27
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0212627105	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	-0.0234993463	
12	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0017425021	28
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	0.0039067391	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0086658589	
13	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0100794469	29
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.031292649	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0398200349	
14	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0217190263	30
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0699755867	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0620412358	
15	x συνιστώσα	x συνιστώσα	0.0204249099	opisthion
	y συνιστώσα	y συνιστώσα	-0.0877729018	
	z συνιστώσα	z συνιστώσα	0.0868302399	
		Μέγεθος	0.9760894694	



Sex determination by three-dimensional geometric morphometrics of the palate and cranial base

Maria-Eleni Chovalopoulou, Efstratios D. Valakos and
Sotiris K. Manolis

Department of Animal and Human Physiology, Faculty of Biology, School of Sciences, University of Athens, Panepistimiopolis, Athens, Greece
chovalopoulou.eleni@gmail.com

With 6 figures and 4 tables

Summary: The purpose of this study is to assess sexual dimorphism in the palate and base of adult crania using three-dimensional geometric morphometric methods. The study sample consisted of 176 crania of known sex (94 males, 82 females) belonging to individuals who lived during the 20th century in Greece. The three-dimensional co-ordinates of 30 ectocranial landmarks were digitized using a MicroScribe 3DX contact digitizer. Generalized Procrustes Analysis (GPA) was used to obtain size and shape variables for statistical analysis. Three discriminant function analyses were carried out: (1) using PC scores from Procrustes shape space, (2) centroid size alone, and (3) PC scores of GPA residuals which includes InCS for analysis in Procrustes form space. Results indicate that there are shape differences between sexes. In males, the palate is deepest and more elongated; the cranial base is shortened. Sex-specific shape differences for the cross-validated data give better classification results in the cranial base (77.2 %) compared with the palate (68.9 %). Size alone yielded better results for cranial base (82 %) in opposition to palate (63.1 %). As anticipated, the classification accuracy improves when both size and shape are combined (90.4 % for cranial base, and 74.8 % for palate).

Key words: Sexual dimorphism, Microscribe digitizer, shape analysis, cranial regions, Athens Collection, Greece.

Introduction

Determining sex is an important feature of establishing the biological profile of an unidentified human skeleton. The pelvis produces strong evidence of sexual dimorphism through accurate criteria to predict sex (Meindl et al. 1985, Burns 1999, Bruzek & Murail 2006, Wärmländer & Sholts 2011). In the absence or severe deterioration of postcranial remains, sex is often determined by the sexually dimorphic characteristics of the skull (Novotny et al. 1993, Buikstra & Ubelaker 1994, Bass 1995, White et al. 2011). Traditional approaches to estimate sex from skeletal remains include qualitative morphological examination and morphometric methods. Qualitative morphological examination utilizes particular traits of the cranium, mandible, and the pelvis to accurately determine sex in 90 % of cases (Williams & Rogers 2006). Implementing morphological methods requires thorough training by the

examiner but still poses high subjectivity concerning the evaluation of such traits (Bookstein et al. 1985, Slice 2007).

Morphometric methods utilize dimensional measurements of skeletal remains (Hanihara 1959, Giles & Eliot 1963, Giles 1964, Birkby 1966, Henke 1974), which are then compared to calculations of known populations, the disadvantage of this method is that the geographical origin of the test specimen must also be known to find a suitable comparative sample (Franklin et al. 2005, Frutos 2005, Kemkes-Grotenthaler 2005, Barrio et al. 2006, Bidmos 2006, Gualdi-Russo 2007, Rösing et al. 2007). In the postcranial skeleton, accuracy in determining sex through morphometric methods reaches 85–90% (Meindl et al. 1985, Krogman & Iscan 1986, Mays & Cox 2000), and up to 80 % accuracy for the crania alone (Hoyme & Iscan 1989).

Three-Dimensional Geometric Morphometric Analysis (3-D GM) utilizes the shape of the crania in sex determination by excluding the factor of cranial size (Corti 1993, Slice 2007). Specifically, 3-D GM examines the skull based on 3-dimensional coordinates that correspond to particular landmarks. Advantages of this method include repeatability, leading to objective results in sex estimation by evaluating shape. Compared to traditional morphometric methods, 3-D GM produces more accurate results (about 87 %) in sex determination on cranial remains (Franklin et al. 2005, Franklin et al. 2006a, Franklin et al. 2007a).

Most frequently, 3-D GM applications are used to determine population affinity or origin (Ross et al. 1999, Buck & Vidarsdottir 2004), to determine sex (Steyn et al. 2004, Oettle et al. 2005, Pretorius et al. 2006, Ross et al. 2006, Franklin et al. 2006a, Franklin et al. 2006b, Franklin et al. 2007a, Franklin et al. 2007b, Kimmerle et al. 2008) and to estimate age at death (Braga & Treil 2007). Instead of replacing the traditional methods of sex determination, 3-D GM aims to qualitatively identify shape, describe its variability and produce an objective estimate of shape variance, while preserving all the geometrical information of the original specimen (Slice 2005).

This study investigates the application of 3-D GM on a modern Greek skeletal sample and aims to identify the subsets of cranial landmarks that can be used to accurately determine sex in this population.

Material and methods

The modern skeletal reference collection (known as the Athens Collection) is housed in the Department of Animal and Human Physiology (Faculty of Biology, National & Kapodistrian University of Athens). The collection consists of 225 skeletons. Information on the name, age at death, occupation, cause of death and place of birth of each individual in the collection is derived from death records (Eliopoulos et al. 2007). Various Greek samples have most recently been used to determine unique sex-specific morphometric methods based on crania (Kranioti et al. 2008), on humerus (Kranioti et al. 2009a, Kranioti et al. 2009b), on hip joint (Papaloukas et al. 2008), on os coxae (Steyn & Iscan 2008), on metacarpals (Manolis et al. 2009), metatarsals (Mountrakis et al. 2010), and arm bones (Charisi et al. 2011).

For the purpose of this research 176 crania of adult individuals of known sex and age at death were studied: ninety-four males (19–96 years old) and eighty-two females (22–99 years old). Individuals without any evidence of pathology were selected. According to Eliopoulos et al. (2007) individuals in the Greek sample were born in a variety of locales within the country and died between 1960 and 1996.

This study uses thirty landmarks on the outer surface of the skull, chosen on the basis of adequately illustrating the anatomy of the two regions of study (cranial base and palate). Landmarks are defined in Table 1 and are easily identified on the cranial surface, which

Table 1. List of landmarks.

**	Landmark	Abbreviation	Regions of skull where landmarks used*	Definition
1	opisthion	o	Ba	The midpoint of the posterior margin of the foramen magnum in the midsagittal plane
2	basion	ba	Ba	Lowest-midline point on the anterior margin of the foramen magnum
3 (a,b)	foramino-laterale	fol	Ba	The most lateral point on the margin of the foramen magnum
4 (a,b)	occipitocondylion mediale	meco	Ba	The most medial point on the margin of the condylus occipitalis
5 (a,b)	occipitocondylion posterior	poco	Ba	The most posterior point on the margin of the condylus occipitalis
6 (a,b)	occipitocondylion laterale	laco	Ba	The most lateral point on the margin of the condylus occipitalis
7 (a,b)	occipitocondylion anterior	antco	Ba	The most anterior point on the margin of the condylus occipitalis
8 (a,b)	caroticum mediale	cam	Ba	The most medial point of the margin of the foramen caroticum externum
9 (a,b)	spinale	spi	Ba	The most medial point on the margin of the foramen spinosum
10 (a,b)	ovale mediale	ovm	Ba	The most medial point on the margin of the foramen ovale
11	hormion	ho	Ba	Intersection of the midsagittal plane and the line where the base of vomer meets os sphenoidale
12 (a,b)	infratemporale	it	Ba	Intersection of the sut. sphenosquamosa and crista infratemporalis of the sphenoid bone
13 (a,b)	mastoidale	ms	Ba	The most inferior point on the processus mastoideus
14	infraorbitale	io	Ba	The most lateral point on the margin of the foramen infraorbitale
15 (a,b)	postalverion	poa	Pl	The most posterior point of the processus alveolaris of the maxilla
16	staphylion	sta	Pl	The point where substance/chord of posterior margin of the palate intersects the midsagittal plane
17	staurion	sr	Pl	Intersection of the sut. palatina mediana and sut. palatina transversa
18	foramen incisivum	inc	Pl	The point on the posterior margin of the foramen incisivum

* Ba – base; Pl – palate

** a – left side, b – right side

strengthens the repeatability of the technique (Rohlf 1996, Snow 2004, Bigoni et al. 2010). The absence of landmarks on the maxillary alveolar process is caused by ante-mortem tooth loss, observed in high frequencies in our sample.

