



Ο από μηχανής Νεάντερταλ

ΜΙΑ ΝΥΧΤΑ ΤΟΥ 1996, την ώρα που μ' έπαιρνε ο ύπνος, χτύπησε το τηλέφωνο. Ήταν ο Ματθίας Κρινγκς (Matthias Krings), μεταπτυχιακός φοιτητής στο εργαστήριο που διεύθυνα στο Ινστιτούτο Ζωολογίας του Πανεπιστημίου του Μονάχου. Είπε μόνο: «Δεν είν' ανθρώπινο». Τίποτε άλλο.

«Έρχομαι», μουρμούρισα. Ντύθηκα βιαστικά, διέσχισα την πόλη με τ' αυτοκίνητό μου κι έφτασα στο εργαστήριο. Εκείνο το απόγευμα, ο Ματθίας είχε βάλει μπρος τις μηχανές αλληλούχησης DNA και τις τροφοδοτούσε με τμήματα DNA που είχε ανακτήσει και πολλαπλασιάσει από το κόκαλο του χεριού ενός Νεάντερταλ. Ήταν ένα θραύσμα οστού που φυλασσόταν στη Βόννη, στο τοπικό μουσείο του κρατιδίου της Ρηνανίας. Αλλεπάλληλες απογοητεύσεις εδώ και χρόνια μ' είχαν μάθει να μην περιμένω πολλά. Κατά πάσα πιθανότητα, αυτό που είχαμε στα χέρια μας δεν ήταν παρά βακτηριακό ή ανθρώπινο DNA που διαπότισε το κόκαλο κάποια στιγμή στα 140 χρόνια που μεσολάβησαν από τότε που ξεθάφτηκε. Όμως ο Ματθίας ακουγόταν πολύ ενθουσιασμένος στο τηλέφωνο. Μήπως είχε τελικά απομονώσει γενετικό υλικό από κάποιον Νεάντερταλ; Το επίτευγμα φάνταζε υπερβολικά σπουδαίο για να ελπίζω σε κάτι τέτοιο.

Στο εργαστήριο βρήκα τον Ματθίας μαζί με τον Ραλφ Σμιτς (Ralf Schmitz), τον νεαρό αρχαιολόγο που μας είχε βοηθήσει να πάρουμε την άδεια αφαίρεσης ενός μικρού τμήματος από το κόκαλο του χεριού του απολιθωμένου Νεάντερταλ της

Βόννης. Όση ώρα μού έδειχναν την αλυσίδα των A, T, G και C που έβγαινε από τον αλληλουχητή, έκαναν μεγάλες προσπάθειες να συγκρατήσουν τον ενθουσιασμό τους. Ούτε εκείνοι ούτε κι εγώ είχαμε αντικρίσει ποτέ κάτι τέτοιο.

Ό,τι σε κάποιον αμύητο μπορεί να φαίνεται σαν μια τυχαία αλληλουχία τεσσάρων γραμμάτων, στην πραγματικότητα είναι η συντομογραφία της χημικής δομής του DNA, του γενετικού υλικού που βρίσκεται αποθηκευμένο σχεδόν σε κάθε κύτταρο του σώματός μας. Τις δύο αλυσίδες της περίφημης διπλής έλικας του DNA τις απαρτίζουν μονάδες που περιέχουν τα νουκλεοτίδια αδενίνη, θυμίνη, γουανίνη και κυτοσίνη — οι συντομογραφίες τους είναι A, T, G και C. Η σειρά εμφάνισης αυτών των νουκλεοτιδίων συνθέτει τη γενετική πληροφορία που χρειάζεται για να σχηματιστεί το σώμα μας και να υποστηριχτούν οι λειτουργίες του. Το κομμάτι του DNA που είχαμε μπροστά μας ήταν τμήμα του μιτοχονδριακού γονιδιώματος —εν συντομία: mtDNA—, το οποίο περνά από το ωάριο κάθε μητέρας στο παιδί της. Αποθηκευμένα μέσα σε μικροσκοπικά ενδοκυτταρικά οργανίδια, δηλαδή τα μιτοχόνδρια, υπάρχουν εκατοντάδες αντίγραφα του mtDNA, το οποίο δίνει τις απαραίτητες πληροφορίες ώστε τα οργανίδια αυτά να επιτελέσουν τη λειτουργία τους, που δεν είναι άλλη από το να παράγουν ενέργεια. Κάθε άνθρωπος φέρει ένα μόνο είδος μιτοχονδριακού DNA, το οποίο αντιστοιχεί μόλις στο 0,0005% του γονιδιώματός του. Το γεγονός ότι κάθε κύτταρο διαθέτει πολλές χιλιάδες αντίγραφα του ίδιου τύπου mtDNA μάς διευκολύνει πολύ στη μελέτη του, αντίθετα με το υπόλοιπο DNA — από το οποίο υπάρχουν μόνο δύο αντίγραφα στον πυρήνα του κυττάρου, ένα απ' τη μητέρα μας κι ένα απ' τον πατέρα μας. Μέχρι το 1996 είχαμε μελετήσει τις αλληλουχίες mtDNA χιλιάδων ανθρώπων απ' όλο τον κόσμο. Τούτες τις αλληλουχίες συνήθως τις συγκρίναμε με το πρώτο ανθρώπινο mtDNA που είχε ποτέ ταυτοποιηθεί, και με βάση αυτή την κοινή αλλη-

λουχία αναφοράς μπορούσαμε να συντάξουμε έναν κατάλογο με τις παρατηρούμενες διαφορές και τη θέση τους στο γονιδίωμα. Εκείνο λοιπόν που μας ενθουσίασε ήταν ότι η αλληλουχία που προσδιορίσαμε για το κόκαλο του Νεάντερταλ είχε διαφορές που δεν είχαν εντοπιστεί σε κανέναν απ' αυτούς τους χιλιάδες ανθρώπους. Δυσκολευόμουν πάντως να πιστέψω πως ό,τι βλέπαμε δεν ήταν ψέμα!

