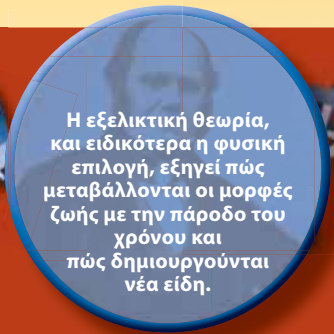


Θεματική ενοποίηση



Η φυσική ανθρωπολογία είναι μια βιολογική επιστήμη που διερευνά την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους.



Η εξελικτική θεωρία, και ειδικότερα η φυσική επιλογή, εξηγεί πώς μεταβάλλονται οι μορφές ζωής με την πάροδο του χρόνου και πώς δημιουργούνται νέα είδη.



Εισαγωγή στη φυσική ανθρωπολογία

1

Μαθησιακοί στόχοι για τον φοιτητή

Εισαγωγή

Μια μέρα, πριν από περίπου 3,7 εκατομμύρια χρόνια, ίσως κατά τη διάρκεια της εποχής των βροχών, στη σημερινή βόρεια Τανζανία της ανατολικής Αφρικής, δύο ή τρία ζώα διέσχισαν την ανοικτή **σαβάνα** περπατώντας στα δυο τους πόδια. Τα άτομα αυτά ήταν πρώιμοι **ανθρωπογονικοί**, μέλη της ίδιας γενεαλογικής γραμμής που περιλαμβάνει το δικό μας **είδος**, τον *Σοφό άνθρωπο* (*Homo sapiens*). Ευτυχώς για εμάς, υλικές μαρτυρίες εκείνης της διάβασής τους υπάρχουν έως σήμερα υπό τη μορφή των απολιθωμένων αποτυπωμάτων των πελμάτων τους, που διατηρήθηκαν στα σκληρυμένα ηφαιστειακά ιζήματα. Η τύχη έφερε έτσι τα πράγματα, ώστε ένα κοντινό ηφαιστείο να εκραγεί λίγο μετά την αποτύπωση των φτερνών και των δαχτύλων τους στο υγρό χώμα. Η βροχή από ηφαιστειακή τέφρα που ακολούθησε κάλυψε τα πάντα στο έδαφος. Με το πέρασμα του χρόνου, το στρώμα που περιείχε την τέφρα σκλήρυνε και μετατράπηκε σε ένα ιζήμα που διατήρησε με αξιοθαύμαστο τρόπο τα αποτυπώματα πολυάριθμων ζώων, συμπεριλαμβανομένων και των πρώιμων εκείνων ανθρωπογονικών, για περίπου 4 εκατομμύρια χρόνια (**Εικ. 1-1**).

Από τα διάσημα πλέον αυτά αποτυπώματα προκύπτει ότι δύο άτομα, το ένα πιο μικρόσωμο από το δεύτερο, πιθανόν περπατώντας το ένα δίπλα στο άλλο, άφησαν παράλληλες σειρές από ίχνη στο έδαφος. Επειδή όμως τα ίχνη τού πιο μεγάλωσμου ατόμου δεν είναι πλήρως ευδιάκριτα, πιθανόν λόγω της επικάλυψής τους από εκείνα ενός τρίτου, δεν είναι απόλυτα σαφές πόσα άτομα τελικά πραγματοποιήσαν εκείνο το ταξίδι, εκείνη την ημέρα, πίσω στο τόσο μακρινό παρελθόν. Αυτό που είναι σαφές είναι το γεγονός ότι τα αποτυπώματα ανήκουν σε ένα ζώο που περπατούσε συστηματικά στα δύο πόδια (**διποδισμός**), και αυτό ακριβώς το στοιχείο μαρτυρά ότι οι αρχαίοι εκείνοι ταξιδιώτες ήταν ανθρωπογονικοί.

Αφού κατανοήσετε πλήρως την ύλη αυτού του κεφαλαίου, θα είστε σε θέση:

