

## ΕΙΔΙΚΟ ΑΡΘΡΟ SPECIAL ARTICLE

# Ένας ευρωπαϊκός πολιτισμός στη Μινωική Κρήτη κατά την εποχή του χαλκού\*

Ελληνική μετάφραση – επιμέλεια:  
Μ. Μιχαλοδημητράκης, Δ. Παπαδογιάννη

Ο πρώτος προηγμένος ευρωπαϊκός πολιτισμός της Εποχής του Χαλκού εγκαθιδρύθηκε περίπου 5.000 χρόνια πριν από τους Μινωίτες. Από τότε που ο Sir Arthur Evans αποκάλυψε το μινωικό αστικό κέντρο της Κνωσού, οι αρχαιολόγοι κάνουν εικασίες σχετικά με την καταγωγή των ιδρυτών του εν λόγω πολιτισμού. Ο ίδιος ο Evans εισηγήθηκε ότι οι Μινωίτες έλκουν την καταγωγή τους από τη βόρεια Αφρική, ενώ από άλλους έχει προταθεί καταγωγή από τη Μικρά Ασία και τη Μέση Ανατολή, καθώς επίσης κυκλαδίτικη και βαλκανική καταγωγή. Για να απαντηθεί το ερώτημα της καταγωγής των Μινωιτών, διενεργήθηκε ανάλυση μιτοχονδριακού DNA από μινωικά σκελετικά υπολείμματα που βρέθηκαν σε ένα σπήλαιο με ενταφιασμούς στο οροπέδιο Λασιθίου της Κρήτης και τα οποία χρονολογούνται 4.400–3.700 χρόνια πριν. Η θεωρία του Evans για βορειοαφρικανική καταγωγή των Μινωιτών καταρρίπτεται από τα αποτελέσματα των αναλύσεων μας ως προς τους κοινούς απλότυπους, τις κύριες συνηθισμένες και τις συγκρίσεις ανά ζεύγη. Διαπιστώθηκε ότι οι Μινωίτες έχουν ισχυρότερες σχέσεις με νεολιθικούς και σύγχρονους ευρωπαϊκούς πληθυσμούς, καθώς και με τους σύγχρονους κατοίκους του οροπεδίου Λασιθίου. Τα δεδομένα μας δείχνουν ότι ο μινωικός πολιτισμός αναπτύχθηκε αυτόχθονα από τους απογόνους των, κατά τη νεολιθική εποχή, εποίκων του νησιού.

\*Δημοσίευση στο *Nature Communication* 2013, 4:1861. doi: 10.1038/ncomms2871.  
Άδεια επαναχρησιμοποίησης του άρθρου μετά μετάφρασή του στην Ελληνική γλώσσα από τον Εκδότη (License Agreement, Copyright © 2013, Right managed by Nature Publishing Group, Jun 26, 2013)

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πρώτοι νεολιθικοί άνθρωποι έφθασαν στην Κρήτη πριν από 9.000 χρόνια,<sup>1,2</sup> γεγονός που συνέπεσε χρονικά με την ανάπτυξη και την υιοθέτηση των γεωργικών πρακτικών στην Εγγύς Ανατολή και την εκτεταμένη διασπορά του νεολιθικού πληθυσμού (8.000–9.500 χρόνια πριν) που έφερε τη γεωργία στην Ευρώπη.<sup>3</sup> Οι πιο πιθανές προελεύσεις αυτών των νεολιθικών εποίκων ήταν οι πλησιέστερες ακτές, είτε η Πελοπόννησος είτε η νοτιοδυτική Ανατολία.<sup>4–6</sup> Οι συγκε-

κριμένοι άνθρωποι εγκαθίδρυσαν τον πρώτο σημαντικό ευρωπαϊκό πολιτισμό στο νησί της Κρήτης στην αρχή της Πρώιμης Εποχής του Χαλκού.<sup>7</sup> Ο Sir Arthur Evans ονόμασε τους ανθρώπους που δημιούργησαν αυτόν τον πολιτισμό «Μινωίτες» από το θρυλικό βασιλιά της Κνωσού, Μίνωα. Ο Evans επίσης πίστεψε και ισχυρίστηκε ότι οι ιδρυτές του μινωικού πολιτισμού ήταν πρόσφυγες από την περιοχή του Δέλτα της Αιγύπτου, όταν η βόρεια Αίγυπτος κατακτήθηκε από το Νότιο βασιλιά Narmer (Μήνης των αρχαίων ιστορικών) πριν από περίπου 5.000 χρόνια.<sup>7,8</sup> Οι ενδείξεις στις

ΑΡΧΕΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ 2013, 30(4):456–466  
ARCHIVES OF HELLENIC MEDICINE 2013, 30(4):456–466

J.R. Hughey,<sup>1</sup>  
Π. Πάσχου,<sup>2</sup>  
Π. Δρινέας,<sup>3</sup>  
D. Mastroiolo,<sup>4</sup>  
Δ.Μ. Λοτάκη,<sup>4</sup>  
Ρ.Α. Navas,<sup>4</sup>  
Μ. Μιχαλοδημητράκης,<sup>5</sup>  
Ι.Α. Σταματογιαννόπουλος,<sup>6</sup>  
Γ. Σταματογιαννόπουλος<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Hartnell College, Salinas, California, ΗΠΑ

<sup>2</sup>Τμήμα Μοριακής Βιολογίας και Γενετικής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Αλεξανδρούπολη

<sup>3</sup>Department of Computer Science, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, ΗΠΑ

<sup>4</sup>Division of Medical Genetics, University of Washington, Seattle, ΗΠΑ

<sup>5</sup>Εργαστήριο Ιατροδικαστικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, ΠαΓΓΝΗ Ηρακλείου Κρήτης, Ηράκλειο

<sup>6</sup>Departments of Medicine and Genome Sciences, University of Washington, Seattle, ΗΠΑ

### A European population in Minoan Bronze Age Crete

Abstract at the end of the article

### Λέξεις ευρετηρίου

Ευρωπαϊκή διασπορά  
Καταγωγή  
Μινωίτες  
Νεολιθική εποχή  
Σύγχρονοι Κρήτες

οποίες βασίστηκε ήταν οι ομοιότητες μεταξύ της μινωικής και της αιγυπτιακής τέχνης και στοιχεία που θεωρούσε ότι προέρχονταν από τη Λιβύη, όπως το κομμάτι του γάδου που φορούσαν οι Κρητικοί της Εποχής του Χαλκού και οι θολωτοί τάφοι των πρώτων κατοίκων της νότιας Κρήτης, που ήταν παρόμοιοι με τάφους Λίβυων.<sup>7,8</sup> Βασιζόμενοι σε εκτιμήσεις πάντα αρχαιολογικών ευρημάτων, άλλοι αρχαιολόγοι υπέθεσαν ότι η ανάπτυξη του μινωικού πολιτισμού βασίστηκε σε πληθυσμούς που μετανάστευσαν από τις Κυκλάδες,<sup>9</sup> την Ανατολία,<sup>9,10</sup> τη Συρία ή την Παλαιστίνη<sup>11,12</sup> και άλλοι ότι ήταν αυτόχθονη από τους γηγενείς κατοίκους της Κρήτης.<sup>13</sup> Πρόσφατες προσπάθειες διαπίστωσης της αρχαίας καταγωγής των Κρητών της Εποχής του Χαλκού βασίστηκαν σε μελέτες του Υ χρωμοσώματος ή του μιτοχονδριακού DNA των σύγχρονων κρητικών πληθυσμών και έχουν δώσει αντικρουόμενα αποτελέσματα, υποστηρίζοντας καταγωγή από τα Βαλκάνια,<sup>14</sup> την Ανατολία<sup>15</sup> ή από τη Μέση Ανατολή και τα Βαλκάνια.<sup>16</sup>