Όπως γίνεται πάντα όταν στις έρευνές μου έρχομαι αντιμέτωπος μ' ένα συναρπαστικό ή αναπάντεχο αποτέλεσμα, δεν άργησαν να με κυριεύσουν αμφιβολίες. Σκέφτηκα κάθε ενδεχόμενο που θα μπορούσε να διαψεύσει ό,τι βλέπαμε. Ίσως κάποιος, κάποτε, να είχε χρησιμοποιήσει κόλλα από δέρμα αγελάδας για τη συντήρηση των οστών, κι εκείνο που είχαμε μπροστά μας να 'ταν μιτοχονδριακό DNA αγελάδας. Όμως όχι! Ελέγξαμε αμέσως το mtDNA της αγελάδας (είχε ήδη αλληλουχηθεί από άλλους) και βρήκαμε ότι διέφερε πολύ. Ήταν σαφές ότι η νέα αλληλουχία mtDNA έμοιαζε με τις ανθρώπινες, όμως ήταν και ελαφρά διαφορετική απ' όλες. Αρχισα λοιπόν να πιστεύω πως είχαμε πράγματι στα χέρια μας το πρώτο τμήμα DNA που είχε ποτέ εξαχθεί και αλληλουχηθεί από ένα εξαφανισμένο είδος ανθρώπου!

Έτσι λοιπόν ανοίξαμε τη σαμπάνια που φυλάγαμε στο ψυγείο της καφετέριας του εργαστηρίου. Αν ό,τι βλέπαμε ήταν όντως DNA από Νεάντερταλ, τότε σίγουρα ανοίγονταν μπροστά μας τεράστιες δυνατότητες· ίσως κάποτε θα μπορούσαμε να συγκρίνουμε ολόκληρα γονίδια —ή ένα επιλεγμένο γονίδιο— των Νεάντερταλ με τα αντίστοιχα γονίδια των σημερινών ανθρώπων. Ενώ λοιπόν γύριζα σπίτι με τα πόδια (είχα πει πάρα πολύ για να οδηγήσω...), διασχίζοντας το σκοτεινό και γαλήνιο Μόναχο, δυσκολευόμουν να πιστέψω ό,τι είχε μόλις συμβεί. Γύρισα σπίτι, όμως δεν κατάφερα να κοιμηθώ. Σκεφτόμουν συνέχεια τους Νεάντερταλ, το απολίθωμα που είχαμε στα χέρια μας και το μιτοχονδριακό του DNA που πιθανότατα είχαμε καταφέρει να «αιχμαλωτίσουμε».

Το 1856, τρία χρόνια προτού ο Δαρβίνος δημοσιεύσει την *Καταγωγή των ειδών*, μερικοί εργάτες πιάσαν δουλειά σ' ένα λατομείο της κοιλάδας Νεάντερ στη Γερμανία, κάπου 11 χιλιόμετρα ανατολικά του Ντύσσελντορφ. Ενώ καθάριζαν μια σπηλιά, ανακάλυψαν το πάνω μέρος ενός κρανίου και μερικά κόκαλα που θεώρησαν ότι ανήκαν σε μια αρκούδα. Όμως σε λίγα χρόνια αναγνωρίστηκε πως τούτα τα λείψανα ανήκαν σ' ένα εξαφανισμένο είδος ανθρώπου, που υπήρξε πρόγονός μας. Ήταν η πρώτη φορά που περιγράφονταν τέτοια λείψανα κι η ανακάλυψη έκανε τεράστια αίσθηση στους φυσιογνώστες. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η έρευνα συνεχίστηκε τόσο στα κόκαλα αυτά όσο και σε πολλά άλλα που ανακαλύφθηκαν αργότερα. Σκοπός ήταν να διαλευκανθούν μια σειρά από καίρια ερωτήματα, όπως ποιοι ήταν οι Νεάντερταλ, πώς ζούσαν, γιατί εξαφανίστηκαν πριν από σχεδόν 30.000 χρόνια, πώς αλληλεπέδρασαν μαζί τους οι προ-προ-προπαππούδες μας στα χιλιάδες χρόνια κατά τα οποία τα δύο είδη συνυπήρχαν στην Ευρώπη, αν ήταν φίλοι ή εχθροί, πρόγονοι ή απλώς μακρινά μας ξαδέφια (βλ. Εικόνα 1.1). Από διάφορους αρχαιολογικούς χώρους ήρθαν στο φως συναρπαστικά στοιχεία για συμπεριφορές που και σήμερα μας είναι οικείες, όπως η φροντίδα των τραυματισμένων, η τελετουργική ταφή, ακόμα κι η παραγωγή μουσικής. Όλα αυτά έδειχναν ότι οι Νεάντερταλ μας έμοιαζαν πολύ περισσότερο από κάθε σημερινό είδος πιθήκου. Όμως, πόσο ακριβώς; Μπορούσαν άραγε να μιλήσουν; Μήπως ήταν ένας κλάδος του γενεαλογικού δένδρου των ανθρώπων, ο οποίος δεν οδήγησε πουθενά; Μήπως κάποια γονίδιά τους («κρύβονται») σήμερα μέσα μας; Πρόκειται για ερωτήματα τα οποία αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της παλαιοανθρωπολογίας, του ακαδημαϊκού τομέα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι γεννήθηκε με την ανακάλυψη εκείνων των οστών στην κοιλάδα Νεάντερ. Και απ' ό,τι φαινόταν, από τούτα τα οστά είχαμε τώρα καταφέρει να αποσπάσουμε γενετικές πληροφορίες!