Three-dimensional data were acquired with a Microscribe 3DX at each of the thirty landmarks (Immersion Cor, San Jose, California). Both hemispheres of the skull were firmly placed independently on a custom built base in order to capture all of the landmarks. On each side, four common landmarks are recorded as orientation reference, thus allowing for transposition of the two subsets of landmarks (left and right side of the cranium) into a unified 3-dimensional geometric space.

Generalized Procrustes Analysis (GPA) rescales, translates, and rotates the raw landmark coordinates in order to eliminate any non-shape variation in the sample. The centroid size for each cranium is also calculated. Results of GPA are analyzed through Principal Component Analysis (PCA) utilizing Morphologika software (O'Higgins & Jones 2006). The purpose of PCA is to simplify both the variation and covariation patterns of 3-dimensional coordinates in GPA and replace them with principal components (PCs). Principal components are linear combinations of the original variables. Because they are independent of each other, PCs are easier to interpret than the original variables (Zelditch et al. 2004). The variation among individuals of the sample is seen by a PCA scatterplot, on which the origin of the PCs represents the mean shape of the sample.

In order to examine the overall shape difference between males and females, a Goodall's F test was performed (Goodall 1991). This statistical test calculates the ratio of the Procrustes square distance between the mean values of the two groups (male – female) to the Procrustes square distance between each individual and the mean value of its group. Additionally, a permutation test ($n = 1600$) is applied to estimate the significance of the results generated by the Goodall's F test. The permutation test randomly shifts the individuals of both groups and calculates the F distribution for each new pair of groups, while comparing the F value with the result of the original groups. Simple 3D-IMP software was used to perform both Goodall's F and the permutation tests (Sheets & Mitchell 2001, IMP-Simple 3D).

The relevant shape variations are illustrated using wire-frame models and thin-plate splines (TPS). The wire-frame models were made with MorphoJ (Klingenberg 2011), while Morphologika produces TPS. Thin-plate splines accurately define the location of the landmarks of one formation onto another (Slice 2007) and are used to visually explore the deformation of shape on a Cartesian grid, and to identify the landmarks responsible for the shape differences between extreme PC values.

Three discriminant function analyses were implemented. The first uses PC scores that resulted from the PCA in the Procrustes shape space (where size is effectively removed). The second discriminant function analysis uses the centroid size to determine its relevance to sexual dimorphism. The third analysis utilizes the PC scores as calculated from the PCA in the Procrustes form space (size is incorporated into the analysis by the means of the logarithm of the centroid size). Subset methods are used to determine the optimal combination of variables, which provides a sex estimate, whereas Jackknife procedures verify cross-validated classification.

There are several underlying assumptions of discriminant function analysis. For instance, group sizes of the dependent variable should not be grossly different and should be at least five times the number of the independent variables. Moreover, each predictor variable should be normally distributed. Hence, a test of normality for each PC score used in a discriminant function analysis was carried out (Table 2).

Finally, logistic regression is applied to the optimal combination of variables to determine the correlation between independent (PCs) and dependent (sex) variables. All aforementioned statistical analyses were performed using SPSS software (PASW Statistics 18.0).

Table 2. Normality test results.

	Kolmogorov-Smirnova (Sig.)	Shapiro-Wilk (Sig.)	Kolmogorov-Smirnova (Sig.)	Shapiro-Wilk (Sig.)	Kolmogorov-Smirnova (Sig.)	Shapiro-Wilk (Sig.)
Palate – shape						
			Palate – shape		Palate – form	
PC1	.200*	0.27	CentroidSize	.200*	PC1	.200*
PC2	.200*	0.49			PC2	.200*
PC3	.200*	0.17			PC3	.200*
PC4	.200*	0.63			PC4	.200*
PC5	.200*	0.37			PC5	.200*
PC6	.200*	0.81			PC6	.200*
PC7	.200*	0.43			PC7	0.11
					PC8	.200*
Base – shape						
			Base – size		Base – form	
PC1	.200*	0.73	CentroidSize	0.03	PC1	.200*
PC2	0.07	0.5			PC2	.200*
PC3	.200*	0.85			PC3	0.06
PC4	.200*	0.94			PC4	.200*
PC5	.200*	0.31			PC5	.200*
PC6	.200*	0.77			PC6	.200*
PC7	.200*	0.97			PC7	.200*
PC8	.200*	0.88			PC8	.200*
PC9	0.1	0.16			PC9	0.07
PC10	.200*	0.53			PC10	.200*
PC11	.200*	0.61				
PC12	.200*	0.85				
PC13	.200*	0.77				
PC14	.200*	0.69				
PC15	.200*	0.95				

*. This is a lower bound of the true significance

Results

Palate

The evaluation of sexual dimorphism in the region of the palate is based on the analysis of five landmarks (Fig. 1) from a sample of 103 crania (58 male, 45 female). The Procrustes distance between male and female individuals was $d = 0.04645$ and is statistically significant ($F = 6.3487$, $df1 = 8$, $df2 = 808$, $p = 1.45 \times 10^{-6}$) by the means of a permutation test ($n = 1600$) and Goodall's F test. Ninety-nine percent of the F distribution of the permuted groups is smaller than the F resulted for the originally defined groups.

Shape analysis of the palate

Principal component analysis produced nine PCs representing the total variation in the palate region. Based on the scree plot criterion, the first seven non-zero principal components were used for sex determination as independent variables which described 99.2 % of the variation. The scree plot constitutes a biaxial graphical representation, on which PCs are rendered horizontally and their corresponding eigenvalues are represented vertically. According to the scree plot criterion the maximum number of PCs used for further analysis equals the number of the PCs after which the graph becomes horizontal (Jolliffe 2002).

Stepwise Discriminant Function Analysis (DFA) revealed optimal group separation with PC 1, 2 and 6 (Wilk's lambda = 0.810, $p < 0.0001$). The scatterplot in Fig. 2a illustrates PC 2 and PC 6 on the x- and y-axes, respectively. Principal component 2 accounts for 27.5 % of the sample's diversity, whereas PC 6 only 4.3 %. The



Fig. 1. Landmarks on the palate region.