Σε αυτή τη μελέτη ασχοληθήκαμε με το ερώτημα της καταγωγής των Μινωιτών συγκρίνοντας τους πολυμορφισμούς του μιτοχονδριακού DNA των Μινωιτών με εκείνους 135 σύγχρονων και αρχαίων πληθυσμών. Μελετήσαμε σκελετικά υπολείμματα από δύο μινωικούς πληθυσμούς, έναν στην κεντρική Κρήτη και έναν στη νότια Κρήτη. Μετά από την εφαρμογή μιας σειράς αυστηρών κριτηρίων ταυτοποίησης, χρησιμοποιήσαμε για τις συγκρίσεις μας το DNA από δείγματα 37 Μινωιτών μόνο, των οποίων τα σωζόμενα υπολείμματα ήταν καλά διατηρημένα σε ένα σπήλαιο-νεκροταφείο που βρίσκεται στο οροπέδιο Λασιθίου στο ανατολικό τμήμα της κεντρικής Κρήτης. Προσδιορίσαμε τους πολυμορφισμούς του μιτοχονδριακού DNA, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές μεθόδους που εφαρμόστηκαν σε δύο διαφορετικά εργαστήρια. Οι υπολογισμοί μας σχετικά με τις γενετικές αποστάσεις, τους κοινούς απλοτύπους και την ανάλυση των κύριων συνιστωσών αποκλείουν τη βορειοαφρικανική καταγωγή των Μινωιτών. Αντ' αυτού, βρήκαμε ότι η μεγαλύτερη γενετική συγγένεια των Μινωιτών παρατηρείται με νεολιθικούς και σύγχρονους ευρωπαϊκούς πληθυσμούς. Οδηγούμαστε αναγκαία στο συμπέρασμα ότι οι Μινωίτες πρέπει, με μεγάλη πιθανότητα, να κατάγονται από το νεολιθικό πληθυσμό που μετανάστευσε στην Ευρώπη πριν από 9.000 χρόνια περίπου. Επίσης, συμπεραίνεται ότι ο μινωικός πολιτισμός πιθανότατα αναπτύχθηκε από τον αυτόχθονα πληθυσμό της Εποχής του Χαλκού στην Κρήτη.

## 2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 2.1. Οι μινωικοί πληθυσμοί

Για να απαντηθεί το ερώτημα της καταγωγής των

Μινωιτών αναλύσαμε τους πολυμορφισμούς μιτοχονδριακού DNA στο σκελετικό υλικό από δύο μινωικούς πληθυσμούς. Ο πρώτος πληθυσμός αποτελείται από σκελετικά υπολείμματα 39 ατόμων, τα οποία βρέθηκαν κατά την ανασκαφή προ-ανακτορικών θολωτών τάφων πλησίον του Μοναστηρίου της Οδηγήτριας στη νότια Κρήτη (εικ. 1). Η Οδηγήτρια βρίσκεται πλησίον του μινωικού ανακτόρου της Φαιστού, κοντά στην ακτή της νότιας-κεντρικής Κρήτης. Οι θολωτοί αυτοί τάφοι χρησιμοποιήθηκαν συνεχώς από την Πρωτομινωική περίοδο I (περίπου 4.900 χρόνια πριν) έως τη Μέση μινωική περίοδο IB (περίπου 3.900 χρόνια πριν).<sup>17</sup> Ο δεύτερος πληθυσμός αποτελείται από σκελετικά υπολείμματα 69 ατόμων από ένα σπήλαιο στο οροπέδιο Λασιθίου στην ανατολική-κεντρική Κρήτη, κοντά στο χωριό Άγιος Χαράλαμπος.<sup>18</sup> Το οροπέδιο Λασιθίου βρίσκεται στην οροσειρά της Δίκτης νοτιοανατολικά του μεγάλου μινωικού αστικού κέντρου της Κνωσού (εικ. 1). Το οροπέδιο έχει κατοικηθεί συνεχώς από την Ύστερη νεολιθική εποχή και ο πληθυσμός του έφθασε στο απόγειό του στη Μέση μινωική περίοδο II (περίπου 4.800 χρόνια πριν)<sup>19</sup> λόγω της γεωγραφίας του, το οροπέδιο πιθανόν χρησίμευε ως τόπος καταφυγής διωκόμενων.<sup>14</sup> Το σπήλαιο του Αγίου Χαράλαμπος χρησιμοποιήθηκε ως νεκροταφείο από την Ύστερη νεολιθική εποχή έως τη Μέση μινωική IIB, με πιθανότερη περίοδο απόθεσης της πλειοψηφίας των σκελετών τη Μέση μινωική IIB (περίπου 3.700 χρόνια πριν). Το σπήλαιο ήταν σφραγισμένο για αρκετούς αιώνες και ανακαλύφθηκε τυχαία κατά τη διάρκεια έργων οδοποιίας το 1976. Λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών στο εσωτερικό του σπηλαίου, τα σκελετικά υπολείμματα διατηρήθηκαν σε άριστη κατάσταση.<sup>18</sup>

### 2.2. Ταυτοποίηση των αρχαίων δειγμάτων DNA

Για την ταυτοποίηση των μοριακών αρχαιολογικών αποτελεσμάτων κρίνεται απαραίτητη η συμμόρφωση με



**Εικόνα 1.** Τοποθεσίες του σπηλαίου του Αγίου Χαράλαμπος και των θολωτών τάφων της Οδηγήτριας. Οι τάφοι της Οδηγήτριας βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή του μινωικού ανακτόρου της Φαιστού στη νότια Κρήτη. Το σπήλαιο του Αγίου Χαράλαμπος βρίσκεται στο οροπέδιο Λασιθίου στην κεντρική Κρήτη, νότια του μεγάλου μινωικού αστικού κέντρου της Κνωσού και του ανακτόρου των Μαλλίων.

τα κριτήρια μελέτης αρχαίου DNA.<sup>20</sup> Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν αυστηρά κριτήρια ταυτοποίησης. Στις δοκιμασίες ταυτοποίησης, περιλαμβανομένης και της ρακεμοποίησης, δεν ανταποκρίθηκαν τα εκχυλίσματα DNA των 39 ατόμων από τους θολωτούς τάφους της Οδηγήτριας, αποτελέσματα τα οποία υποδηλώνουν ιστορικό κακής διατήρησης. Από τους 69 Μινωίτες από το σπήλαιο του Λασιθίου, 32 εξαιρέθηκαν για διάφορους τεχνικούς λόγους, περιλαμβανομένης της απουσίας των αλληλουχιών HV5-1 στα θραύσματα του DNA που υποβλήθηκαν σε αλληλούχιση επόμενης γενιάς. Οι ταυτοποιημένες αλληλουχίες από 37 άτομα που προσδιορίστηκαν ανεξάρτητα με βάση δύο μεθοδολογίες σε δύο διαφορετικά εργαστήρια, χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις που περιγράφονται παρακάτω.