Όσο ενδιαφέρουσες κι αν ήταν από μόνες τους όλες εκείνες οι πληροφορίες, στα δικά μου μάτια τούτο το κομματάκι οστού υποσχόταν ένα ακόμα μεγαλύτερο έπαθλο. Κι αυτό γιατί οι Νεάντερταλ είναι οι πιο κοντινοί εξαφανισμένοι συγγενείς των σημερινών ανθρώπων. Αν μπορούσαμε να μελετήσουμε το DNA τους, θ' ανακαλύπταμε σίγουρα ότι τα γονίδιά τους μοιάζουν πολύ με τα δικά μας. Πριν από λίγα χρόνια, η ομάδα μου



ΕΙΚΟΝΑ 1.1 Αποκατεστημένος σκελετός Νεάντερταλ (αριστερά) και σκελετός σημερινού ανθρώπου (δεξιά). Πηγή: Ken Mowbray, Blaine Maley, Ian Tattersall, Gary Sawyer, Αμερικανικό Μουσείο Φυσικής Ιστορίας.

είχε αλληλουχήσει έναν μεγάλο αριθμό τμημάτων DNA από το γονιδίωμα του χιμπατζή, κι είχαμε δείξει ότι στις αλληλουχίες DNA που είναι κοινές στους ανθρώπους και τους χιμπατζήδες τα διαφορετικά νουκλεοτίδια μόλις που ξεπερνούν το 1%. Η συγγενείά μας με τους Νεάντερταλ θα πρέπει να είναι σίγουρα μεγαλύτερη. Όμως —κι αυτό ήταν το πραγματικά συναρπαστικό—, ανάμεσα στις ελάχιστες διαφορές που θα περίμενε κανείς να εντοπίσει στο γονιδίωμα του Νεάντερταλ, θα πρέπει να βρίσκονταν κι εκείνες που μας διαχώρισαν απ' όλες τις προγονικές μορφές ανθρώπων: όχι μόνον απ' τους Νεάντερταλ, αλλά κι απ' το Αγόρι της Τουρκάνα, που έζησε πριν από 1,6 εκατομμύρια χρόνια· τη Λούσυ, που έζησε πριν από 3,2 εκατομμύρια χρόνια· και τον Άνθρωπο του Πεκίνου, που έζησε πριν από τουλάχιστον 500.000 χρόνια. Σε τούτες τις λιγοστές διαφορές θα πρέπει να έχει θεμελιωθεί βιολογικά η ριζικά νέα κατεύθυνση που πήρε η δική μας γενεαλογική γραμμή με την εμφάνιση του σημερινού ανθρώπου, δηλαδή με την έλευση της ραγδαία εξελισσόμενης τεχνολογίας, της τέχνης με τη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα, ίσως και της γλώσσας ή του πολιτισμού όπως τον ξέρουμε. Αν μπορούσαμε να μελετήσουμε το DNA του Νεάντερταλ, θα μπορούσαμε να δώσουμε απαντήσεις σε όλα αυτά τα ερωτήματα. Βυθισμένος λοιπόν σε τέτοια όνειρα (ή μεγαλόσχημες αυταπάτες), τελικά αποκοιμήθηκα όταν είχε πια αρχίσει να ξημερώνει.

Την επομένη, ο Ματθίας κι εγώ φτάσαμε αργά στο εργαστήριο. Αφού ελέγξαμε τη χθεσινοβραδινή αλληλουχία DNA για να βεβαιωθούμε πως δεν είχε γίνει κάποιο λάθος, καθήσαμε και σχεδιάσαμε τις επόμενες κινήσεις μας. Ήταν άλλο πράγμα ν' ανακτήσουμε την αλληλουχία από ένα μικρό, ενδιαφέρον τμήμα μιτοχονδριακού DNA από το απολίθωμα του Νεάντερταλ, κι άλλο πράγμα να πείσουμε οι ίδιοι τους εαυτούς μας —πόσω μάλλον τον υπόλοιπο κόσμο— ότι εκείνο που είχαμε στα χέρια μας ήταν μιτοχονδριακό DNA από ένα άτομο