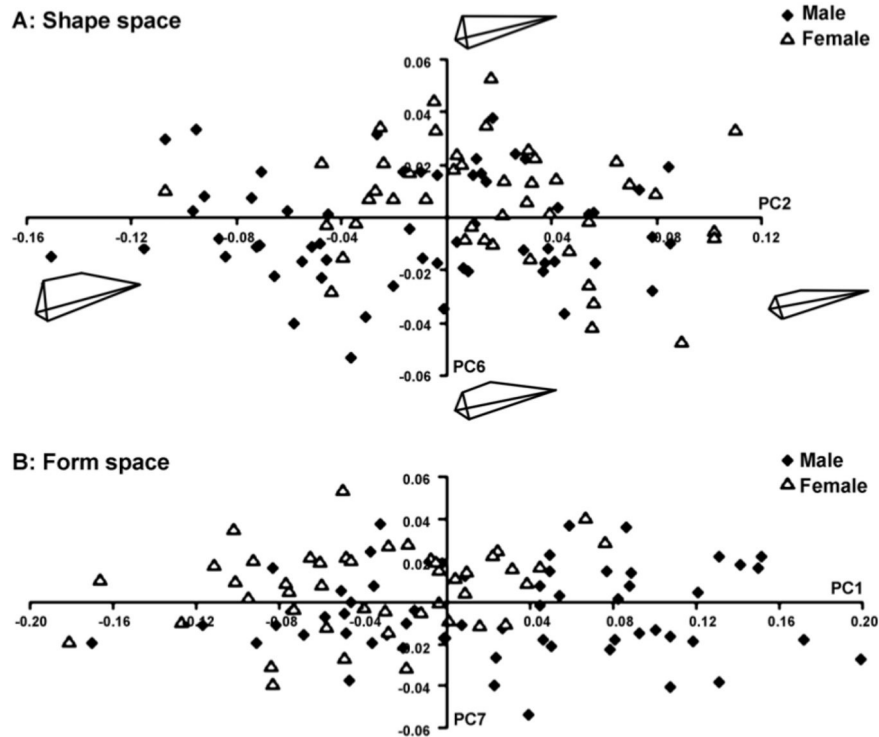


Fig. 2. Plots of principal components of PCA in palate. **A:** Shape space, **B:** Form space.

accuracy of classification of the original group was 68.9%, a result also verified by the Leave one out cross-validation procedure (which is similar to Jackknife). Logistic regression on PC 1, 2 and 6 showed 25.8% correlation between PCs and sex.

The wireframes (Fig. 3) correspond to the landmark locations of male and female individuals according to PC 2 projected on three different planes. On the right hand side of each wireframe, a lollipop graph reveals the direction of change for each individual landmark of the palate area between the female and male groups. The latter is depicted by the black dots corresponding to the relevant landmarks.

Remarkable shape differences between male and female groups were detected. Specifically, the angle formed by landmarks: left postalverion, staphylion, and right postalverion appears wider in the female group, whereas the height of this particular triangle is greater in the male group. The distance between the landmarks staphylion and staurion is smaller in females, whereas the distance between staurion and foramen incisivum is smaller in males. The angle formed by landmarks: left postalverion, foramen incisivum and right postalverion are wider in females and the height of the respective triangle is smaller compared to male individuals.

The thin-plate spline grid (Fig. 3) illustrates the variation in shape of the palate region represented by PC 2, since DFA proved that PC 2 most significantly distinguished the two sexes.

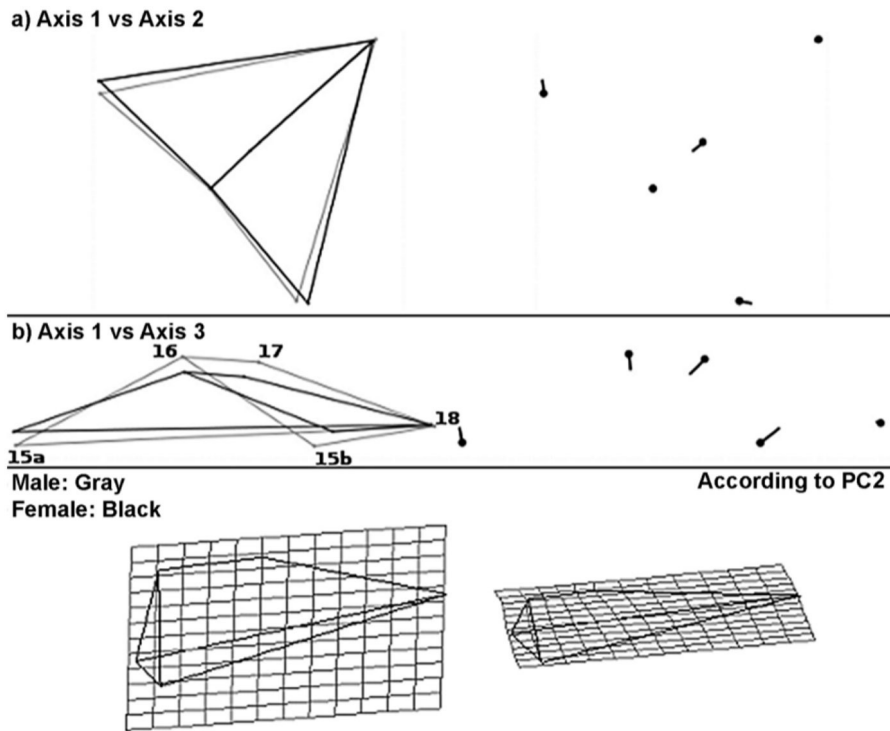


Fig. 3. Palate: wireframes, lollipop graphs and thin plate spline transformation grids.

Size analysis of the palate

Discriminant Function Analysis was applied by incorporating the centroid size for each individual in order to determine sex (Wilk's lambda = 0.842, $p < 0.0001$). The cut-off point for males was 53.8 and 39.1 for females. Accordingly, any individual with a centroid size above 53.8 was considered male, while females were identified when centroid size fell below 39.1. The accuracy of classification of the original group is 72.4 % for males and 51.1 % for females, a result that was verified by the cross-validation procedure. The weighted average accuracy for the entire sample was 63.1 % (Table 3).

Form (size and shape) analysis of the palate

Principal component analysis produced 10 PCs representing the total variation in the palate region. Based on the scree plot criterion the first eight non-zero PCs were used for sex determination as independent variables and described 99.43 % of the variation within the sample. Stepwise discriminant function analysis revealed optimal group separation with PC 1, 2 and 7 (Wilk's lambda = 0.709, $p < 0.0001$). The scatterplot in Fig. 2b illustrates PC 1 and 7 on the x and y axes respectively. Principal component 1 accounts for 39.7% of the sample's variation, whereas PC 7 only 2.9%. No clear separation was observed along the x-axis suggesting that size is not significant for sexual dimorphism in the region of the palate.

Table 3. Classification accuracy using shape, form variables and centroid size for the palate.

		Predicted group membership				
		Male		Female		Total
		N	%	N	%	%
Shape variables^a	Original group	42/58	72.4	29/45	64.4	68.9
	Cross-validated	42/58	72.4	29/45	64.4	68.9
Centroid size	Original group	42/58	72.4	23/45	51.1	63.1
	Cross-validated	42/58	72.4	23/45	51.1	63.1
Form variables^b	Original group	47/58	81.0	32/45	71.1	76.7
	Cross-validated	46/58	79.3	31/45	68.9	74.8

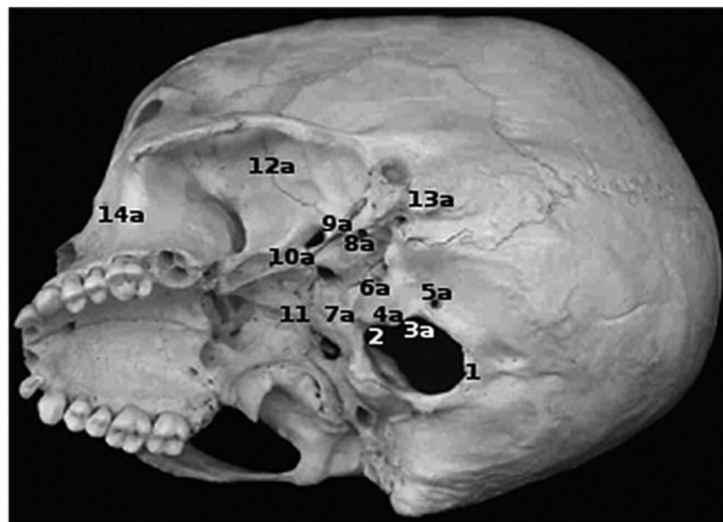
a – PC 1, 2 and 6

b – PC 1, 2 and 7

The accuracy of classification for males and females was 81% and 71.1%, respectively. The cross-validation procedure produced slightly smaller numbers (79.3%, 68.9%), although this is not considered significant. Logistic regression on PC 1, 2 and 7 showed 39.8% correlation between PCs and sex.