### 2.3. Συγκρίσεις των Μινωιτών με πληθυσμούς της βόρειας Αφρικής

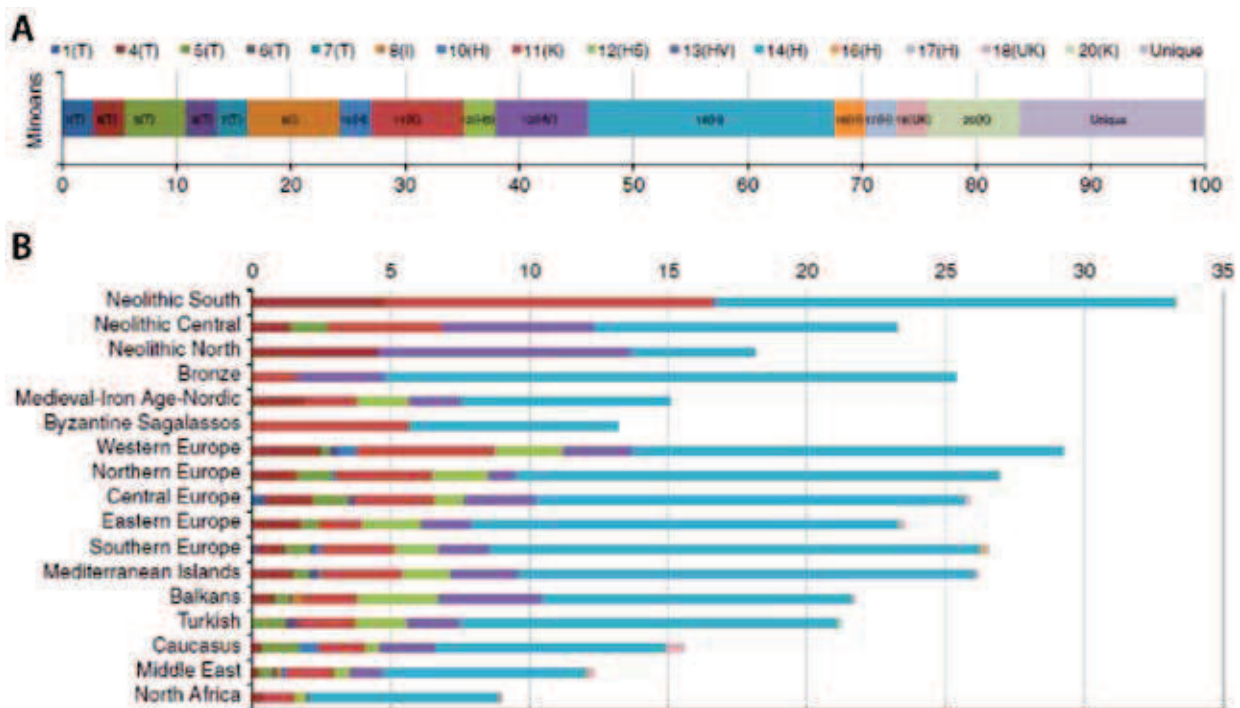
Ένα σύνολο δεδομένων που περιέχει αλληλουχίες HV5-1 των 135 σύγχρονων και αρχαίων πληθυσμών χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιηθούν συγκρίσεις με τις αλληλουχίες των Μινωιτών. Για αρκετές στατιστικές αναλύσεις, οι σύγχρονοι πληθυσμοί ομαδοποιήθηκαν σε 71 γεωγραφικές ή εθνικές ομάδες. Παρατηρήθηκαν 21 ξεχωριστοί απλότυποι μινωικού μιτοχονδριακού DNA, 6

ήταν μοναδικοί για τους Μινωίτες και 15 ήταν κοινοί με σύγχρονους και αρχαίους πληθυσμούς (εικ. 2). Κανένας από τους Μινωίτες δεν έφερε τους χαρακτηριστικούς για το αφρικανικό μιτοχονδριακό DNA απλότυπους της L απλοομάδας. Επί πλέον, οι υπολογισμοί των μέσων γενετικών αποστάσεων ανά ζεύγη δείχνουν τη μεγάλη γενετική απόσταση μεταξύ των Μινωιτών και των Αιγυπτίων, των Λίβυων και των άλλων πληθυσμών της βόρειας Αφρικής (πίν. 1). Η εικόνα 3Α δείχνει γραφικά με τη μορφή χαρτών

**Πίνακας 1.** Οι 10 πλησιέστεροι και οι 10 πιο απομακρυσμένοι γείτονες των Μινωιτών.

Top 10 nearest neighbours to Minoans	Pairwise differences	Bottom 10 nearest neighbours to the Minoans	Pairwise differences
Sardinians-Bronze	2.89	Iranian	5.46
Iberians-Bronze	3.29	Libyan	5.50
Portuguese	3.85	Tunisia Coast	5.70
Neolithic-Scand	3.90	Egypt-Alexandria	5.73
German	3.97	Dubai	5.76
Corsican	3.98	Saudi	5.92
Neolithic-Treilles	4.00	Yemenite	6.21
Irish	4.05	Egypt	7.04
Catalan	4.06	Nubia	7.09
French	4.12	South Sudanese	7.82

Pairwise genetic distances between Minoans and modern or ancient populations calculated using Arlequin v3.5.1.2.

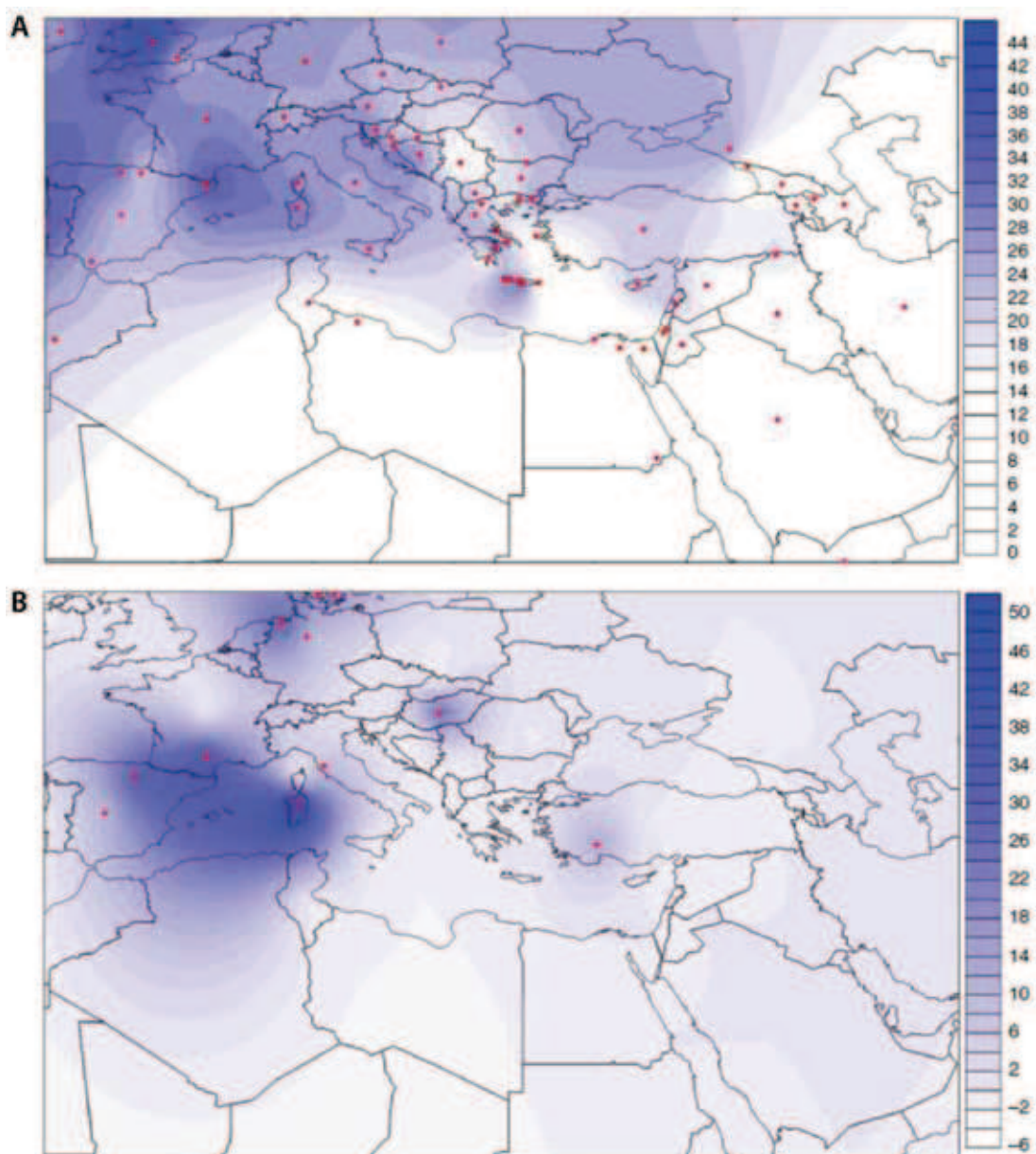


**Εικόνα 2.** Απλότυποι μινωικού μιτοχονδριακού DNA στους υπάρχοντες και αρχαίους πληθυσμούς. (α) Μινωικοί mtDNA HV5-1 απλότυποι, κοινοί με τους σύγχρονους ή αρχαίους πληθυσμούς και (β) κατανομή συχνότητας των 15 κοινών μινωικών απλοτύπων μεταξύ των διάφορων σύγχρονων και αρχαίων πληθυσμιακών ομάδων.