που έζησε (στη συγκεκριμένη περίπτωση) πριν από 40.000 χρόνια. Ωστόσο, εκείνο που μας βοήθησε να αποφασίσουμε τι θα κάνουμε στη συνέχεια ήταν η 12ετής εμπειρία μου στην έρευνα. Πρώτα πρώτα λοιπόν, έπρεπε να επαναλάβουμε το πείραμα — όχι μόνο το τελευταίο βήμα, μα όλα, ξεκινώντας με ένα νέο κομμάτι οστού, ώστε να αποδείξουμε ότι η αλληλουχία που είχαμε στα χέρια μας δεν είχε βρεθεί συμπτωματικά σ' εκείνο το κόκαλο από ένα πολύ φθαρμένο και αλλοιωμένο μόριο σημερινού mtDNA. Δεύτερον, έπρεπε να επεκτείνουμε την αλληλουχία mtDNA που είχαμε, ανακτώντας αλληλεπιπλεκόμενα τμήματα DNA από το οστό. Μόνον έτσι θα μπορούσαμε να ανασυνθέσουμε μια μεγαλύτερη αλληλουχία mtDNA και ν' αρχίσουμε να κάνουμε εκτιμήσεις για το πόσο διαφορετικό είναι το mtDNA των Νεάντερταλ από εκείνο των σημερινών ανθρώπων. Αλλά ύστερα θα χρειαζόταν κι ένα τρίτο βήμα. Εγώ ο ίδιος είχα συχνά υποστηρίξει ότι οι εξαιρετικά εντυπωσιακοί ισχυρισμοί που αφορούν αλληλουχίες DNA από αρχέγονα οστά απαιτούν και εξαιρετικά εντυπωσιακές διαδικασίες τεκμηρίωσης — τουτέστιν, τα αποτελέσματά μας θα έπρεπε να τα επαναλάβει και άλλο εργαστήριο, πράγμα ιδιαίτερα ασυνήθιστο σ' ένα τόσο ανταγωνιστικό επιστημονικό πεδίο. Ισχυριζόμασταν, όμως, ότι είχαμε ανακτήσει DNA από Νεάντερταλ, κι αυτό σίγουρα θα ξένιζε πολλούς. Για ν' αποκλείσουμε επομένως άγνωστες πηγές σφάλματος στο εργαστήριό μας, έπρεπε να μοιραστούμε λίγο απ' το πολύτιμο οστικό υλικό με κάποιο ανεξάρτητο εργαστήριο, ελπίζοντας ότι θα κατάφερνε ν' αναπαραγάγει τα δικά μας αποτελέσματα. Τα κουβέντιασα όλα αυτά με τον Ματθίας και τον Ραλφ, καταστρώσαμε ένα πλάνο εργασίας και ορκιστήκαμε να τηρήσουμε απόλυτη μυστικότητα έξω από τις ερευνητικές μας ομάδες. Δεν θέλαμε να τραβήξουμε την προσοχή κανενός μέχρι να είμαστε σίγουροι πως ό,τι είχαμε στα χέρια μας ήταν αληθινό.

Ο Ματθίας ρίχτηκε αμέσως στη δουλειά. Είχε αφιερώσει περίπου τρία χρόνια σε άκαρπες ως επί το πλείστον προσπάθειες ανάκτησης DNA από αιγυπτιακές μούμιες· συνεπώς, η προοπτική μιας πιθανής επιτυχίας τον γέμιζε ενθουσιασμό. Ο Ραλφ, από την άλλη, έδειχνε απογοητευμένος που έπρεπε να γυρίσει στη Βόννη, όπου το μόνο που μπορούσε να κάνει ήταν να περιμένει με ανυπομονησία νέα μας σχετικά με τ' αποτελέσματα. Εγώ προσπάθησα να συγκεντρωθώ στα άλλα ερευνητικά μου προγράμματα, όμως ήταν δύσκολο να αποσπάσω τη σκέψη μου απ' τη δουλειά του Ματθίας.

Η αποστολή που είχε αναλάβει ο νεαρός συνεργάτης μου δεν ήταν σε καμιά περίπτωση εύκολη. Ήμασταν αντιμέτωποι με κάτι πολύ διαφορετικό — δεν είχαμε να χειριστούμε άθικτο DNA σε άριστη κατάσταση από δείγμα αίματος ζωντανού ανθρώπου. Άλλωστε, το μόριο του δίκλωνου DNA δεν είναι όπως στις εικόνες των διδακτικών συγγραμμάτων — ακέραιο, άρτια δομημένο, με τα νουκλεοτίδια A, T, G και C να σχηματίζουν συμπληρωματικά ζεύγη (η αδενίνη με τη θυμίνη, η γουανίνη με την κυτοσίνη) και να προσδένονται στις δύο ραχοκοκαλίες σακχάρων-φωσφορικών ομάδων. Δεν αποτελεί δηλαδή μια στατική χημική δομή μέσα στους πυρήνες και τα μιτοχόνδρια των κυττάρων μας. Αντιθέτως, υφίσταται συνεχώς χημικές βλάβες, τις οποίες εντοπίζουν και επιδιορθώνουν ορισμένοι σύνθετοι μηχανισμοί. Πέραν τούτου, τα μόρια του DNA έχουν εξαιρετικά μεγάλο μήκος. Κάθε ένα από τα 23 ζεύγη χρωμοσωμάτων του πυρήνα περιέχει ένα τεράστιο μόριο DNA· το συνολικό μήκος μιας ομάδας 23 χρωμοσωμάτων φτάνει τα 3,2 δισεκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων! Επειδή ο πυρήνας έχει δύο αντίγραφα του γονιδιώματος (κάθε αντίγραφο «φυλάσσεται» σε μια ομάδα 23 χρωμοσωμάτων, από τα οποία το ένα το κληρονομούμε απ' τη μητέρα μας και το άλλο απ' τον πατέρα μας), περιέχει περίπου 6,4 δισεκατομμύρια ζεύγη νουκλεοτιδίων. Συγκριτικά βέβαια,

το μιτοχονδριακό DNA είναι μικροσκοπικό — έχει λίγο περισσότερα από 16.500 νουκλεοτιδικά ζεύγη. Κι έτσι όμως, δεδομένου ότι το mtDNA που είχαμε να μελετήσουμε ήταν πάρα πολύ παλιό, η αλληλούχησή του αποτελούσε αληθινή πρόκληση.