- ▶ Να περιγράψετε τον επιστημονικό κλάδο της ανθρωπολογίας, όπως αυτός εξασκείται στις ΗΠΑ, τα πεδία στα οποία διαιρείται και την ευρύτερη ανθρωπολογική προοπτική στην αναζήτηση των τρόπων με τους οποίους ο άνθρωπος συνδέεται ως προς τη βιολογία και τη συμπεριφορά με τα άλλα είδη.
- ▶ Να δώσετε μια συνοπτική περιγραφή των σημαντικότερων τομέων της φυσικής ή βιολογικής ανθρωπολογίας.
- ▶ Να κατανοείτε τις βασικές αρχές της επιστημονικής μεθόδου και τη σημασία του ελέγχου μιας επιστημονικής υπόθεσης.
- ▶ Να εξηγήσετε για ποιο λόγο οι επιστημονικές θεωρίες δεν είναι απλώς εικασίες ή προαισθήματα των ερευνητών, καθώς συχνά ο όρος (θεωρία) χρησιμοποιείται και ερμηνεύεται εσφαλμένα.
- ▶ Να αναγνωρίσετε ότι η κατανόηση της φύσης της επιστημονικής έρευνας μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων που προάγουν την κριτική σκέψη, οι οποίες, με τη σειρά τους, αποτελούν μια εξαιρετικά σημαντική έκβαση της πανεπιστημιακής μόρφωσης.

Πέρα από τα αποτυπώματα των πελμάτων, οι επιστήμονες που εργάζονται στη συγκεκριμένη παλαιοντολογική θέση (στο Λαετόλι), καθώς και σε άλλες περιοχές, έχουν ανακαλύψει μεγάλο αριθμό απολιθωμένων οστών που ανήκουν στο είδος *Αυστραλοπίθηκος του Αφάρ* (*Australopithecus afarensis*). Επειδή τα απολιθωμένα αυτά σκελετικά υπολείμματα έχουν μελετηθεί εκτενώς, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ότι αυτοί οι ανθρωπογονικοί είχαν μεγάλες ανατομικές ομοιότητες με εμάς, με τη διαφορά ότι το μέγεθος του εγκεφάλου τους ήταν κατά 1/3 μικρότερο από το δικό μας. Πιθανόν χρησιμοποιούσαν πέτρες και ξύλα ως απλά εργαλεία, δεν υπάρχουν όμως στοιχεία που να υποστηρίζουν ότι κατασκεύαζαν λίθινα εργαλεία. Στην πραγματικότητα, βρίσκονταν ως επί το πλείστον στο έλεος των στοιχείων της φύσης. Σίγουρα δεν ήταν σε θέση να τρέξουν πιο γρήγορα από τους περισσότερους θηρευτές τους και είχαν σχετικά μικρούς κυνόδοντες, άρα συγκρινόμενοι με άλλα ζώα, δεν διέθεταν αξιόλογες άμυνες.

Σαβάνα Μια μεγάλη έκταση ποώδους βλάστησης με διάσπαρτα δέντρα και θάμνους. Οι σαβάνες συναντώνται σε πολλές περιοχές του κόσμου με ξηρό και θερμό έως τροπικό κλίμα.

Ανθρωπογονικοί Κοινολεκτικός όρος για τα μέλη της εξελικτικής ομάδας που περιλαμβάνει τον σύγχρονο άνθρωπο και τους εξαφανισμένους διποδούς συγγενείς του.

Είδος Ομάδα έμβιων οργανισμών που έχουν την ικανότητα να αναπαραχθούν μεταξύ τους και να αποκτήσουν γόνιμους απογόνους. Τα μέλη ενός είδους είναι αναπαραγωγικά απομονωμένα από τα μέλη όλων των άλλων ειδών (δηλαδή δεν μπορούν να ζευγαρώσουν μαζί τους και να αποκτήσουν γόνιμους απογόνους).

Διποδισμός Η συνηθισμένη συστηματική βάδιση στα δύο πόδια.

Έχουμε θέσει εκατοντάδες ερωτήματα αναφορικά με τους ανθρωπογονικούς του Λαετόλι, αλλά δεν θα καταφέρουμε ποτέ να δώσουμε απάντηση σε όλα. Ακολούθησαν μια πορεία που τους οδήγησε στο μέλλον τους, ενώ το ταξίδι τους έλαβε τέλος τόσο πίσω στο παρελθόν, ώστε το μυαλό μας δεν μπορεί να συλλάβει πόσος χρόνος έχει πραγματικά περάσει από εκείνη την ημέρα. Εναπόκειται όμως σε εμάς να μάθουμε όσα περισσότερα μπορούμε για αυτούς, και καθώς συνεχίζουμε να τους γνωρίζουμε, το μεγάλο ταξίδι τους συνεχίζεται.