γεωγραφικής πυκνότητας τις κοινές γραμμές καταγωγής με βάση το μιτοχονδριακό DNA μεταξύ των Μινωιτών και 71 σύγχρονων πληθυσμιακών ομάδων. Να σημειωθεί ότι οι Μινωίτες εμφάνισαν τους λιγότερους κοινούς απλότυπους με τους βόρειους Αφρικανούς. Οι εικόνες 2B και 4 παρουσιάζουν τα ποσοστά των κοινών απλότυπων μιτοχονδριακού DNA μεταξύ των Μινωιτών και διαφόρων πληθυσμιακών ομάδων να σημειωθεί και πάλι ότι οι μι-

κρότερες συχνότητες των κοινών αυτών απλότυπων είναι με τους βορειοαφρικανικούς πληθυσμούς. Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών δείχνει επίσης ότι οι Μινωίτες είναι σαφώς αποστασιοποιημένοι από τους αιγυπτιακούς, Λίβυους και βορειοαφρικανικούς πληθυσμούς (εικ. 5). Τα εν λόγω δεδομένα έρχονται σε σαφή αντίθεση με την υπόθεση του Evans περί αιγυπτιακής ή λιβυκής καταγωγής των ιδρυτών του μινωικού πολιτισμού. Η βορειοαφρικανική επίδραση



**Εικόνα 3.** Πίνακες γεωγραφικής πυκνότητας των κοινών αλληλουχιών μιτοχονδριακού DNA. Η μπλε κλίση αντιπροσωπεύει το ποσοστό των κοινών σειρών, με τα υψηλότερα ποσοστά να αντιπροσωπεύονται στο μπλε και τα χαμηλότερα στο λευκό. Οι κόκκινες τελείες δείχνουν την προέλευση της κάθε μίας από τις 71 σύγχρονες πληθυσμιακές ομάδες και τους 11 αρχαίους λαούς που περιλαμβάνονται στην ανάλυσή μας. (Α) mtDNA HVS-1 αλληλουχίες κοινές μεταξύ Μινωιτών και των 71 σωζόμενων πληθυσμιακών ομάδων και (Β) κοινές αλληλουχίες με 11 πληθυσμιακές ομάδες της Εποχής του Χαλκού, της Εποχής του Σιδήρου, και νεολιθικούς πληθυσμούς.

στο μινωικό πολιτισμό επιτεύχθηκε πιθανότατα μέσω πολιτισμικής ανταλλαγής.

#### 2.4. Γενετική συγγένεια των Μινωιτών με νεολιθικούς και σύγχρονους ευρωπαϊκούς πληθυσμούς

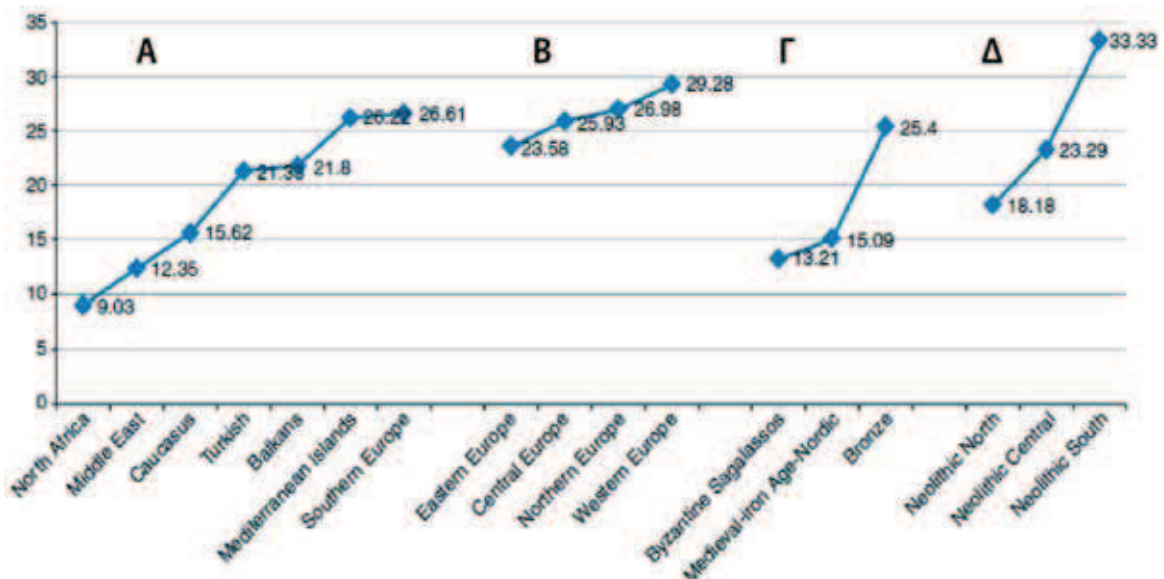
Οι απλότυποι μιτοχονδριακού DNA των Μινωιτών εμφάνισαν ομοιότητες με εκείνους των ευρωπαϊκών πληθυσμών (εικόνες 2B, 3A, 4). Οι Μινωίτες στην πλειοψηφία τους κατατάχθηκαν στις απλοομάδες H (43,2%), T (18,9%), K (16,2%) και I (8,1%). Κάθε μία από τις απλοομάδες U5A, W, J2, U, X και J εντοπίστηκε σε ένα μόνο άτομο. Το μεγαλύτερο ποσοστό των κοινών μινωικών απλοτύπων παρατηρήθηκε με τους ευρωπαϊκούς πληθυσμούς, ιδιαίτερα με άτομα από τη βόρεια και τη δυτική Ευρώπη (26,61% και 29,28%, αντίστοιχα) (εικόνες 2, 3, 4). Είναι σημαντικό ότι στην εικόνα 4 μπορεί να παρατηρηθεί μια κλίση, με τη χαμηλότερη συγγένεια για τους Μινωίτες να παρατηρείται με τους βορειοαφρικανικούς πληθυσμούς και το ποσοστό του κοινού απλότυπου να αυξάνεται καθώς προχωράμε προς τη Μέση Ανατολή, τον Καύκασο και τα νησιά της Μεσογείου, τη νότια Ευρώπη και την ηπειρωτική Ευρώπη (εικ. 4A και 4B). Αξιοσημείωτο επίσης είναι το υψηλό ποσοστό του κοινού απλότυπου με την Εποχή του Χαλκού (εικ. 4Γ) και τους Ευρωπαϊκούς πληθυσμούς της νεολιθικής περιόδου (εικ. 4Δ).