Η πιο συχνή βλάβη που συμβαίνει αυθόρμητα στα μόρια του DNA, είτε πρόκειται για πυρηνικό DNA είτε για μιτοχονδριακό, είναι η απώλεια μιας αμινομάδας από την κυτοσίνη (C) και η μετατροπή της κυτοσίνης σε ένα νουκλεοτίδιο που, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν εμφανίζεται στο DNA, την ουρακίλη (U). Τα κύτταρα διαθέτουν ενζυμικά συστήματα που απομακρύνουν την ουρακίλη και την αντικαθιστούν με το σωστό νουκλεοτίδιο, την κυτοσίνη. Τελικά, οι ουρακίλες αποβάλλονται ως κυτταρικά «σκουπίδια». Από αναλύσεις νουκλεοτιδίων που έχουν υποστεί βλάβη και απορριφθεί μέσω των ούρων έχει υπολογιστεί ότι ημερησίως, σε κάθε κύτταρο, περίπου 10.000 κυτοσίνες μετατρέπονται σε ουρακίλες, μόνο και μόνο για ν' απορριφθούν και ν' αντικατασταθούν. Κι αυτό είναι μόνο ένα από τα πάμπολλα είδη χημικών επιθέσεων που δέχεται το γονιδιώμά μας. Λόγου χάρη, κάποια νουκλεοτίδια μπορεί να χαθούν, δημιουργώντας κενές θέσεις που σύντομα οδηγούν σε θραύση των αλυσίδων στα μόρια του DNA. Τη βλάβη αυτή έρχονται ν' αντιμετωπίσουν κάποια ένζυμα που καταλαμβάνουν τις κενές θέσεις προτού δημιουργηθεί ρήγμα στην αλυσίδα. Αν ωστόσο υπάρξει τελικά ρήγμα, άλλα ένζυμα αναλαμβάνουν να επανασυνδέσουν τα μόρια DNA. Στην πραγματικότητα, τα γονιδιώματα μέσα στα κύτταρά μας δεν θα έμεναν άθικτα ούτε για μία ώρα αν δεν τα συντηρούσαν αυτά τα συστήματα!

Όπως είναι φυσικό, χρειάζεται ενέργεια για να λειτουργήσουν τα συστήματα επιδιόρθωσης. Όταν πεθαίνουμε, σταματούμε ν' αναπνέουμε, στα κύτταρα του σώματός μας το οξυγόνο τελειώνει και, ως εκ τούτου, αυτά ξεμένουν από ενέργεια. Κατά συνέπεια, η επιδιόρθωση του DNA σταματά και γρήγορα

συσσωρεύονται βλάβες. Πέρα απ' τις αυθόρμητες χημικές βλάβες που συμβαίνουν διαρκώς στα ζωντανά κύτταρα, υπάρχουν και βλάβες που επέρχονται μετά θάνατον, όταν τα κύτταρα αρχίζουν ν' αποσυντίθενται. Μία από τις κύριες λειτουργίες των ζωντανών κυττάρων είναι να διατηρούν διαμερίσματα, όπου ένζυμα και άλλες ουσίες φυλάσσονται χωριστά το ένα από το άλλο. Σε μερικά υπάρχουν ένζυμα απαραίτητα για συγκεκριμένους τύπους επιδιόρθωσης, τα οποία μπορούν να κόψουν τις αλυσίδες του DNA. Σε άλλα διαμερίσματα υπάρχουν ένζυμα τα οποία καταστρέφουν το DNA διαφόρων μικροοργανισμών που μπορεί να συναντήσει και να εγκολπώσει ένα κύτταρο. Απ' τη στιγμή που ένας οργανισμός πεθαίνει και ξεμένει από ενέργεια, οι μεμβράνες των κυτταρικών του διαμερισμάτων αλλοιώνονται, τα ένζυμα που βρίσκονται εκεί διαρρέουν και τελικά αρχίζουν να καταστρέφουν το DNA. Μέσα σε λίγες ώρες από τον θάνατο, ενίοτε και μέρες, οι αλυσίδες του DNA θραύονται σε ολοένα και μικρότερα κομμάτια, ενώ ταυτοχρόνως συσσωρεύονται και άλλοι τύποι βλαβών. Παράλληλα, διάφορα βακτήρια που ζουν στο έντερο και τους πνεύμονες αρχίζουν να πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα, αφού το σώμα δεν μπορεί πια να τα περιορίσει. Όλες αυτές οι διαδικασίες τελικά αφανίζουν τη γενετική πληροφορία που υπάρχει αποθηκευμένη στο DNA — την πληροφορία που κάποτε επέτρεψε στο σώμα μας να σχηματιστεί, να συντηρηθεί και να λειτουργήσει. Όταν η συγκεκριμένη διαδικασία ολοκληρωθεί, χάνεται και το τελευταίο ίχνος της βιολογικής μας μοναδικότητας. Κατά μία έννοια, τότε μόνο ολοκληρώνεται ο φυσικός μας θάνατος.

Ωστόσο, σχεδόν κάθε ένα από τα τρισεκατομμύρια κύτταρα του σώματός μας περιέχει το πλήρες σύνολο του προσωπικού μας DNA. Επομένως, αν το DNA σε κάποια κύτταρα μιας απομακρυσμένης περιοχής του σώματος γλιτώσει απ' την πλήρη αποσύνθεση, τότε θα επιβιώσουν και κάποια ίχνη της γενετικής μας σύστασης. Θα αναφέρω ένα παράδειγμα: για να

τεθούν σε κίνηση οι ενζυμικές διαδικασίες που διασπών και τροποποιούν το DNA, απαιτείται νερό. Αν κάποια μέρη του σώματός μας αφυδατωθούν προτού ολοκληρωθεί η αποσύνθεση του DNA, τότε οι εν λόγω διαδικασίες θα σταματήσουν και τμήματα του DNA μας μπορεί να επιβιώσουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Κάτι τέτοιο συμβαίνει, λόγω χάρη, όταν ένα πτώμα αποσυντίθεται σε μια άνυδρη περιοχή, όπου και μουμιοποιείται. Τέτοιου είδους αφυδάτωση ολόκληρων σωμάτων μπορεί είτε να συμβεί τυχαία, γιατί τέτοιες συνθήκες επικρατούσαν στο περιβάλλον όπου έτυχε να βρεθεί το σώμα, είτε να γίνει σκόπιμα (θα ξέρετε, π.χ., ότι η τελετουργική μουμιοποίηση των νεκρών ήταν κάτι συνηθισμένο στην αρχαία Αίγυπτο, όπου πριν από 1.500-5.000 χρόνια μουμιοποιήθηκαν τα σώματα εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων, προκειμένου να εξασφαλίσουν οι ψυχές τους μεταθανάτια κατοικία).