Στις 20 Ιουλίου 1969, εκατοντάδες εκατομμύρια τηλεθεατές παρακολούθησαν δύο ανθρώπους να βγαίνουν από μια σεληνάκατο και να βηματίζουν στην επιφάνεια της σελήνης. Οι άνθρωποι που γεννήθηκαν μετά από αυτήν την ημέρα έχουν ζήσει στην εποχή της εξερεύνησης του διαστήματος και πολλοί μπορεί να λαμβάνουν την πρώτη εκείνη προσσελήνωση λίγο πολύ ως δεδομένη. Η σημασία όμως του πρώτου περιπάτου στη Σελήνη δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί, διότι εκφράζει την υποτιθέμενη υπεροχή του ανθρώπου απέναντι στις δυνάμεις της φύσης που ορίζουν τη ζωή μας στη Γη. Για πρώτη φορά στην Ιστορία, άνθρωποι περπάτησαν στην επιφάνεια ενός ουράνιου σώματος το οποίο, όσο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε, δεν έχει φιλοξενήσει ποτέ καμία μορφή ζωής.

Καθώς οι αστροναύτες συνέλεξαν γεωλογικά δείγματα βηματίζοντας εύθυμα σε ένα περιβάλλον σχεδόν μηδαμινής βαρύτητας, άφησαν πίσω τους ίχνη της σύντομης παρουσίας τους, υπό τη μορφή αποτυπωμάτων των ποδιών τους

στη σεληνιακή σκόνη (Εικ. 1-2). Στην επιφάνεια της Σελήνης, όπου δεν φυσάει αέρας ούτε βρέχει, τα αποτυπώματα παραμένουν αναλλοίωτα έως σήμερα. Διασώζονται ως μια σιωπηλή μαρτυρία της σύντομης επίσκεψης ενός όντος με μέτριο ανάστημα αλλά μεγάλο εγκέφαλο, το οποίο αποφάσισε να προκαλέσει τις ίδιες φυσικές δυνάμεις που το δημιούργησαν.

Μπορεί να αναρωτιέστε για ποιον λόγο τα αποτυπώματα των πρώιμων ανθρωπογονικών παρουσιάζουν το παραμικρό ενδιαφέρον για εσάς και πώς είναι δυνατόν να σχετίζονται με τη δική σας ζωή. Μπορεί επίσης να αναρωτιέστε για ποιον λόγο στην εισαγωγή ενός εγχειριδίου φυσικής **ανθρωπολογίας** γίνεται λόγος για δύο εμφανώς ασύνδετα μεταξύ τους γεγονότα, όπως οι αρχαίοι ανθρωπογονικοί που διασχίζουν την αφρικανική σαβάνα και οι αστροναύτες που κάνουν περίπατο στη Σελήνη. Το γεγονός όμως είναι ότι τα δύο αυτά γεγονότα συνδέονται πολύ στενά μεταξύ τους.