Προκειμένου να εφαρμοστεί ανάλυση των κύριων

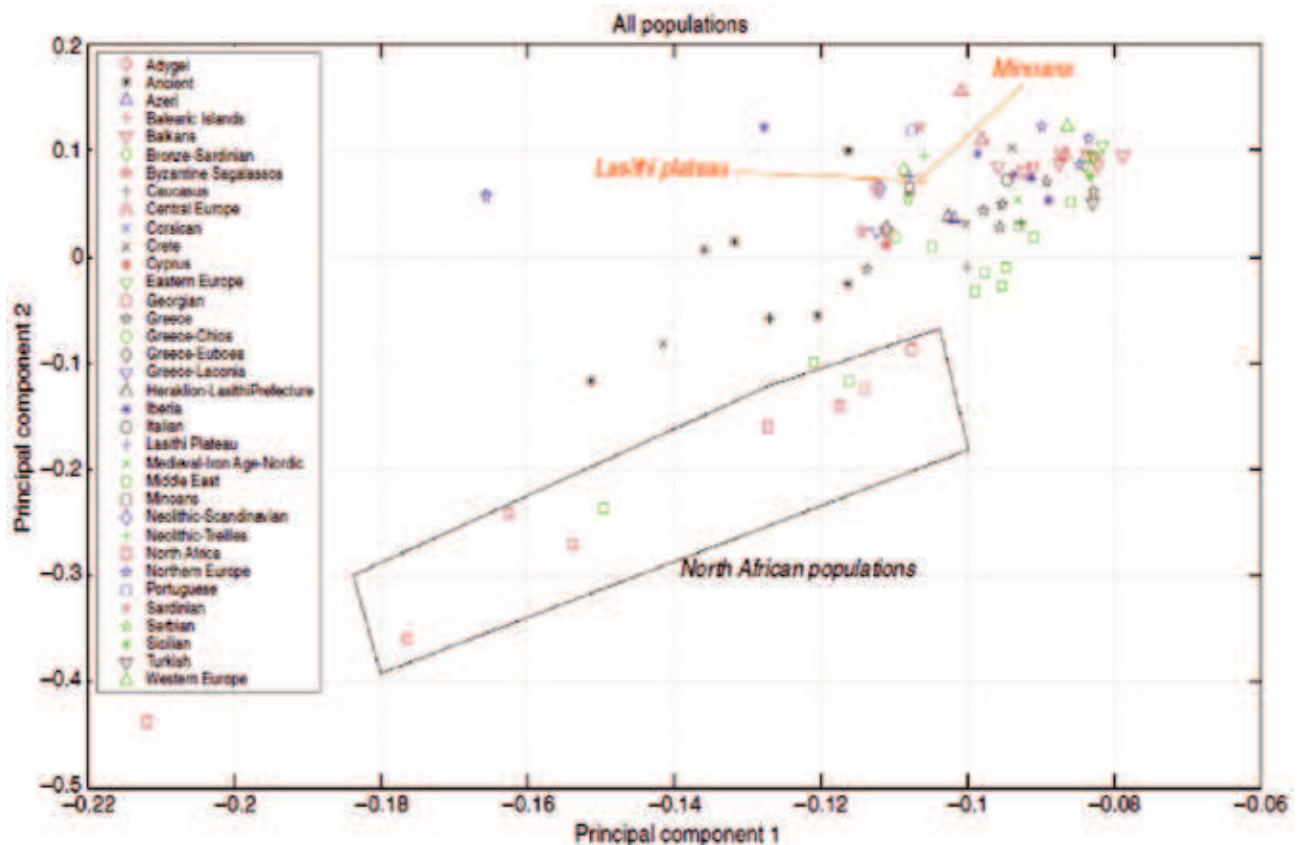
συνιστωσών, κάθε πληθυσμός συνοψίστηκε σε ένα διάνυσμα συχνότητας, που απεικονίζει τη συχνότητα του κάθε αλληλόμορφου σε καθέναν από τους μελετημένους γενετικούς τόπους της αλληλουχίας HV5-1. Οι ανά ζεύγη αποστάσεις των ζευγών μεταξύ των υπό μελέτη πληθυσμών υπολογίστηκαν με βάση τα διανύσματα συχνότητας (χρησιμοποιώντας το πρότυπο μετρικό L1 για τη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ των κατανομών) και υπολογίστηκε η ανάλυση των ιδιαζουσών τιμών (SVD) του πίνακα αποστάσεων που προέκυψε. Οι δύο πρώτες κύριες συνιστώσες κάλυψαν >98% της διακύμανσης στα δεδομένα και κρίθηκαν σημαντικές. Η εικόνα 5 απεικονίζει τη στενή σχέση μεταξύ των Μινωιτών και των σύγχρονων ευρωπαϊκών πληθυσμών. Είναι σημαντικό ότι 3 από τους κορυφαίους 10 πλησιέστερους γείτονες των Μινωιτών είναι αρχαίοι (δύο νεολιθικοί και ένας της Εποχής του Χαλκού) πληθυσμοί (εικόνες 5, 6A και πίν. 1). Στην πραγματικότητα, το μεγαλύτερο ποσοστό του κοινού μινωικού απλότυπου (33,33%) παρατηρείται με τους νεολιθικούς πληθυσμούς από τη νότια Ευρώπη (περιλαμβανομένων των δειγμάτων από τις νεολιθικές τοποθεσίες Treilles και Iberia) (εικ. 4Δ).

### 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα παρόντα αποτελέσματα υποδεικνύουν σθεναρά ότι οι κύριες μητρογονικές γενετικές σχέσεις των Μινωιτών είναι με νεολιθικούς, αρχαίους και σύγχρονους ευρωπαϊκούς



**Εικόνα 4.** Κοινός μινωικός απλότυπος με σύγχρονους και αρχαίους πληθυσμούς. Ο άξονας y αντιπροσωπεύει το κοινό ποσοστό επί τοις εκατό. Παρατηρήστε στο (A) τη χαμηλή συχνότητα των κοινών απλοτύπων με τον πληθυσμό της βόρειας Αφρικής (9%) και στο (B) τη σταδιακή αύξηση των κοινών απλοτύπων από τη Μέση Ανατολή στη νότια και τη δυτική Ευρώπη. Το (Γ) δείχνει το ποσοστό των κοινών απλοτύπων με ευρωπαϊκούς πληθυσμούς της Εποχής του Σιδήρου και της Εποχής του Χαλκού και το (Δ) το ποσοστό των κοινών απλοτύπων με τους νεολιθικούς ευρωπαϊκούς πληθυσμούς. Παρατηρήστε ότι η υψηλότερη συχνότητα των κοινών απλοτύπων (33%) είναι με τους νεολιθικούς πληθυσμούς της νότιας Ευρώπης.



**Εικόνα 5.** Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες. Προβολή στην κορυφή των δύο κύριων συνιστωσών των 71 σωζόμενων πληθυσμιακών ομάδων σε σύγκριση με τους Μινωίτες. Οι κορυφαίοι 15 εγγύτεροι γείτονες για τους Μινωίτες φαίνονται στην εικόνα και στη λεζάντα με τα μεμονωμένα σύμβολα. Οι εναπομείναντες πληθυσμοί επισημαίνονται με χρήση ευρέων γεωγραφικών ετικετών. Για παράδειγμα, όλοι οι πληθυσμοί της βόρειας Αφρικής επισημαίνονται με το ίδιο κόκκινο τετράγωνο σύμβολο. Παρατηρήστε το γενετικό χάσμα μεταξύ των Μινωιτών και των πληθυσμών της βόρειας Αφρικής και την ομοιότητα μεταξύ των Μινωιτών και του πληθυσμού του οροπεδίου Λασιθίου.

ϊκούς πληθυσμούς. Τέτοια ευρήματα υποστηρίζουν την υπόθεση της αυτόχθονης προέλευσης του μινωικού πολιτισμού από τους απογόνους των νεολιθικών εποίκων στο νησί.<sup>4,13</sup> Όπως έχει προταθεί για τους άλλους νεολιθικούς ευρωπαϊκούς πολιτισμούς,<sup>21-23</sup> η πιο πιθανή προέλευση των κρητικών νεολιθικών εποίκων ήταν η Ανατολία και η Μέση Ανατολή.<sup>4,7,9-11</sup> Δεδομένου ότι το χρονικό σημείο όπου οι πρώτοι νεολιθικοί έποικοι έφθασαν στην Κρήτη 9.000 χρόνια πριν συμπίπτει με τη μετανάστευση των αγροτών της νεολιθικής εποχής από την Ανατολία,<sup>3</sup> είναι πολύ πιθανό ότι ο ίδιος προγονικός πληθυσμός που εξαπλώθηκε στην Ευρώπη, επίσης εξαπλώθηκε και στην Κρήτη και συνέβαλε στην ίδρυση του πρώιμου μινωικού πολιτισμού. Έχει προταθεί<sup>33</sup> ότι, εκτός από τις γεωργικές μεθόδους, οι αγρότες της Ανατολίας έφεραν επίσης μαζί τους την ινδοευρωπαϊκή γλώσσα.<sup>34,35</sup> Η σημερινή επικρατούσα υπόθεση είναι ότι η μινωική γλώσσα δεν είχε σχέση με την ινδοευρωπαϊκή οικογένεια. Εναλλακτικά, όπως προτείνεται από τον Renfrew,<sup>5</sup> η Πρωτο-μινωική γλώσσα ήταν ένας από τους κλάδους που προερχόταν από την

Πρωτο-ινδοευρωπαϊκή γλώσσα περίπου 9.000 χρόνια πριν.