Ακόμη κι αν δεν συμβεί μουμιοποίηση, όμως, κάποια μέρη του σώματος, π.χ. τα οστά και τα δόντια, ενδέχεται να επιβιώσουν για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την ταφή. Σε τέτοιους σκληρούς ιστούς υπάρχουν κύτταρα υπεύθυνα για λειτουργίες όπως ο σχηματισμός νέου οστού ύστερα από κάταγμα, τα οποία είναι ενσωματωμένα σε μικροσκοπικές κοιλότητες. Όταν τα οστικά κύτταρα πεθάνουν, το DNA τους μπορεί να διαφύγει, να προσδεθεί στο ανόργανο τμήμα του οστού κι έτσι να προφυλαχθεί από περαιτέρω επιθέσεις των ενζύμων. Επομένως, μια μικρή ποσότητα DNA μπορεί, με λίγη τύχη, να «γλιτώσει» την αποσύνθεση και τις βλάβες που εμφανίζονται αμέσως μετά τον θάνατο.

Παρ' όλα αυτά, ακόμη κι αν επιβιώσει λίγο DNA από το μεταθανάτιο χάος που επικρατεί στο σώμα, άλλες διεργασίες εξακολουθούν ν' αλλοιώνουν τη γενετική πληροφορία, έστω και με πιο βραδείς ρυθμούς. Λόγου χάρη, η συνεχής ροή ακτινοβολίας υποβάθρου που κατακλύζει τη Γη απ' το Διάστημα δημιουργεί δραστικά μόρια που τροποποιούν και καταστρέφουν το

DNA. Πέραν τούτου, οι διεργασίες που χρειάζονται νερό (π.χ. η απώλεια αμινομάδων από τις κυτοσίνες που οδηγεί στην εμφάνιση ουρακιλών) λαμβάνουν χώρα ακόμη κι αν το DNA συντηρηθεί υπό σχετικά ξηρές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει γιατί το DNA είναι τόσο υδρόφιλο, ώστε και σε άνυδρο περιβάλλον μόρια νερού δεσμεύονται σχεδόν πάντοτε στις σχισμές μεταξύ των δύο αλυσίδων του, κάτι που αυτομάτως επιτρέπει να συμβούν υδατοεξαρτώμενες χημικές αντιδράσεις. Η απώλεια της αμινομάδας (απαμίνωση) του νουκλεοτιδίου C είναι μια από τις ταχύτερες διεργασίες τέτοιου τύπου, η οποία αποσταθεροποιεί το DNA μέχρι τελικά να διασπαστούν οι αλυσίδες του. Αυτές και άλλες — άγνωστες ως επί το πλείστον — διεργασίες «ροκανίζουν» το DNA μας, ακόμη και αφού αυτό επιβιώσει απ' το κυτταρικό χάος που επιφέρει ο θάνατος. Μολονότι ο ρυθμός «απογύμνωσης» του DNA μπορεί να εξαρτάται από διάφορες συνθήκες, όπως τη θερμοκρασία και την οξύτητα, είναι εντούτοις σαφές ότι, έστω και υπό ευνοϊκές συνθήκες, τελικά δεν πρόκειται να γλιτώσουν ούτε και τα τελευταία ψήγματα πληροφορίας του γενετικού προγράμματος που μας επέτρεψε κάποτε να υπάρξουμε. Απ' ό,τι φαινόταν όμως, στο οστό του Νεάντερταλ που είχαμε αναλύσει με τους συνεργάτες μου, όλες αυτές οι διεργασίες, ακόμη και μετά από 40.000 χρόνια, δεν είχαν τελικά ολοκληρώσει την καταστροφή!

Ο Ματθίας είχε ανακτήσει την αλληλουχία από ένα τμήμα μιτοχονδριακού DNA μήκους 61 νουκλεοτιδίων. Για να το πετύχει αυτό, είχε φτιάξει πολλά αντίγραφα του με τη διαδικασία της αλυσιδωτής αντίδρασης πολυμεράσης (PCR). Για να επιβεβαιώσει τα ευρήματά μας, ξεκίνησε επαναλαμβάνοντας το πείραμα της PCR ακριβώς όπως το είχε κάνει την πρώτη φορά. Για την αντίδραση χρησιμοποίησε δύο μικρά συνθετικά τμήματα DNA (εκκινητές), που σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να προσδένονται σε δύο θέσεις μέσα στο μιτοχονδριακό DNA, οι οποίες απέχουν

μεταξύ τους 61 νουκλεοτιδικά ζεύγη. Οι εκκινητές αναμείχθηκαν με μικρή ποσότητα DNA από το οστό και με ένα ένζυμο που λέγεται DNA πολυμεράση. Το ένζυμο αυτό έχει την ικανότητα να συνθέτει νέες αλυσίδες DNA που αρχίζουν και τελειώνουν με τους εκκινητές. Ακολούθησαν τα στάδια μιας τυπικής PCR: θέρμανση του μείγματος ώστε οι δύο αλυσίδες DNA να διαχωριστούν ή μια απ' την άλλη, και οι εκκινητές να μπορέσουν να εντοπίσουν τις θέσεις-στόχους και να προσδεθούν σ' αυτές· και κατόπιν, σύνθεση δύο νέων αλυσίδων από το ένζυμο, το οποίο χρησιμοποιεί τους εκκινητές που έχουν προσδεθεί στις αλυσίδες DNA ως σημεία εκκίνησης. (Κάθε κύκλος πολλαπλασιασμού επαναλαμβάνεται για 30-40 γύρους, οπότε σε κάθε κύκλο ο αριθμός των αλυσίδων διπλασιάζεται· μετά τον πρώτο κύκλο έχουμε 4 αλυσίδες, στον επόμενο κύκλο 8, στον επόμενο 16, 32, κ.ο.κ., οδηγώντας έτσι σε πολλαπλά αντίγραφα του αρχικού DNA του οστού.)