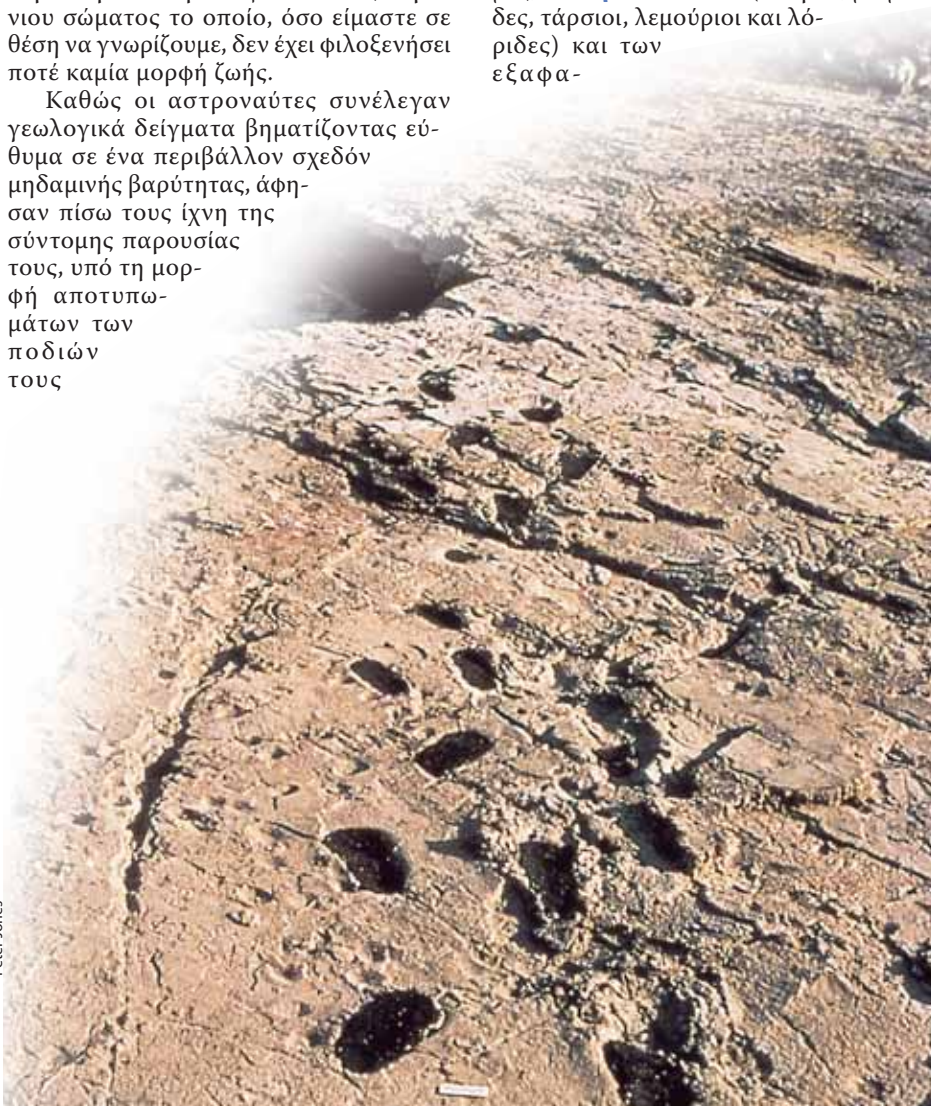
Η φυσική, ή βιολογική, ανθρωπολογία (και οι δύο όροι είναι δόκιμοι) είναι ένα επιστημονικό πεδίο που πραγματεύεται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της βιολογίας και της συμπεριφοράς του ανθρώπου, των κοντινότερων ζώων συγγενών μας, των **πρωτεύοντων** (πίθηκοι, μαϊμούδες, τάρσοι, λεμούριοι και λόριδες) και των εξαφα-

► **Εικόνα 1-1** Αποτυπώματα πελμάτων πρώιμων ανθρωπογονικών στο Λαετόλι της Τανζανίας. Τα ίχνη στην αριστερή πλευρά έγιναν από ένα άτομο, ενώ εκείνα στη δεξιά πλευρά φαίνεται να έγιναν από δύο άτομα, εκ των οποίων το δεύτερο πατούσε στα ίχνη του πρώτου.

Ανθρωπολογία Ο επιστημονικός κλάδος που μελετά τον ανθρώπινο πολιτισμό και τις εξελικτικές πτυχές της ανθρώπινης βιολογίας. Περιλαμβάνει την πολιτισμική ανθρωπολογία, την αρχαιολογία, τη γλωσσολογία και τη φυσική ή βιολογική ανθρωπολογία.

Πρωτεύοντα Τα μέλη της τάξης των πρωτεύοντων, που περιλαμβάνει τους λεμούριους, τους λόριδες, τους τάρσιους, τις μαϊμούδες, τους πιθήκους και τον άνθρωπο.

Peter Jones



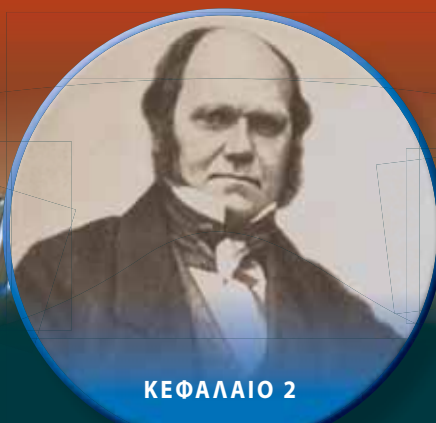
Θεματική ενοποίηση

Εικόνα 1-4 Ο άνθρωπος μοιράζεται βιολογικές ομοιότητες με όλες τις μορφές ζωής. Το κεντρικό αυτό θέμα του βιβλίου θα συναντάται σε κάθε κεφάλαιο όπως περιγράφεται στην εικόνα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η φυσική ανθρωπολογία είναι μια βιολογική επιστήμη που διερευνά την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η εξελικτική θεωρία, και ειδικότερα η φυσική επιλογή, εξηγεί πώς μεταβάλλονται οι μορφές ζωής με την πάροδο του χρόνου και πώς δημιουργούνται τα νέα είδη.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 17

Οι άνθρωποι πρόσφατα ξεχώρισαν το περιβάλλον τους από τις υπόλοιπες μορφές ζωής και με ταχύτατους ρυθμούς αλλάζουν τον πλανήτη.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 16

Η ανάπτυξη και η προσαρμογή του ανθρώπου γίνεται καλύτερα κατανοητή μέσα από μια εξελικτική οπτική.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

Οι άμεσοι πρόγονοι των σύγχρονων ανθρώπων, συμπεριλαμβανομένων και των Νεάντερταλ, ήταν σχεδόν όπως κι εμείς, αλλά είχαν κάποιες ανατομικές και συμπεριφορικές διαφορές.