Cranial base

Twenty-five landmarks from a sample of 167 individuals (89 males, 78 females) were examined on the cranial base (Fig. 4) and the Procrustes distance was calculated between sexes. The Procrustes distance ($d = 0.02830$) for this particular region is statistically significant ($F = 4.7263$, $df1 = 68$, $df2 = 11220$, $p = < 1 \times 10^{-16}$), confirmed by a permutation test ($n = 1600$). Ninety-nine percent of the F distribution of the permuted groups is smaller than the F resulted from the originally defined groups.

**Fig. 4.** Landmarks on the cranial base region.

Shape analysis of the cranial base

Principal component analysis produced sixty-nine PCs representing the variation of the cranial base. Based on the scree plot criterion, the first fifteen non-zero PCs were used for sex determination as independent variables describing 73.35 % of the variation. Stepwise discriminant function analysis revealed optimal group separation with PCs 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 12 and 13 (Wilk's lambda = 0.537, $p < 0.0001$).

The scatterplot in Fig. 5a illustrates PC 5 and PC 7 on the x- and y-axes, respectively. Principal component 5 accounts for 5.7 % of the sample's variation, whereas PC 7 only 3.82 %. The accuracy of classification of the original group for males is 83.1 % and for females 74.4 %. The cross-validation procedure did not yield significant differences (82 % and 71.8 % for males and females respectively). Logistic regression on PC 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 12 and 13 showed 60.6 % correlation between PCs and sex.

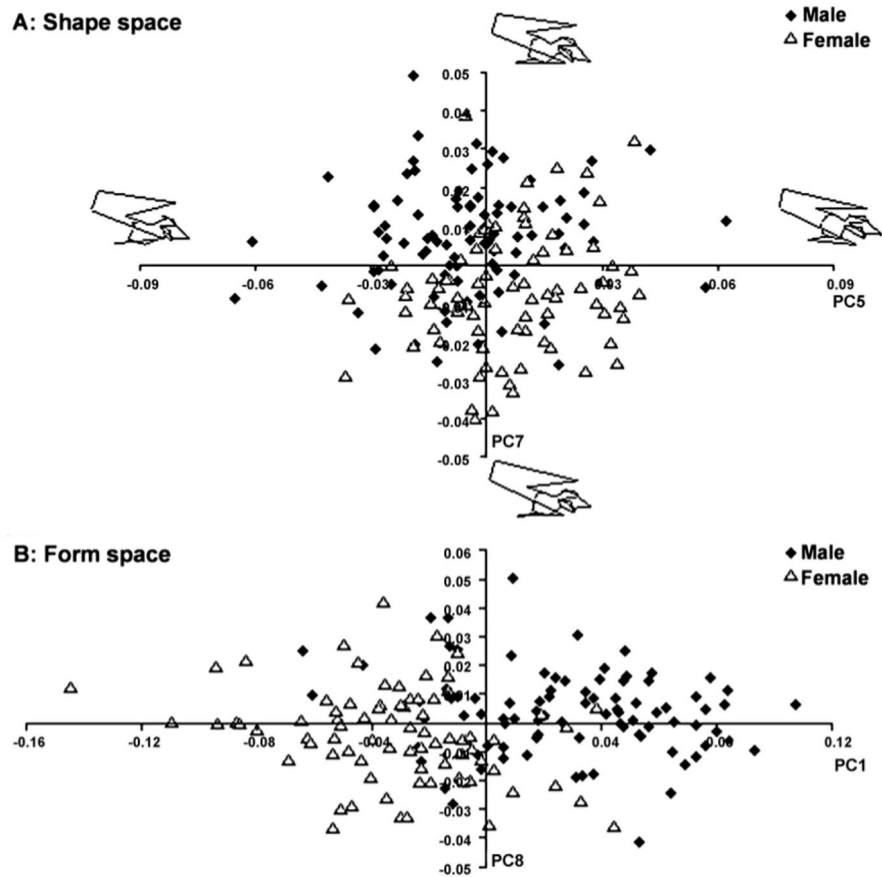


Fig. 5. Plots of principal components of PCA in cranial base.

A: Shape space,

B: Form space.

Shape differences were observed at two angles formed by particular landmarks on the cranial base (Fig. 6). The angle defined by landmarks: infraorbitale, infratemporale, and ovale mediale for both left and right sides was greater in female individuals, whereas the angle defined by landmarks: left foraminolaterale, opisthion, and right foraminolaterale was greater in males. The distance between spinale and ovale mediale on both sides of the cranium was greater in male individuals. The distances between landmarks: infraorbitale-infratemporale, as well as right-left infraorbitale were greater in female individuals. Furthermore, the occipital condyles were more elongated in males. The thin-plate spline grid shown on Fig. 6 illustrates the variation in shape of the cranial base region represented by PC 7.

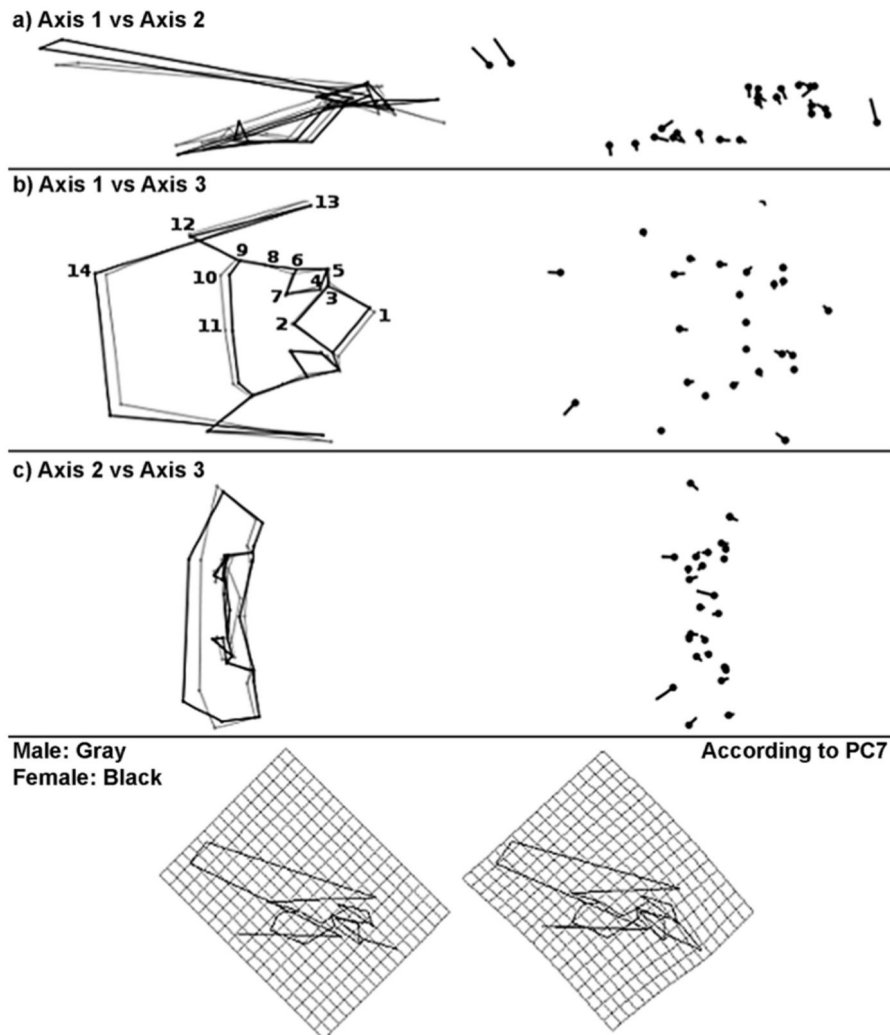


Fig. 6. Cranial base: wireframes, lollipop graphs and thin plate spline transformation grids.