Η PCR —μια απλή αλλά κομψή τεχνική που επινόησε το 1983 ο αντισυμβατικός ερευνητής Κέρυ Μούλλις (Kary Mullis)— αποτελεί ένα πανίσχυρο εργαλείο. Από ένα μόνο τμήμα DNA μπορεί κανείς, θεωρητικά, να ανακτήσει περί το ένα τρισεκατομμύριο αντίγραφα, ύστερα από 40 μόνο κύκλους! Αυτό ακριβώς ήταν που έκανε εφικτή την έρευνά μας — κατά τη γνώμη μου μάλιστα, ο Μούλλις άξιζε με το παραπάνω το Βραβείο Νόμπελ Χημείας που του απονεμήθηκε το 1993. Ωστόσο, αν κάτι δυσκόλεψε τη δουλειά μας, ήταν η εξαιρετική ευαισθησία της τεχνικής! Ένα υλικό όπως το δικό μας, που έχει εξαχθεί από κάποιο πανάρχαιο οστό (στο οποίο μπορεί να μην έχουν επιβιώσει παρά ελάχιστα αυθεντικά μόρια DNA, ή και κανένα), ενδέχεται να έχει μολυνθεί από ένα ή περισσότερα μόρια DNA σημερινών ανθρώπων. Τέτοια μόρια μπορεί να προέρχονται από χημικές ουσίες, πλαστικά σκεύη του εργαστηρίου ή σκόνη που μεταφέρει ο αέρας (τα σωματίδια σκόνης στους χώρους όπου ζουν και δουλεύουν άνθρωποι είναι σε μεγάλο

βαθμό θραύσματα ανθρώπινου δέρματος με κύτταρα γεμάτα DNA). Εναλλακτικά, το δείγμα μας μπορεί να είχε μολυνθεί με ανθρώπινο DNA ακόμα και κατά την ψηλάφηση του οστού, π.χ. στο μουσείο ή κατά την ανασκαφή. Με όλες αυτές τις ανησυχίες κατά νου, διαλέξαμε να μελετήσουμε την αλληλουχία του πιο ποικιλόμορφου τμήματος του μιτοχονδριακού DNA του Νεάντερταλ. Επειδή το συγκεκριμένο τμήμα συχνά διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο, η εξέτασή του τουλάχιστον θα έδειχνε αν το πείραμά μας είχε μολυνθεί με DNA ενός ή περισσότερων ανθρώπων, κι αυτό με τη σειρά του θα φανέρωνε ότι κάτι είχε πάει στραβά. Φαντάζεται, λοιπόν, κανείς τον ενθουσιασμό μας όταν εντοπίσαμε μια αλληλουχία DNA με αλλαγές που δεν είχαν ανιχνευθεί ποτέ ξανά σε άνθρωπο. Αν η αλληλουχία έμοιαζε με αλληλουχία σημερινού ανθρώπου, δεν θα μπορούσαμε με κανέναν τρόπο να προσδιορίσουμε αν αυτό σήμαινε ότι το mtDNA του Νεάντερταλ ήταν πράγματι όμοιο με κάποιων σημερινών ανθρώπων ή ότι απλώς βλέπαμε ένα τμήμα σημερινού mtDNA που είχε παρεισφρήσει στα πειράματά μας από κάποια «ύπουλη» πηγή, π.χ. πάνω σ' έναν κόκκο σκόνης.

Παρά τον ενθουσιασμό, το ενδεχόμενο της μόλυνσης με απασχολούσε. Μολαταύτα, ήμουν ήδη πολύ εξοικειωμένος με το φαινόμενο. Επί 12 τουλάχιστον χρόνια είχα ασχοληθεί με την εξαγωγή και ανάλυση αρχαίου DNA από εξαφανισμένα θηλαστικά, όπως αρκούδες των σπηλαίων, τριχωτά μαμούθ και βραδύποδες. Ύστερα από μια αλυσίδα αποκαρδιωτικών αποτελεσμάτων (εντόπιζα ανθρώπινο μιτοχονδριακό DNA σχεδόν σε κάθε ζωικό οστό που ανέλυα με PCR), αφέριωσα πάρα πολύ χρόνο για να σκεφτώ και να σχεδιάσω μεθόδους ελαχιστοποίησης της μόλυνσης. Έτσι λοιπόν, ο Ματθίας πραγματοποιούσε όλες τις απομονώσεις γενετικού υλικού και τα άλλα πειράματά, μέχρι τον πρώτο θερμοκρασιακό κύκλο της PCR, σ' έναν μικρό χώρο που διατηρούσαμε σχολαστικά καθαρό και τελείως απομονωμένο από το υπόλοιπο εργαστήριο. Από τη στιγμή