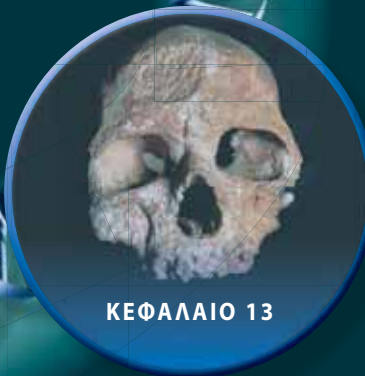
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15

Μέσω της φυσικής επιλογής, οι άνθρωποι προσαρμόστηκαν και συνεχίζουν να προσαρμόζονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων της ηλιακής ακτινοβολίας, του ψύχους, του υψόμετρου και, σημαντικότερο όλων, των μολυσματικών ασθενειών.



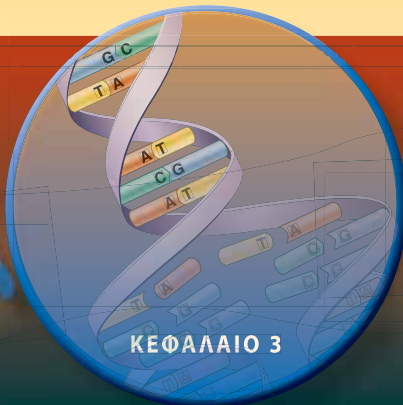
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

Η ποικιλομορφία του σύγχρονου ανθρώπου γίνεται καλύτερα κατανοητή εξετάζοντας τις ομοιότητες και τις διαφορές στο DNA μεταξύ των πληθυσμών.



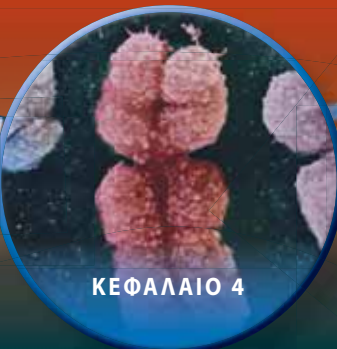
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

Οι σύγχρονοι άνθρωποι πρώτα εξελίχθηκαν στην Αφρική και αργότερα εξαπλώθηκαν σε άλλες περιοχές του κόσμου, όπου περιστασιακά επιμείχθηκαν με τους Νεάντερταλ και άλλους αρχαίους ανθρώπους.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Το DNA είναι η βάση της ζωής.



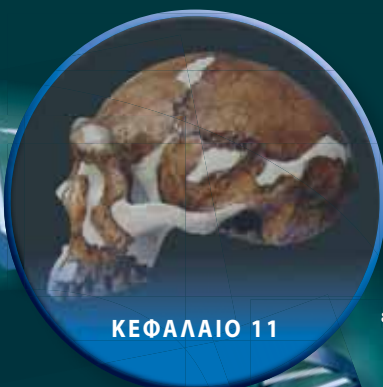
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Η εξέλιξη συμβαίνει όταν αλλάζει το DNA και η γενετική ποικιλότητα επηρεάζεται περαιτέρω από τη φυσική επιλογή ή και άλλους παράγοντες.