Η ανάλυση PCA τονίζει επίσης την υψηλή συγγένεια των Μινωιτών με τους σημερινούς κατοίκους του οροπεδίου Λασιθίου, καθώς και της Ελλάδας. Μεταξύ των κορυφαίων 10 πλησιέστερων γειτόνων στο δικό μας δείγμα μινωικού πληθυσμού, 4 είναι ελληνικοί πληθυσμοί και 2 από αυτούς προέρχονται από το νομό Λασιθίου (εικ. 5). Η στενή σχέση των Μινωιτών με τους σύγχρονους Κρητικούς είναι επίσης προφανής, όταν η ανάλυση περιορίζεται στους πληθυσμούς που κατάγονται από την Ελλάδα (εικ. 6B). Ιδιαίτερα όσον αφορά στην πρώτη ανάλυση κύριων συνιστωσών (λαμβάνοντας το 92% της διακύμανσης του συγκεκριμένου υποσυνόλου των δεδομένων), οι Μινωίτες είναι πολύ κοντά στο σύγχρονο πληθυσμό του Λασιθίου, στους πληθυσμούς από τα νησιά της Χίου και της Εύβοιας, καθώς και στους πληθυσμούς της Αργολίδας και της Λακωνίας (νότια Ελλάδα) (εικ. 6B). Έτσι, οι σύγχρονοι κάτοικοι του οροπεδίου Λασιθίου εξακολουθούν να φέρουν τις μητρικές γενετικές υπογραφές από τους αρχαίους προγόνους τους του μινωικού πληθυσμού.





ήταν σε συμφωνία με δείγματα από τα οποία το αρχαίο DNA έχει ανακτηθεί επιτυχώς και υποδεικνύουν ότι το σπήλαιο του Αγίου Χαράλαμπος περιέχει σκελετικά υπολείμματα με άριστη βιομοριακή διατήρηση. Σε σύγκριση, τα αποτελέσματα ρακεμοποίησης που αποκτήθηκαν από δείγματα από την Οδηγήτρια υποδήλωσαν ιστορικό κακής διατήρησης. Στα δείγματα της Οδηγήτριας, οι λόγοι για το ασπαρτικό οξύ κυμάνθηκαν από 0,092–0,226 (μέσος όρος=0,135) και για την αλανίνη από 0,007–0,043 (μέσος όρος=0,015). Οι λόγοι συγκέντρωσης από τα υλικά της Οδηγήτριας ήταν ανάλογοι με τα δημοσιευμένα σύγχρονα κριτήρια αναφοράς, αλλά είχαν μεγαλύτερη διακύμανση σε σύγκριση με τα δείγματα από τον Άγιο Χαράλαμπο. Ο λόγος ασπαρτικό οξύ/γλουταμινικό οξύ κυμάνθηκε από 0,66–1,12 (μέσος όρος=0,75), ο λόγος σερίνη/γλουταμινικό οξύ κυμάνθηκε από 0,38–0,48 (μέσος όρος=0,42) και ο λόγος αλανίνη/γλουταμινικό οξύ κυμάνθηκε από 1,31–1,86 (μέσος όρος=1,59). Η ποσοτικοποίηση των μορίων-στόχων πραγματοποιήθηκε σε δείγματα από τον Άγιο Χαράλαμπο χρησιμοποιώντας τους εκκινητές L16055-H16155 και χρωστική SYBR Green (Qiagen) στο σύστημα ανάλυσης DNA Engine Opticon 2 Real-time PCR Detection System (MJ Research). Όλα τα εκχυλίσματα DNA καταδείχθηκε ότι έχουν μεγάλο αριθμό αντιγράφων, που κυμάνθηκαν από 6.250–13.125 (μέσος όρος=10.500) ανά αντίδραση PCR.<sup>27</sup>

#### 4.2. Εκχύλιση DNA PCR κλωνοποίηση και αλληλούχιση

Τα δόντια απολυμάνθηκαν με αφαίρεση του εξωτερικού στρώματος με γυαλόχαρτο, εμβάπτιση σε χλωρίνη 100% για 15 sec, ξέπλυμα οκτώ φορές με νερό ελεύθερο από DNA και ακτινοβολήση με UV για 3 ώρες σε όλες τις πλευρές. Κατόπιν κονιορτοποιήθηκαν με ψύκτη/μύλο Spex Certi Prep 6750 για 2 min σε ομάδες των τεσσάρων. Τετρακόσια mg από τη σκόνη που προέκυψε απασβεστώθηκαν και επιτεύχθηκε πέψη σύμφωνα με τους Krings et al,<sup>28</sup> χρησιμοποιώντας τα αντιδραστήρια Ultra (Fluka BioChemika). Για την ανάλυση των αλληλουχιών HVS-1, τα δείγματα φυγοκεντρήθηκαν για 1 min στις 4.000 στροφές και το υπερκείμενο απομακρύνθηκε και εκχυλίστηκε με την προσθήκη ίσου όγκου φαινόλης UltraPure, χλωροφόρμιου και ισοαμυλικής αλκοόλης (25:24:1) (Invitrogen). Το υπερκείμενο συγκεντρώθηκε σε όγκο 100 μL χρησιμοποιώντας στήλες Microcon MW-30 (Millipore). Το DNA από το διάλυμα απομονώθηκε χρησιμοποιώντας το MinElute Qiagen PCR Purification Kit<sup>29</sup> και έγινε εξαγωγή του με 70 μL DNA-Free Elution Solution (QBIogene). Σε κάθε αντίδραση των 25 μL που περιείχε τη HotStart Taq DNA Polymerase (Qiagen), σύμφωνα με το πρωτόκολλο του κατασκευαστή, προστέθηκαν 6 μL από το εκχύλισμα του DNA. Τέσσερα ή πέντε αλληλεπικλυπόμενα ζεύγη εκκινητών χρησιμο-

ποιήθηκαν για να ενισχυθεί η περιοχή 16055-16379 της περιοχής HVS-1 του μιτοχονδριακού DNA. Στους εκκινητές που χρησιμοποιήθηκαν σε προηγούμενες δημοσιεύσεις<sup>28,30</sup> πραγματοποιήθηκαν οι σημειωμένες τροποποιήσεις L16022-H16155 (5'-ATGTGGATTGGGTTTTATG-3') ή L16055-H16155, L16122-H16223 (5'-CAGTTGATGTGTGATAGTTGAG-3'), L16209 (5'-CCCCATGCTTACAAGCAAG-3')-H16331 και L16271-H16379. Οι αντιδράσεις πραγματοποιήθηκαν σε κύκλους σε PTC-150HB PCR MiniCycler (MJ Research), χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους: 95 °C για 15 min, 42 κύκλοι στους 94 °C για 30 sec, στους 55 °C για 60 sec, στους 72 °C για 60 sec και 72 °C για 7 min. Τα προϊόντα της PCR κλωνοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας το 2.1 TOPO® TA Cloning Kit (Invitrogen). Αλληλουχίστηκαν 8–12 κλώνοι ανά προϊόν ενίσχυσης, το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 80 κλώνους ανά άτομο. Για την αλληλούχιση με τον αναλυτή επόμενης γενιάς Illumina GAI, το DNA εκχυλίστηκε σύμφωνα με το πρωτόκολλο των Rohland και Hofreiter<sup>31</sup> και η επεξεργασία του για την αλληλούχιση έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Τα άκρα του DNA διορθώθηκαν χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο βασισμένο στην Taq polymerase και τους προσαρμογείς TruSeq ή τους προσαρμογείς γραμμωτού κώδικα (με μονόκλινα άκρα) που συνδέθηκαν για να συνθέσουν τις βιβλιοθήκες για την αλληλούχιση του DNA. Οι βιβλιοθήκες των TruSeq προσαρμογέων φορτώθηκαν σε ένα πηγάδι ροής, ενώ οι βιβλιοθήκες των προσαρμογέων γραμμωτού κώδικα αραιώθηκαν σε set των έξι βιβλιοθηκών σε ένα πηγάδι ροής.