που το αρχαίο DNA, οι εκκινητές και τα άλλα αναγκαία συστατικά για την PCR τοποθετούνταν σ' έναν δοκιμαστικό σωλήνα, τον οποίο σφραγίζαμε, οι θερμοκρασιακοί κύκλοι, όπως και όλα τα μετέπειτα πειράματα, διεξάγονταν στο κανονικό εργαστήριο. Στο καθαρό εργαστήριο περνούσαμε όλες τις επιφάνειες με χλωρίνη μία φορά την εβδομάδα, και κάθε βράδυ γινόταν ακτινοβόληση του χώρου με υπεριώδες φως, ώστε να καταστραφεί κάθε μόριο DNA που είχε ενδεχομένως μεταφερθεί εκεί με τη σκόνη. Επιπλέον, ο Ματθίας έμπαινε στο καθαρό εργαστήριο από έναν προθάλαμο, όπου ο ίδιος και όσοι δούλευαν εκεί φορούσαν προστατευτική στολή, μάσκα προσώπου, δίχτυ μαλλιών και αποστειρωμένα γάντια. Όλα τα απαραίτητα αντιδραστήρια και όργανα παραδίδονταν κατευθείαν στο καθαρό εργαστήριο· τίποτα δεν επιτρέπαμε να μπει εκεί μέσα από άλλα μέρη του ινστιτούτου. Επιπλέον, ο Ματθίας κι οι συνεργάτες του έπρεπε να ξεκινούν τη μέρα τους από το καθαρό εργαστήριο κι όχι από άλλους χώρους εργαστηριακής έρευνας όπου αναλύονταν μεγάλες ποσότητες DNA. Αν ένας ερευνητής έμπαινε σε οποιοδήποτε άλλο εργαστήριο, τότε αυτομάτως απαγορευόταν η είσοδός του στο καθαρό εργαστήριο όλη την υπόλοιπη μέρα. Κοντολογίς, όχι μόνο είχα γίνει παρανοϊκός με την πιθανότητα μόλυνσης από DNA, αλλά και θεωρούσα καθ' όλα εύλογο να παίρνω τέτοιες προφυλάξεις!

Ακόμα και υπ' αυτές τις συνθήκες όμως, στα αρχικά πειράματα του Ματθίας εντοπίσαμε ενδείξεις μόλυνσης από ανθρώπινο DNA. Αφού πολλαπλασίασε με PCR ένα τμήμα του μιτοχονδριακού DNA από το οστό, ο Ματθίας κλωνοποίησε σε βακτήρια την παρτίδα που προέκυψε και η οποία θεωρητικά αποτελούνταν από πανομοιότυπα αντίγραφα DNA. Το έκανε αυτό για να ελέγξει αν στα κλωνοποιημένα μόρια υπήρχαν περισσότεροι του ενός τύποι mtDNA. Το σκεπτικό είχε ως εξής: Κάθε βακτήριο προσλαμβάνει ένα μόνο μόριο 61 νουκλεοτιδίων, ενσωματωμένο σ' έναν μοριακό φορέα που ονομάζεται

πλασμίδιο. Κατόπιν αναπτύσσεται έως ότου σχηματιστεί ένας κλώνος από εκατομμύρια πανομοιότυπα κύτταρα, τα οποία φέρουν πολλαπλά αντίγραφα του μορίου των 61 νουκλεοτιδίων που προσέλαβε το πρώτο βακτήριο. Συνεπώς, αν αλληλουχούσαμε κάποιους απ' αυτούς τους κλώνους, θα μπορούσαμε να έχουμε μια σφαιρική εικόνα για την οποιαδήποτε διαφορετική αλληλουχία DNA υπήρχε στον πληθυσμό των μορίων. Στα αρχικά πειράματα του Μαθθίας παρατηρήσαμε 17 κλωνοποιημένα μόρια παρόμοια ή ταυτόσημα μεταξύ τους, τα οποία όμως διέφεραν από τα 2.000 και πλέον μιτοχονδριακά DNA σημερινών ανθρώπων που χρησιμοποιούσαμε ως συγκριτικό δείγμα· παράλληλα όμως, ανιχνεύσαμε κι ένα μόριο mtDNA πανομοιότυπο με μια αλληλουχία που απαντά σε κάποιους σημερινούς ανθρώπους. Τούτο το εύρημα αποκάλυπτε αναμφίβολα την ύπαρξη μόλυνσης, πιθανώς από κάποιον συντηρητή του μουσείου ή απ' όποιον είχε ακουμπήσει το οστό στα 140 χρόνια που μεσολάβησαν από την ανακάλυψή του.

Ως εκ τούτου, το πρώτο που έκανε ο Μαθθίας στην προσπάθειά του να αναπαραγάγει το αρχικό αποτέλεσμα ήταν να επαναλάβει την PCR και την κλωνοποίηση. Αυτή τη φορά εντόπισε 10 κλώνους με εκείνη τη μοναδική αλληλουχία που τόσο μας είχε ενθουσιάσει και 2 που έμοιαζαν να προέρχονται από σημερινό άνθρωπο. Κατόπιν πήρε άλλο ένα τμήμα υλικού από το οστό, έκανε πάλι PCR και κλωνοποίηση, και ανέκτησε 10 κλώνους από τον ενδιαφέροντα τύπο και 4 που έμοιαζαν με mtDNA σημερινών ανθρώπων. Έτσι, ήμασταν πλέον ικανοποιημένοι· το αρχικό αποτέλεσμα είχε περάσει τις πρώτες δοκιμασίες — μπορούσαμε πια να επαναλαμβάνουμε τις ίδιες ακριβώς ενέργειες και να εντοπίζουμε κάθε φορά την ίδια ασυνήθιστη αλληλουχία.

Κατόπιν ο Μαθθίας άρχισε να «μετατοπίζεται» κατά μήκος του μιτοχονδριακού DNA: χρησιμοποίησε άλλους εκκινήτες, σχεδιασμένους για να πολλαπλασιάζουν τμήματα που αλλη-