Size analysis of the cranial base

Discriminant Function Analysis using centroid size was applied using the same procedure as in the palate region described above (Wilk's lambda = 0.842, $p < 0.0001$). The cut-off point for males was 208.1 and 180.1 for females. The accuracy of classification for the entire sample (both males and females) was 82 % (Table 4).

Form (size and shape) analysis of the cranial base

Principal component analysis produced seventy PCs representing the total variation of the cranial base region. Based on the scree plot criterion, the first ten non-zero PCs were used in sex determination as independent variables describing 68.7 % of the variation. Stepwise discriminant function analysis revealed optimal group separation with PC 1, 2, 3, 5, 8 and 9 (Wilk's lambda = 0.368, $p < 0.0001$). The scatterplot in Fig. 5b illustrates PC 1, which accounts for 22.66 % of the sample's variation, and PC 8, which accounts for 2.78 % of the sample's variation, on the x and y axes, respectively. Strong separation was observed along the x-axis revealing the significance of size on sexual dimorphism in the region of the cranial base. The accuracy of classification for males was 94.4 %, verified by the cross-validation procedure. The accuracy of classification for the female group was 87.2 % however a cross-validation procedure produced a slightly lower accuracy of 85.9 %. Logistic regression on PC 1, 2, 3, 5, 8 and 9 resulted in a 79.7 % correlation between PCs and sex.

Discussion

Fragmented, incomplete, scattered or burnt skeletal remains make sex determination difficult (Reichs 1986), yet anthropologists are responsible for completing the biological profile despite these difficulties. Correct sex determination depends on several factors including selecting the appropriate method, the availability of anatomical areas for inspection, as well as the significance of sexually dimorphic traits in any given population. Fragments of the pelvis, cranium, femoral head, and sternum usual-

Table 4. Classification accuracy using shape, form variables and centroid size for the cranial base.

		Predicted group membership				
		Male		Female		Total
		N	%	N	%	%
Shape variables^a	Original group	74/89	83.1	58/78	74.4	79.0
	Cross-validated	73/89	82.0	56/78	71.8	77.2
Centroid size	Original group	70/89	78.7	67/78	85.9	82.0
	Cross-validated	70/89	78.7	67/78	85.9	82.0
Form variables^b	Original group	84/89	94.4	68/78	87.2	91.0
	Cross-validated	84/89	94.4	67/78	85.9	90.4

a – PC 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 12 and 13

b – PC 1, 2, 3, 5, 8 and 9

ly lead to successful identification of sex (Kerley 1977). The study of isolated bones or particular regions of specific bones (such as the pelvis or skull) aims to identify those traits that are more reliable in determining sex accurately. The study of sexual dimorphism of particular bones relies on functional and hormonal differences between males and females (Bijlsma 1983). The results of the present study suggest that using a discrete number of morphological characteristics of the skull leads to successful identification of sex with a rather high level of accuracy.

The palate is an essential region of the cranium and consists of two palatal processes of the maxilla and two horizontal plates of the palatal bone, all of which are linked together by a suture (Williams 1995, Sicher & DuBrul 1977). The basic formation of the palatal shape is defined in early age through the process of ossification of the apophyses of the palatal bone and the maxilla.

This current research has shown that the palate is a significant sex indicator for the Greek population, which agrees with previous work (Bass 1995, Krogman & Iscan 1986, White et al. 2011). In Krogman's (1946) study of cranial characteristics, he classified the shape of the palatal bone as sexually dimorphic. Rogers (2005) classified the ratio of size to shape of the palate in the sixth place among 17 cranial morphological traits used for sex identification of unknown skeletal remains. Bigoni et al. (2010) also noted important sex related differences in the region of the palate.

During growth and development (along with changes observed in adult life) the form of the palate is subject to various changes due to continuous forces applied by the muscle of the tongue and the perioral muscles (Moorrees & Reed 1965, Raberin et al. 1993, Bishara et al. 1997). In adults, tooth loss leads to a decrease in bone mass of the alveolar apophysis, thus altering the shape of the alveolar process and the depth of the palate. These factors may affect studies using the shape of the palatal region in determining sex. In the current study, only two alveolar landmarks were employed that are common to previous studies.

Research has demonstrated that the size of the palate is a sexually dimorphic feature (Woo 1949, Larnach & Freedman 1964, Larnach & Macintosh 1966, Larnach & Macintosh 1970, Sumati & Phatak 2012). Woo (1949) studied a large diverse population of American Whites, Blacks (Negroes), Inuit (Eskimo), Native Americans (American Indians) and Central Asians (Mongolians); Larnach & Macintosh (1966, 1970) studied the Coastal New South Wales series and the Queensland series respectively. All three researchers showed that the palate is larger in males. Sumati & Phatak (2012) used metric measurements of the palate of a North-Indian population and found size classification accuracy of 70 % showing that the palate is larger in males, a trend that is supported by the current research. Suazo et al. (2008) performed shape analysis in a Brazilian population and noted an accuracy of 75.5 % in determining sex (males and females combined). The current research is significant because the results demonstrate that palatal shape plays an important role in sex determination, yielding higher rates of percent correct classification than palatal size, which agrees with previous work on this area of the cranium (Bigoni et al. 2010, Suazo et al. 2008). Burris & Harris (1998) showed that major discriminators between sexes were equally driven by arch width and arch depth, which was also observed in the current study, although Lima et al. (2012) found statistical significance only in arch depth when they examined skulls from the São Gonçalo Cemetery of Cuiabá, capital of Mato Grosso state, Brazil. One of the findings of the present study was that the combination of size and shape of the palatal region results in optimal sex classification. The variation in sex

determination results observed among different researchers is caused by either population-specific differences of pronounced dimorphism in the palate, or the use of different methods and/or landmarks for the analysis of the shape of the palatal region.

The cranial base is the most durable part of the cranium and is known to be sexually dimorphic (Holland 1986, Graw 2001). The cranial base is protected by many layers of soft tissue (Gapert et al. 2009a, Gapert et al. 2009b) and develops in early age, by about 8 years (Tillmann & Lorenz 1978). Hence, much research for profiling sexually dimorphic characteristics has been devoted to this particular region (Holland 1986, Graw 2001). Wescott & Moore-Jansen (2001) studied a sample of 389 white and 133 black adult crania (20–80 years old) from the Terry and Hamann-Todd anatomical cadaver collections and investigated the reliability of determining both sex and ancestry based on the condylar region of the occipital bone. They found an accuracy rate of 76 % where females were classified correctly more often than males. They also concluded that age does not have any apparent effect on the estimation of sexual dimorphism in the basicranium. Gapert et al. (2009a) studied 158 (82 males / 76 females) British adults from the St. Brides Church collection on the sexual dimorphism in the foramen magnum. They found that the width of the foramen magnum combined with the overall area of the foramen magnum yielded a prediction rate of 70.3 %. Males were correctly classified at 70.7 % and females at 69.7 %. During the same year they also examined the occipital condyles for sex determination. One hundred six 146 adult human skulls (75 males / 71 females) from the same collection were measured and the cross-validated classification accuracy ranged between 69.2 and 76.7 % (Gapert et al. 2009b). In the present research the percent correct classification results are much higher because we combined a greater number of cranial landmarks to determine sex, which echoes the work of Holland (1986) who also found high levels of accuracy in classifying sex (up to 91 %) using linear discriminant function analysis on nine measurements from the cranial base on 100 crania from the Terry collection.