#### 4.3. Ανάλυση αλληλουχίας και στατιστικά

Οι συναινετικές αλληλουχίες προσδιορίστηκαν από χειροκίνητα ευθυγραμμισμένες ενισχυμένες αλληλουχίες. Οι αλληλουχίες προσδιορίστηκαν σύμφωνα με την εργασία των Richards et al,<sup>22</sup> όπου τα μοτίβα που περιέχουν την 16304 προσδιορίστηκαν ως απλότυπος H παρά ως απλότυπος F. Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν θεωρώντας ως ασαφείς χαρακτήρες (N) τα τεχνουργήματα που επάγονται από την απαμίνωση της κυτοσίνης. Για τη γραφική απεικόνιση των κοινών γενεαλογιών σε γεωγραφικούς χάρτες χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Surfer 9.0 (Golden Software Inc, Golden, Colorado) εφαρμόζοντας τη μέθοδο Kriging.

#### 4.4. Συγκριτικά δεδομένα σύγχρονων και αρχαίων πληθυσμών

Για τη σύγκριση με τους μινωικούς απλότυπους, διεξήχθη αναζήτηση στη βάση δεδομένων αλληλουχιών GenBank και συλλέχθηκαν δεδομένα από απλότυπους HVS-1 που δημοσιεύτηκαν προηγουμένως από 135 διαφορετικά δείγματα πληθυσμών (σύνολο 14.267 ατόμων)



(συμπληρωματικός πίνακας S4). Για την ανάλυσή μας, τα δείγματα ομαδοποιήθηκαν σε 71 πληθυσμιακές ομάδες από σύγχρονους πληθυσμούς και 11 αρχαίους πληθυσμούς (συμπληρωματικός πίνακας S4).

#### 4.5. Πίνακας απόστασης πληθυσμών με βάση τις συχνότητες των αλληλομόρφων

Για κάθε πληθυσμό, υπολογίστηκαν οι συχνότητες των τεσσάρων διαφορετικών πιθανών νουκλεοτιδίων (A, C, G, T) και οι απωλεσθείσες καταχωρήσεις για κάθε έναν από τους 413 προσδιορισμένους γενετικούς τόπους μιτοχονδριακού DNA της περιοχής HVS-1. Έτσι, κάθε πληθυσμός συνοψίστηκε σε ένα διάνυσμα συχνότητων. Για να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ δύο πληθυσμών, αγνοήθηκαν γενετικοί τόποι με περισσότερο από 10% χαμένες καταχωρήσεις σε κάθε έναν πληθυσμό. Στη συνέχεια, για κάθε γενετικό τόπο, υπολογίστηκε η απόσταση city-block (L1) μεταξύ των διανυσμάτων συχνότητων σε αυτόν το γενετικό τόπο (προς υπενθύμιση, η απόσταση L1 μεταξύ δύο κατανομών πιθανοτήτων είναι απλά το άθροισμα των απόλυτων τιμών των element-wise διαφορών). Η απόσταση μεταξύ των δύο πληθυσμών είναι ίση με το μέσο όρο όλων των αποστάσεων L1 σε όλους τους διατηρημένους γενετικούς τόπους. Ο ορισμός αυτός της απόστασης είναι συμμετρικός και για πληθυσμούς που έχουν παρόμοιες συχνότητες αλληλομόρφων σε όλους τους προσδιορισμένους γενετικούς τόπους, η απόσταση αυτή θα είναι μικρή. Ο παραπάνω υπολογισμός εκτελέστηκε για όλα τα ζεύγη των διαθέσιμων πληθυσμών, διαμορφώνοντας έτσι έναν πίνακα με τις αποστάσεις ανά ζεύγη για όλους τους πληθυσμούς.

#### 4.6. Ανάλυση των κύριων συνιστωσών

Η ανάλυση των κύριων συνιστωσών (PCA) πραγματοποιήθηκε σε έναν πίνακα αποστάσεων πληθυσμών ανά ζεύγη, ο οποίος υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τις συχνότητες των αλληλομόρφων σε κάθε προσδιορισμένο γενετικό τόπο. Η

PCA αξιολογήθηκε σε διάφορες υποομάδες των διαθέσιμων πληθυσμών. Προς αυτή την κατεύθυνση, εφαρμόστηκε η διάσπαση ιδιζουσών τιμών (SVD) στον προαναφερθέντα πίνακα αποστάσεων ανά ζεύγη, ώστε να υπολογιστούν τα ιδιάζοντα διανύσματα και οι τιμές. Οι ιδιάζουσες τιμές χρησιμοποιήθηκαν για να μετρηθεί η σημαντικότητα των δύο πρώτων κύριων συνιστωσών και οι εγγύτεροι γείτονες στο μινωικό πληθυσμό υπολογίστηκαν, προβάλλοντας κάθε πληθυσμό στα πρώτα δύο διανύσματα και κατόπιν ανερχόμενοι κλιμακωτά με τις αντίστοιχες ιδιάζουσες τιμές.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

*Είμαστε ευγνώμονες στον αείμνηστο Νίκο Παπαδάκη, Διευθυντή της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας του Αγίου Νικολάου Λασιθίου, που ήταν ένθερμος υποστηρικτής της ερευνητικής μας προσπάθειας. Ευχαριστούμε την Dr Fotini McGeorge και τον Dr Andonis Vasilakis για τη διάθεση των οστέινων υπολειμμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Ο Dr Ivan Nasidze παραχώρησε ευγενικά αλληλουχίες DNA από προηγούμενες μελέτες του. Αυτή η μελέτη υποστηρίχθηκε οικονομικά από το National Institutes of Health Grants προς τον GS. Η Δρ Δανάη Παπαδογιάννη ανέλαβε τη μετάφραση του άρθρου στα Ελληνικά.*

#### Συνεισφορές

*Ο GS σχεδίασε και συντόνισε τη μελέτη. Οι JRH και DM εκπόνησαν τα αρχικά πειράματα και ανέλυσαν τα δεδομένα. Οι DML, PAN και JAS επανέλαβαν τα πειράματα και πραγματοποίησαν τη δεύτερη γενιά αλληλούχισης. Οι PP και PD διενήργησαν τη στατιστική ανάλυση. Οι GS και JRH έγραψαν το άρθρο. Όλοι οι συγγραφείς συζήτησαν τα αποτελέσματα και σχολίασαν το χειρόγραφο.*

#### Σύγκρουση οικονομικών συμφερόντων

*Οι συγγραφείς δηλώνουν ότι δεν υπάρχουν συγκρουόμενα οικονομικά συμφέροντα.*

## ABSTRACT

## A European population in Minoan Bronze Age Crete

J.R. HUGHEY,<sup>1</sup> P. PASCHOU,<sup>2</sup> P. DRINEAS,<sup>3</sup> D. MASTROPAOLO,<sup>4</sup> D.M. LOTAKIS,<sup>4</sup> P.A. NAVAS,<sup>4</sup>  
M. MICHALODIMITRAKIS,<sup>5</sup> J.A. STAMATOYANNOPOULOS,<sup>6</sup> G. STAMATOYANNOPOULOS<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Hartnell College, Salinas, CA 93901, USA, <sup>2</sup>Department of Molecular Biology and Genetics, Democritus University of Thrace, Alexandroupolis, Greece, <sup>3</sup>Department of Computer Science, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA, <sup>4</sup>Division of Medical Genetics, University of Washington, Seattle, USA, <sup>5</sup>Department of Forensic Medicine, University of Crete, Heraklion, Crete, Greece, <sup>6</sup>Departments of Medicine and Genome Sciences, University of Washington, Seattle, USA

*Archives of Hellenic Medicine* 2013, 30(4):456–466

The first advanced Bronze Age civilization of Europe was established by the Minoans about 5,000 YBP. Since Sir Arthur Evans exposed the Minoan civic center of Knossos, archeologists have speculated on the origin of the founders of the civilization. Evans proposed a North African origin; Cycladic, Balkan, Anatolian and Middle Eastern origins have also been proposed. To address the question of the origin of the Minoans analysis was made of mitochondrial DNA from Minoan osseous remains from a cave ossuary in the Lassithi plateau of Crete dated at 4,400–3,700 YBP. Shared haplotypes, principal component and pairwise distance analyses refute the Evans North African hypothesis. It was found that the Minoans show the strongest relationships with Neolithic and modern European populations and with the modern inhabitants of the Lassithi plateau. These data are compatible with the hypothesis of an autochthonous development of the Minoan civilization by the descendants of the Neolithic settlers of the island.