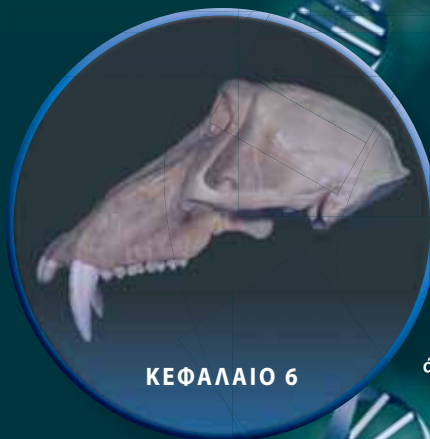
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Οι άνθρωποι ανήκουμε και στα σπονδυλωτά και στα θηλαστικά ζώα και έχουμε μοιραστεί μαζί τους εκατομμύρια χρόνια εξελικτικής πορείας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Η πρώτη διασπορά των ανθρωπογονικών εκτός Αφρικής ξεκίνησε πριν από περίπου 2 εκατομμύρια χρόνια και χρειάστηκε άλλο 1 εκατομμύριο χρόνια για να εξαπλωθούν σχεδόν σε όλη την Ευρασία.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εφόσον οι άνθρωποι είναι πρωτεύοντα, έχουν πολλά κοινά βιολογικά γνωρίσματα με άλλα πρωτεύοντα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Τα πρώτα ζώα που προσομοιάζουν περισσότερο στον άνθρωπο (οι ανθρωπογονικοί) εμφανίστηκαν στην Αφρική περίπου 6 εχπ και εξελίχθηκαν σε μια ποικιλία διαφορετικών ειδών.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Η παλαιανθρωπολογία, η οποία περιλαμβάνει τη φυσική ανθρωπολογία, την αρχαιολογία και τη γεωλογία, παρέχει την επιστημονική βάση για την κατανόηση της εξέλιξης των ανθρωπογονικών.



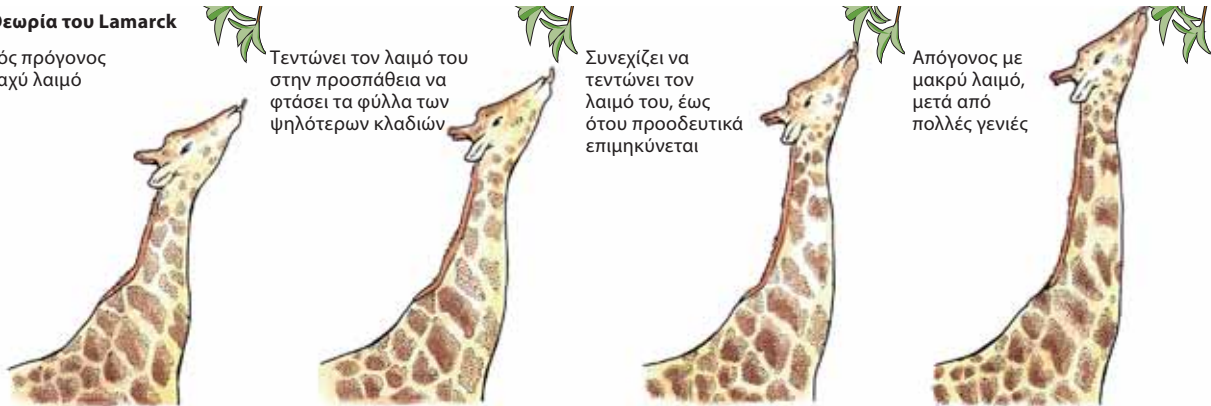
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Εν μέρει λόγω της κοινής εξελικτικής πορείας, πολλές ανθρώπινες συμπεριφορές απαντώνται και σε άλλα πρωτεύοντα.

Απολιθωματικά στοιχεία υποδεικνύουν ότι οι καταβολές μας ως πρωτεύοντα χρονολογούνται τουλάχιστον 65 εκατομμύρια χρόνια πίσω.

α Θεωρία του Lamarck

Αρχικός πρόγονος με βραχύ λαιμό



Τεντώνει τον λαιμό του στην προσπάθεια να φτάσει τα φύλλα των ψηλότερων κλαδιών

Συνεχίζει να τεντώνει τον λαιμό του, έως ότου προσδευτικά επιμηκύνεται

Απόγονος με μακρύ λαιμό, μετά από πολλές γενιές

β Θεωρία των Δαρβίνου-Wallace

Αρχικός πληθυσμός που παρουσιάζει ποικιλότητα ως προς το μήκος του λαιμού



Η φυσική επιλογή ευνοεί τους μακρύτερους λαιμούς

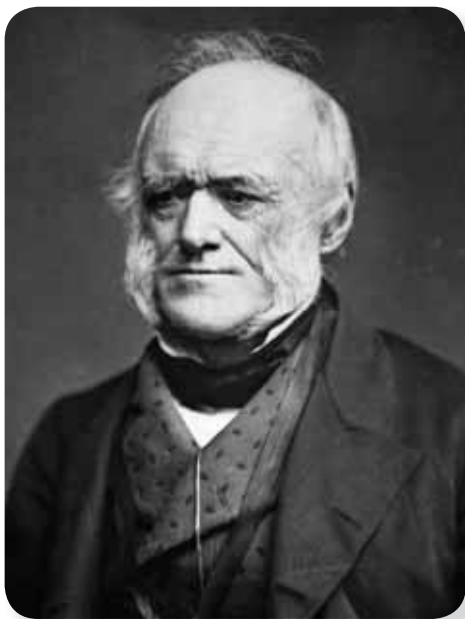
Το ευνοημένο χαρακτηριστικό μεταβιβάζεται στην επόμενη γενιά σε μεγαλύτερο ποσοστό από τον βραχύτερο λαιμό