In the Greek population, statistically significant sex-specific differences were found in the cranial base. These results are consistent with research on other populations (Franklin et al. 2006a, Bruner & Ripani 2008), even though Bigoni et al. (2010) found no statistically significance difference in sexual dimorphism of the cranial base in 139 crania of a Bohemian population.

For the Greek population, male individuals consistently yielded a higher correct-classification rate independently of either shape or form analysis. On the contrary, size analysis resulted in a higher correct classification rate for females. All previous research demonstrates the significance of sexual dimorphism in the region of the cranial base; however 3-D GM used in the present study yields higher correct-classification results compared to other morphometric techniques. Finally, the utilization of combined shape and size analysis along with the particular selection of landmarks produced remarkably high rates of sex estimation accuracy.

Conclusion

Three-dimensional geometric morphometric techniques are an alternative tool for sex determination of unknown skeletal remains. In addition to size differences that have long been identified through traditional morphometric methods, 3-D GM

allows for accurate shape comparison of skeletal features. Results of the current research demonstrate that it is possible to identify both size and shape differences between males and females in certain regions of the cranium through Discriminant Function Analysis that lead to accurate assignment of sex. The next study will examine different regions/features of the skull to classify the significance of sexually dimorphic traits in modern Greeks. For now, it is clear that 3-D GM is an important tool for determining sex in modern Greek populations in both bioarchaeological and forensic examinations.

Acknowledgements

Authors are grateful to Georgios Liras for providing with the Microscribe equipment. Special thanks to Stephanie Calce and Costa Eliopoulos for their recommendations in improving this work.

References

- Barrio, P.A., Tranco, G.J. & Sanchez, J.A. (2006): Metacarpal sexual determination in a Spanish population. – *J. Forensic Sci.* **51**, 990–995.
- Bass, W.M. (1995): *Human Osteology: A Laboratory and Field Manual*, 4th ed. – Missouri Archaeological Society, Columbia.
- Bidmos, M. (2006): Metrical and non-metrical assessment of population affinity from the calcaneus. – *Forensic Sci. Int.* **159**, 6–13.
- Bigoni, L., Velemínská, J. & Brůžek, J. (2010): Three-dimensional geometric morphometric analysis of craniofacial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **61**, 16–32.
- Bijlsma, J.W.J. (1983): Hormones and Bone: Influences of Growth Hormone, Thyroid and Gonadal Hormones on Bone Metabolism. – *Helmond Wibro*, pp. 1–143.
- Birkby, W.H. (1966): An evaluation of race and sex identification from cranial measurements. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **24**, 21–27.
- Bishara, S.E., Jakobsen, J.R., Treder, J. & Nowak, A. (1997): Arch width changes from 6 weeks to 45 years of age. – *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **111**, 401–409.
- Bookstein, F.L., Chernoff, B., Elder, R.L., Humphries, J.M., Smith, G.R. & Strauss, R.E. (1985): Morphometrics in evolutionary biology. – *Spec. Publ. Acad. Nat. Sci. Philad.* **15**, 1–277.
- Braga, J. & Treil, J. (2007): Estimation of pediatric skeletal age using geometric morphometrics and three dimensional cranial size changes. – *Int. J. Legal Med.* **121**, 439–443.
- Bruner, E. & Ripani, M. (2008): A quantitative and descriptive approach to morphological variation of the endocranial base in Modern humans. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **137**, 30–40.
- Brůžek, J. & Murail, P. (2006): Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. – In: Schmitt, A., Cunha, E. & Pinheiro, J. (eds): *Forensic Anthropology and Medicine: Complementary Sciences from Recovery to Death*. – Humana Press, Totowa, pp. 225–242.
- Buck, T.J. & Vidarsdottir, U.S. (2004): A proposed method for the identification of race in sub-adult skeletons: a geometric morphometric analysis of mandibular morphology. – *J. Forensic Sci.* **49**, 1159–1164.
- Buikstra, J.E. & Ubelaker, D.H. (1994): *Standards for data collection from human skeletal remains*. – Arkansas Archaeological Survey, Fayetteville, AK.
- Burns, K.R. (1999): *The Forensic Anthropology Training Manual*. – Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

- Burris, B.G. & Harris, E.F. (1998): Identification of race and sex from palate dimensions. – *J. Forensic Sci.* **43**, 959–963.
- Charisi, D., Eliopoulos, C., Vanna, V., Koiliias, C.G. & Manolis, S.K. (2011): Sexual Dimorphism of the Arm Bones in a Modern Greek Population. – *J. Forensic Sci.* **56**, 10–18.
- Corti, M. (1993): Geometric morphometrics: an extension of the revolution. – *Trends Ecol. Evol.* **8**, 302–303.
- Eliopoulos, C., Lagia, A. & Manolis, S. (2007): A modern, documented human skeletal collection from Greece. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **58**, 221–228.
- Franklin, D., Freedman, L. & Milne, N. (2005): Sexual dimorphism and discriminant function sexing in indigenous South African crania. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **55**, 213–228.
- Franklin, D., Freedman, L., Milne, N. & Oxnard, C.E. (2006a): A geometric morphometric study of sexual dimorphism in the crania of indigenous southern Africans. – *S. Afr. J. Sci.* **102**, 229–238.
- Franklin, D., O'Higgins, P., Oxnard, C.E. & Dadour, I. (2006b): Determination of sex in South African blacks by discriminant function analysis of mandibular linear dimensions. A preliminary investigation using the Zulu local population. – *Forensic Sci. Med. Pathol.* **2**, 263–268.
- Franklin, D., Freedman, L., Milne, N. & Oxnard, C.E. (2007a): Geometric morphometric study of population variation in indigenous Southern African crania. – *Am. J. Hum. Biol.* **19**, 20–33.
- Franklin, D., Oxnard, C.E., O'Higgins, P. & Dadour, I. (2007b): Sexual dimorphism in the subadult mandible: quantification using geometric morphometrics. – *J. Forensic Sci.* **52**, 6–10.
- Frutos, L.R. (2005): Metric determination of sex from the humerus in a Guatemalan forensic sample. – *Forensic Sci. Int.* **147**, 153–157.
- Gapert, R., Black, S. & Last, J. (2009a): Sex determination from the foramen magnum: Discriminant function analysis in an eighteenth and nineteenth century British Sample. – *Int. J. Leg. Med.* **123**, 25–33.
- Gapert, R., Black, S. & Last, J. (2009b): Sex determination from the occipital condyle: Discriminant function analysis in an Eighteenth and Nineteenth Century British sample. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **138**, 384–394.
- Giles, E. & Elliot, O. (1963): Sex determination by discriminant function analysis of crania. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **21**, 53–68.
- Giles, E. (1964): Sex determination by discriminant function analysis of the mandible. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **22**, 129–135.
- Goodall, C.R. (1991): Procrustes methods in the statistical analysis of shape (with discussion). – *J. Roy. Statist. Soc. (Ser. B)* **53**, 285–339.
- Graw, M. (2001): Morphometrische and morphognostische Geschlechtsdiagnostik an der menschlichen Schädelbasis. – In: Oehmichen, M. & Geserick, G. (eds): *Osteologische Identifikation und Altersschätzung*. – Schmidt-Römhild, Lübeck, pp. 103–121.
- Gualdi-Russo, E. (2007): Sex determination from the talus and calcaneus measurements. – *Forensic Sci. Int.* **171**, 151–156.
- Hanihara, K. (1959): Sex diagnosis of Japanese skulls by means of discriminant function. – *J. Anthropol. Soc. Nippon* **67**, 191–197.
- Henke, W. (1974): Zur Methode der diskriminanzanalytischen Geschlechtsbestimmung am Schädel. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **24**, 99–117.
- Holland, T.D. (1986): Sex determination of fragmentary crania by analysis of crania base. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **70**, 203–208.
- Hoyme, L.E. St. & Iscan, M.Y. (1989): Determination of sex and race: accuracy and assumptions. – In: Iscan, M.Y. & Kennedy, K.A.R. (eds): *Reconstruction of Life from the Skeleton*. – Alan R. Liss, New York, pp. 53–93.
- Jolliffe, I.T. (2002): *Principal Component Analysis*, 2nd ed. – Springer-Verlag, pp. 112–133.