**Key words:** Continental European diaspora, Minoan, Modern Cretans, Neolithic, Origin

## Βιβλιογραφία

- BROodbANK C, STRASSERT. Migrant farmers and the Neolithic colonization of Crete. *Antiquity* 1991, 65:233–245
- CHERRY JF. The colonization of the Mediterranean islands: A review of recent research. *J Medit Archaeol* 1990, 3:145–221
- AMMERMAN AJ, CAVALLI-SFORZA LL. *The Neolithic transition and the genetics of populations in Europe*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1984
- RENFREW C. Who were the Minoans? Towards a population history of Crete. *Cretan Studies* 1996, 5:1–27
- RENFREW C. Word of Minos: The Minoan contribution to Mycenaean Greek and the linguistic geography of the Bronze Age Aegean. *Camb Archaeol J* 1998, 8:239–264
- WATROUS LV. Crete from earliest prehistory through the Protopalatial period. *Am J Archaeol* 1994, 98:695–753
- EVANS A. *The palace of Minos; a comparative account of the successive stages of the early Cretan civilization as illustrated by the discoveries at Knossos*. Macmillan, London, 1921–1935
- EVANS A. The early Nilotic, Libyan and Egyptian relations with Minoan Crete. The Huxley Memorial lecture for 1925. *J Royal Anthr Inst Gr Britain and Ireland* 1925, 55:199–228
- HUTCHINSON RW. *Prehistoric Crete*. Penguin Books, Baltimore, 1962
- CASKEY J. *Greece, Crete and the Aegean islands in the early Bronze Age*. Cambridge University Press, Cambridge, 1964
- HOOD S. *The Minoans: Crete in the Bronze Age*. Thames & Hudson, New York, 1971
- WEINBERG SS. The relative chronology of the Aegean in the Neolithic period and the early Bronze Age. In: *Relative chronologies in Old World archeology*. The University of Chicago Press, Chicago, 1954
- BRANIGAN K. *The foundations of palatial Crete*. Praeger Publishers, New York, 1970
- MARTINEZ L, UNDERHILL PA, ZHIVOTOVSKY LA, GAYDENT, MOSCHONAS NK, CHOW CE ET AL. Paleolithic Y-haplogroup heritage predominates in a Cretan highland plateau. *Eur J Hum Genet* 2007, 15:485–493
- KING RJ, OZCAN SS, CARTERT, KALFOĞLU E, ATASOY S, TRIANTAPHYLIDIS C ET AL. Differential Y-chromosome Anatolian influences on the Greek and Cretan Neolithic. *Ann Hum Genet* 2008, 72:205–214
- MARTINEZ L, MIRABAL S, LUIS JR, HERRERA RJ. Middle Eastern and European mtDNA lineages characterize populations from eastern Crete. *Am J Phys Anthropol* 2008, 137:213–223
- VASSILAKIS A, BRANIGAN K, ODIGITRIA M. *A prepalatial cemetery and its environs in the Asterousia, southern Crete*. Academic Press, Philadelphia, 2010
- BETANCOURT PP, DAVARAS C, DIERCKX HMC, FERRENCE SC, HICKMAN J, KARKANAS P ET AL. Excavations in the Hagios Charalambos cave: A preliminary report. *Hesperia* 2008, 77:539–605
- WATROUS LV. Lassithi: A history of settlement on a highland plain in Crete. *Hesperia* 1982, Suppl XVIII:1–89
- COOPER A, POINAR HN. Ancient DNA: Do it right or not at all.

- Science* 2000, 289:1139
21. HAAK W, BALANOVSKY O, SANCHEZ JJ, KOSHEL S, ZAPOROZHCHENKO V, ADLER CJ ET AL. Ancient DNA from European early neolithic farmers reveals their near eastern affinities. *PLoS Biol* 2010, 8:e1000536
  22. TAMBETS K, KIVISILD T, METSPALU E, PARIK J, KALDMA K, LAOS S ET AL. The topology of the maternal lineages of the Anatolian and Trans-Caucasus populations and the peopling of Europe: Some preliminary considerations. In: Renfrew C, Boyle K (eds) *Archaeogenetics*. 2000:219–235
  23. CHIKHI L, NICHOLS RA, BARBUJANI G, BEAUMONT MA. Y genetic data support the Neolithic demic diffusion model. *Proc Natl Acad Sci USA* 2002, 99:11008–11013
  24. MALMSTRÖM H, SVENSSON EM, GILBERT MT, WILLERSLEV E, GÖTHERSTRÖM A, HOLMLUND G. More on contamination: The use of asymmetric molecular behavior to identify authentic ancient human DNA. *Mol Biol Evol* 2007, 24:998–1004
  25. POINAR HN, HÖSS M, BADA JL, PÄÄBO S. Amino acid racemization and the preservation of ancient DNA. *Science* 1996, 272:864–866
  26. KLINKEN GL, MOOK WG. Preparative high-performance liquid chromatographic separation of individual amino acids derived from fossil bone collagen. *Radiocarbon* 1990, 3:2155–2164
  27. HUGHEY JR, DU M, LI Q, MICHALODIMITRAKIS M, STAMATOYANNOPOULOS G. A search for  $\beta$  thalassemia mutations in 4000 year old ancient DNAs of Minoan Cretans. *Blood Cells Mol Dis* 2012, 48:7–10
  28. KRINGS M, STONE A, SCHMITZ RW, KRAINITZKI H, STONEKING M, PÄÄBO S. Neandertal DNA sequences and the origin of modern humans. *Cell* 1997, 90:19–30
  29. YANG DY, ENG B, WAYE JS, DUDAR JC, SAUNDERS SR. Technical note: Improved DNA extraction from ancient bones using silica-based spin columns. *Am J Phys Anthropol* 1998, 105:539–543
  30. VERNESI C, DI BENEDETTO G, CARAMELLI D, SECCHIERI E, SIMONI L, KATTI E ET AL. Genetic characterization of the body attributed to the evangelist Luke. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001, 98:13460–13463
  31. ROHLAND N, HOFREITER M. Comparison and optimization of ancient DNA extraction. *Biotechniques* 2007, 42:343–352
  32. RICHARDS M, MACAULAY V, HICKEY E, VEGA E, SYKES B, GUIDA V ET AL. Tracing European founder lineages in the Near Eastern mtDNA pool. *Am J Hum Genet* 2000, 67:1251–1276
  33. RENFREW C. *Archaeology and language. The puzzle of Indo-European origins*. Jonathan Cape, London, 1987
  34. GRAY RD, ATKINSON QD. Language-tree divergence times support the Anatolian theory of Indo-European origin. *Nature* 2003, 426:435–439
  35. BOUCKAERT R, LEMEY P, DUNN M, GREENHILL SJ, ALEKSEYENKO AV, DRUMMOND AJ ET AL. Mapping the origins and expansion of the Indo-European language family. *Science* 2012, 337:957–960

*Corresponding author:*

G. Stamatoyannopoulos, Departments of Medicine and Genome Sciences, University of Washington, K-240 Health Sciences Building, Box 357720, Seattle, WA 98195-7720, USA  
e-mail: gstam@u.washington.edu

.....