Με τη διαδοχή πάρα πολλών γενεών, ο πληθυσμός εξακολουθεί να διαθέτει ποικιλομορφία, αλλά παρουσιάζει μια γενικευμένη αύξηση στο μήκος του λαιμού

▲ Εικόνα 2-4 Αντικρουόμενες ιδέες για τους μηχανισμούς εξέλιξης. **(α)** Σύμφωνα με τη θεωρία του Lamarck, τα επίκτητα χαρακτηριστικά μεταβιβάζονται στις επόμενες γενιές. Καμηλοπαρδάλεις με βραχύ λαιμό, στην προσπάθειά τους να φτάσουν τα φύλλα στα ψηλότερα κλαδιά, τεντώνουν τον λαιμό τους. Με αυτόν τον τρόπο, ο λαιμός επιμηκύνεται. Στη συνέχεια, το επίκτητο αυτό χαρακτηριστικό μεταβιβάζεται στους απογόνους του ζώου, οι οποίοι γεννιούνται με μακρύτερο λαιμό. **(β)** Σύμφωνα με τη θεωρία των Δαρβίνου-Wallace για την εξέλιξη μέσω της φυσικής επιλογής, σε κάθε πληθυσμό καμηλοπαρδάλων υπάρχει εγγενής ποικιλότητα ως προς το μήκος του λαιμού. Αν ένα ζώο με μακρύτερο λαιμό πλεονεκτεί σε σχέση με άτομα με βραχύτερο λαιμό, ως προς την πρόσβαση στην τροφή, το χαρακτηριστικό αυτό θα μεταβιβαστεί σε περισσότερους απογόνους του και, με τη διαδοχή πολλών γενεών, ο μακρύς λαιμός θα εδραιωθεί στους πληθυσμούς των καμηλοπαρδάλων.

τον αφανισμό όλων των ειδών της τοπικής χλωρίδας και πανίδας. Οι περιοχές αυτές στη συνέχεια αποικίζονταν από νέες, παρόμοιες μορφές ζωής που μετανάστευαν από τις ανεπηρέαστες από τα καταστροφικά συμβάντα περιοχές. Προκειμένου η υπόθεσή του να συνάδει με τα διαρκώς περισσότερα ευρήματα απολιθωμάτων, που μαρτυρούσαν την τάση των οργανισμών να αυξάνουν σε πολυπλοκότητα με το πέρασμα του χρόνου, ο Cuvier πρότεινε ότι μετά από κάθε καταστροφή, οι νέοι μετανάστες είχαν περισσότερα κοινά μορφολογικά χαρακτηριστικά με τα ζώοντα είδη ακριβώς επειδή είχαν προκύψει από πιο πρόσφατα συμβάντα δημιουργίας. Με αυτόν τον τρόπο, η ερμηνεία του Cuvier για την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των οργανισμών με την πάροδο του χρόνου, μολονότι ανέφευγε οποιαδήποτε αμαφορά στην έννοια της εξέλιξης, προσέφερε μια ικανοποιητική εξήγηση για τις μαρτυρίες της βιολογικής μεταβολής που είχαν τόσο καλά διατηρηθεί στο απολιθωματικό αρχείο.

Το 1798, ο Άγγλος οικονομολόγος Thomas Malthus (1766–1834) έγραψε το *Δοκίμιο για την αρχή του πληθυσμού* (*An Essay on the Principle of Population*). Το σπουδαίο αυτό έργο υπήρξε πηγή έμπνευσης τόσο για τον Κάρολο Δαρβίνο όσο και για τον Alfred Russel Wallace κατά την ανεξάρτητη πορεία τους προς την ανακάλυψη των αρχών της φυσικής επιλογής. Είναι ενδιαφέρον ότι, παρόλο που η πραγματεία του Malthus άσκησε τεράστια επιρροή στη σκέψη τους, ο ίδιος αδιαφορούσε για το ζήτημα της βιολογικής μεταβολής. Για την ακρίβεια, υποστήριζε την ανάγκη να τεθούν όρια στην αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού. Επεσήμανε ότι στη φύση, οι ζωικοί πληθυσμοί έχουν την τάση να αυξάνουν τους αριθμούς τους, ενώ η διαθεσιμότητα των πόρων (τροφή και νερό) παραμένει ως επί το πλείστον σταθερή. Επομένως, το μέγεθος του πληθυσμού ελέγχεται από τη διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων. Ακόμη και αν οι άνθρωποι είναι σε θέση να μειώσουν τις πιέσεις στο μέγεθος του



▲ **Εικόνα 2-5** Πορτρέτο του Charles Lyell.