- Kemkes-Grottenthaler, A. (2005): Sex determination by discriminant analysis: an evaluation of the reliability of patella measurements. – *Forensic Sci. Int.* **147**, 129–133.
- Kerley, E.R. (1977): Forensic anthropology. – In: Tedeschi, C.G., Eckert, W.G. & Tedeschi, L.G. (eds): *Forensic Medicine*. – WB Saunders Company, Philadelphia, pp. 1101–1115.
- Kimmerle, E.H., Ross, A. & Slice, D.E. (2008): Sexual dimorphism in America: geometric morphometric analysis of the craniofacial region. – *J. Forensic Sci.* **53**, 54–57.
- Klingenberg, C.P. (2011): MORPHOJ: an integrated software package for Geometric Morphometrics. – *Mol. Ecol. Res.* **11**, 353–357.
- Kranioti, E.F., İşcau, M.Y. & Michalodimitrakis, M. (2008): Craniometric analysis of the modern Cretan population. – *Forensic Sci. Int.* **180**, 110.e1–e5.
- Kranioti, E.F., Bastir, M., Sanchez-Meseguer, A. & Rosas, A. (2009a): A geometric-morphometric study of the Cretan humerus for sex identification. – *Forensic Sci. Int.* **189**, 111.e1–e8.
- Kranioti, E.F. & Michalodimitrakis, M. (2009b): Sexual dimorphism of the humerus in contemporary Cretans – a population-specific study and a review of the literature. – *J. Forensic Sci.* **54**, 996–1000.
- Krogman, W.M. (1946): Skeleton in Forensic medicine. – *Transact. Inst. Med. Chicago* **16**, 154–167.
- Krogman, W.M. & Iscan, M.Y. (1986): *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. – Charles C. Thomas, Springfield, IL.
- Larnach, S.L. & Freedman, L. (1964): Sex determination of aboriginal crania from Coastal New South Wales, Australia. – *Records of the Australian Museum* **26**, 295–308.
- Larnach, S.L. & Macintosh, N.W.G. (1966): The craniology of the aborigines of Coastal New South Wales. – *The Oceania Monographs* **13**, 72–73.
- Larnach, S.L. & Macintosh, N.W.G. (1970): The craniology of the aborigines of Queensland. – *The Oceania Monographs* **15**, 58–59.
- Lima, L.N.C., de Oliveira, O.F., Sassi, C., Picapedra, A., Franceschini, L. Jr. & Daruge, E. Jr. (2012): Sex Determination by Linear Measurements of Palatal Bones and Skull Base. – *JFOS* **30**, 37–44.
- Manolis, S.K., Eliopoulos, C., Koiliak, C.G. & Fox, S.C. (2009): Sex determination using metacarpal biometric data from the Athens Collection. – *Forensic Sci. Int.* **193**, 130.e1–e6.
- Mays, S. & Cox, M. (2000): Sex determination in skeletal remains. – In: Cox, M. & Mays, S. (eds): *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*. – Greenwich Medical Media, London, pp. 117–130.
- Meindl, R.S., Lovejoy, C.O., Mensford, R.S. & Don-Carlos, L. (1985): Accuracy and direction of error in the sexing of the skeleton: implication for paleodemography. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **68**, 79–85.
- Moorrees, C.F.A. & Reed, R.B. (1965): Changes in dental arch dimensions expressed on the basis of tooth eruption as a measure of biologic age. – *J. Dent. Res.* **44**, 129–141.
- Mountrakis, C., Eliopoulos, C., Koiliak, C.G. & Manolis, S.K. (2010): Sex determination using metatarsal osteometrics from the Athens collection. – *Forensic Sci. Int.* **178**, e1–e7.
- Novotny, V., Iscan, M.Y. & Loth, S.R. (1993): Morphologic and osteometric assessment of age, sex, and race from the skull. – In: Iscan, M.Y. & Helmer, R.P. (eds): *Forensic analysis of the skull*. – Wiley-Liss, New York, pp. 71–88.
- O'Higgins, P. & Jones, N. (2006): Tools for statistical shape analysis. – Hull York Medical School.
- Oettle, A.C., Pretorius, E. & Steyn, M. (2005): Geometric morphometric analysis of mandibular ramus flexure. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **128**, 623–629.
- Papaloucas, C., Fiska, A. & Demetriou, T. (2008): Sexual dimorphism of the hip joint in Greeks. – *Forensic Sci. Int.* **179**, 83.e1–e3.
- Pretorius, E., Steyn, M. & Scholtz, Y. (2006): Investigation into the usability of geometric morphometric analysis in assessment of sexual dimorphism. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **129**, 64–70.

- Raberin, M., Laumon, B., Martin, J.L. & Brunner, F. (1993): Dimensions and form of dental arches in subjects with normal occlusions. – *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.* **104**, 67–72.
- Reichs, K.J. (1986) *Forensic osteology: Advances in the identification of human remains in Forensic implications of skeletal pathology: sex.* – Charles C Thomas Publishers, Springfield Illinois, p. 113.
- Rogers, T.L. (2005): Determining the sex of human remains through cranial morphology. – *J. Forensic Sci.* **50**, 493–500.
- Rohlf, F.J. (1996): Morphometrics spaces, shape components and the effects of linear transformations. – In: Marcus, L.F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G.J.P. & Slice, D.E. (eds): *Advances in Morphometrics.* – Plenum Press, New York, pp. 117–129.
- Rösing, F.W., Graw, M., Marré, B., Ritz-Timme, S., Rothschild, M.A., Röttscher, K., Schmelting, A., Schröder, I. & Geserick, G. (2007): Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **58**, 75–89.
- Ross, A.H., Kimmerle, E.H., Slice, D.E. & Falsetti, A.B. (2006): What matters – size or shape? Three-dimensional analysis of craniofacial sexual variation among American populations [published abstract]. – *American Academy of Forensic Sciences, WA* **12**, 279.
- Ross, A.H., McKeown, A.H. & Konigsberg, L.W. (1999): Allocation of crania to groups via the “new morphometry”. – *J. Forensic Sci.* **44**, 584–587.
- Sheets, H.D. & Mitchell, C.E. (2001): Why the null matters: statistical tests, random walks and evolution. – *Genetica* **112**, 105–125.
- Sicher, H. & DuBrul, E.L. (1977): *Anatomia bucal.* 7th ed. – Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, p. 38.
- Slice, D.E. (2005): Modern morphometrics. – In: Slice, D.E. (ed.): *Modern Morphometrics in Physical Anthropology.* – Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 1–45.
- Slice, D.E. (2007): Geometric morphometrics. – *Ann. Rev. Anthropol.* **36**, 261–281.
- Snow, F.J. (2004): *Geometric Morphometric Analysis of the Scapula: Implications for the Determination of Sex and Ancestry.* – Ph.D. dissertation, University of Tennessee, Knoxville.
- Steyn, M., Pretorius, E. & Hutten, L. (2004): Geometric morphometric analysis of the greater sciatic notch in South Africans. – *Homo J. Comp. Hum. Biol.* **54**, 197–206.
- Steyn, M. & İşcau, M.Y. (2008): Metric sex determination from the pelvis in modern Greeks. – *Forensic Sci. Int.* **179**, 86.e1–e6
- Suazo, G.I.C., Zavando, M.D.A. & Smith, R.L. (2008): Sex determination using mastoid process measurements in Brazilian skulls. – *Int. J. Morphol.* **26**, 941–944.
- Sumati, P.W.G. & Phatak, A. (2012): Determination of sex from hard palate by discriminant function analysis. – *Int. J. Basic Appl. Med. Sci.* **2**, 243–251.
- Tilman, B. & Lorenz, R. (1978): The Stress at the Human Atlanto-Occipital Joint. – *Anat. Embryol.* **153**, 269–277.
- Wärmländer, S.K.T.S. & Sholts, S.B. (2011): A note on the statistics of the Suchey-Brooks method for pubic bone age estimation: implications for regional comparisons. – *Sci. Justice* **51**, 131–134.
- Wescott, D.J. & Moore-Jansen, P.H. (2001): Metric variation in the human occipital bone: forensic anthropological applications. – *J. Forensic Sci.* **46**, 1159–1163.
- White, T.D., Black, M.T. & Folkens, P.A. (2011): *Human osteology*, 3rd ed. – Academic Press, Amsterdam.
- Williams, B.A. & Rogers, T.L. (2006): Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination. – *J. Forensic Sci.* **51**, 729–735.
- Williams, P.L. (1995): *Gray’s Anatomy.* 38th ed. – Churchill Livingstone, New York.
- Woo, J.K. (1949): Direction and type of transverse palatine suture and its relation to the form of hard palate. – *Am. J. Phys. Anthropol.* **7** (NS), 385–399.

Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. & Fink, W.L. (2004): *Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer*. – Elsevier Academic Press, pp. 156–170.

Submitted: 2013-May-07;
accepted: 2013-September-09.

Address for correspondence: Maria-Eleni Chovalopoulou, BA, Department of Animal and Human Physiology, Faculty of Biology, School of Sciences, University of Athens, Panepistimiopolis, GR 157 81 Athens, Greece
chovalopoulou.eleni@gmail.com

Βιογραφικό Σημείωμα

Μαρία-Ελένη Χοβαλοπούλου
e-mail: chovalopoulou.eleni@gmail.com

ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ

- ✓ 1998: Αποφοίτηση από το Ενιαίο Πολυκλαδικό Λύκειο Νέας Φιλαδέλφειας “Μίλτος Κουντουράς”, Βαθμός 18 και 4/7 (Δεκαοχτώ και τέσσερα εβδομα)
- ✓ 2007: Αποφοίτηση από το Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, Βαθμός “Λίαν Καλώς”
- ✓ 2008-2014: Υποψήφια διδάκτωρ στο Τμήμα Βιολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών με θέμα “Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Φυλετικού Προσδιορισμού με Εφαρμογή Τριδιάστατης Γεωμετρικής Μορφομετρικής Ανάλυσης (3D Gm) σε Κρανία Σύγχρονου Ελληνικού Πληθυσμού.”

ΞΕΝΕΣ ΓΛΩΣΣΕΣ

- ✓ Αγγλικά - Proficiency Cambridge
- ✓ Γερμανικά - Zertifikat

ΓΝΩΣΕΙΣ Υ/Η

- ✓ Ικανοποιητική εξοικείωση με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και Internet
- ✓ Χειρισμός προγραμμάτων Word και Excel
- ✓ Χειρισμός προγραμμάτων λογισμικού Linux
- ✓ Ικανοποιητική εξοικείωση με το πρόγραμμα Gimp Image Editor

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δημογραφική και Παλαιοπαθολογική Ανάλυση ενός Μεσαιωνικού Πληθυσμού από την Αγία Τριάδα Θήβας, Ελλάδα.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- ✓ 2009: Μεταπτυχιακή εργασία του Τμήματος Βιολογίας, Τομέας: Γενετικής Και Βιοτεχνολογίας, του ΕΚΠΑ, Με θέμα: «Μηχανισμοί Ολίσθησης του Dna και οι συνέπειες τους (SLIPPAGE), Βαθμός:9
- ✓ 2009: Ολοκλήρωση του Μεταπτυχιακού Μαθήματος «Φυσιολογία-Ανοσολογία» του Τμήματος Βιολογίας, Τομέας: Φυσιολογίας Ζώων και Ανθρώπου, του ΕΚΠΑ

✓ 2010: Μεταπτυχιακή εργασία του Τμήματος Βιολογίας, Τομέας: Οικολογίας και Ταξινομικής, του ΕΚΠΑ, Με θέμα: «Φωτοσυνθετικοί Μικροοργανισμοί σε Ακραία Περιβάλλοντα», Βαθμός:9

✓ 2010: Ολοκλήρωση του Μεταπτυχιακού Μαθήματος «Κυτταρική Βιολογία» του Τμήματος Βιολογίας, Τομέας: Βιολογίας Κυττάρου και Βιοφυσικής, Βαθμός:8

ΣΥΝΕΔΡΙΑ

✓ 12-14/05/2005: Συμμετοχή στο 27^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών και παρουσίαση του θέματος: «Δημογραφική και Παλαιοπαθολογική Ανάλυση ενός Μεσαιωνικού Πληθυσμού από την Αγία Τριάδα Θήβας»

✓ 14-16/05/2009: Συμμετοχή στο 31^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών και παρουσίαση του θέματος: «Κρανιακός Προσδιορισμός Φύλου σε Σύγχρονο Ελληνικό Πληθυσμό: Εφαρμογή σε προϊστορικά κρανία»

✓ 14-16/05/2009: Συμμετοχή στο 31^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών και παρουσίαση του θέματος: «Βιοαρχαιολογική Μελέτη του Πρωτοελλαδικού Νεκροταφείου της Μάνικας Ευβοίας»

✓ 17-19/05/2012: Συμμετοχή στο 34^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών και παρουσίαση του θέματος: «Κρανιακός Φυλετικός Διμορφισμός στον Σύγχρονο Ελληνικό Πληθυσμό»

✓ 17-19/05/2012: Συμμετοχή στο 34^ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρίας Βιολογικών Επιστημών και παρουσίαση του θέματος: «Φυλετικός Διμορφισμός και Ανάστημα στην Αρχαία Κόρινθο»

✓ 27-29/08/2012: Συμμετοχή στο 19^ο Ευρωπαϊκό Συνέδριο Παλαιοπαθολογίας στη Γαλλία (The 19th European Meeting of the Paleopathology Association; Lille, France) και παρουσίαση του θέματος: «Μυοσκελετική Καταπόνηση του Άνω άκρου σε Ελληνικό Μυκηναϊκό Πληθυσμό» (Musculoskeletal Stress of the Upper Limb in a Mycenaean Era Greek Population)

ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

✓ 2012: Συγγραφή κεφαλαίων Εργαστηριακού Βιβλίου Φυσικής Ανθρωπολογίας του Τομέα της Φυσιολογίας Ζώων και Ανθρώπου, του Τμήματος Βιολογίας στο ΕΚΠΑ

✓ 2012-2014: Προετοιμασία μαθητών στο μάθημα της Βιολογίας για τις Πανελλήνιες Εξετάσεις

✓ 2012-2014: Σύμβαση μίσθωσης έργου για την Ερευνητική Υποστήριξη του έργου με Κωδικό Αριθμό Έρευνας Κ.Α. 70/3/11644. Τίτλος έργου «ΘΑΛΗΣ - ΕΚΠΑ – Ιερό Απόλλωνος – Παλαιοχριστιανικός Οικισμός στην Αλάρνασα της Κω. Η Διαχρονική Πορεία ενός Αρχαίου Ιερού και η Μετεξέλιξη του σε Παλαιοχριστιανικό οικισμό»

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

✓ Chovalopoulou, M.A., Valakos, E., Manolis, S. (2013). Sex Determination by Three-Dimensional Geometric Morphometrics of the Palate and Cranial Base. *Anthrop Anz J Biol Clin Anthropol*. 70(4):407–425

ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΑ

✓ Ενασχόληση με Τέχνες, όπως η μουσική και η ζωγραφική

✓ Ερασιτεχνική παραγωγή Βιοντίζελ και σαπουνιών