πληθυσμού τους, μέσω της παραγωγής μεγαλύτερης ποσότητας τροφής, ο Malthus υποστήριζε ότι αν ο πληθυσμός μας συνεχίζει να αυξάνεται, η ανεπάρκεια σε τροφή και νερό θα είναι μια μόνιμη πηγή λιμού και δυστυχίας για την ανθρωπότητα. Δυστυχώς, στην εποχή μας η υπόθεση του Malthus τίθεται σε δοκιμή, καθώς ο ανθρωπίνος πληθυσμός το 2011 άγγιξε τα 7 δισεκατομμύρια!

Τόσο ο Δαρβίνος όσο και ο Wallace επέκτειναν την εφαρμογή των αρχών της μαλθουσιανής θεωρίας σε όλους τους έμβιους οργανισμούς και όχι μόνο στον άνθρωπο. Επιπροσθέτως, αναγνώρισαν ένα πολύ σημαντικό γεγονός: ότι όταν το μέγεθος του πληθυσμού περιορίζεται από τη διαθεσιμότητα των πόρων, παρατηρείται διαρκής ανταγωνισμός μεταξύ των ατόμων για την πρόσβαση σε αυτούς. Πρόκειται για μια σπουδαία επισήμανση, διότι ο ανταγωνισμός μεταξύ των ατόμων είναι το κλειδί της κατανόησης της φυσικής επιλογής.

Ο Charles Lyell (1797–1875) θεωρείται ο θεμελιωτής της σύγχρονης γεωλογίας (**Εικ. 2-5**). Ήταν δικηγόρος, γεωλόγος και, για πολλά χρόνια, φίλος και μέντορας του Κάρολου Δαρβίνου. Πριν γνωρίσει τον Δαρβίνο το 1836, ο Lyell είχε γίνει αποδεκτός στην ελίτ των επιστημονικών κύκλων της Ευρώπης, χάριν του φημισμένου έργου του *Αρχές της Γεωλογίας*, που εκδόθηκε για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια των ετών 1830–1833.

Στο σπουδαίο αυτό έργο, ο Lyell υποστήριζε ότι οι γεωλογικές διεργασίες που παρατηρούνται σήμερα είναι ακριβώς οι ίδιες που υπήρχαν και στο παρελθόν. Ο Lyell δεν ήταν ο εμπνευστής της θεωρίας αυτής, που ονομάστηκε **γεωλογικός ομοιομορφισμός**, αλλά ο φυσιοδίφης James Hutton στα τέλη του 18ου αιώνα. Ακόμη και έτσι όμως, ο Lyell ήταν εκείνος που κατέδειξε ότι δυνάμεις της φύσης όπως ο αέρας, η διάβρωση από το νερό, τοπικές πλημμύρες, παγετός, αποικοδόμηση φυτικής ύλης, εκρήξεις ηφαιστείων, σεισμοί και κινήσεις παγετώνων είχαν όλες συμβάλει κατά το παρελθόν στη διαμόρφωση της σημερινής όψης του πλανήτη. Πέραν τούτου, οι προαναφερόμενες διεργασίες είναι διαχρονικές, υποδηλώνοντας ότι η γεωλογική μεταβολή συνεχιζόταν και ότι οι δυνάμεις που υποκινούσαν τη γεωλογική αλλαγή ήταν αργές και συνεχείς, ή *ομοιογενείς*, στο πέρασμα του χρόνου. Με άλλα λόγια, οι γεωλογικοί σχηματισμοί του φλοιού της γης (οροσειρές, ποταμοί, η θέση των ηπείρων κ.ά.) μπορεί να διαφοροποιούνται με την πάροδο του χρόνου, αλλά οι *υποκεί-*

μενες *διεργασίες* που τους προκαλούν λειτουργούν διαχρονικά με τον ίδιο τρόπο.

Ο Lyell έδωσε επίσης έμφαση στο προφανές: για να προκληθούν μνημειώδεις αλλαγές στη γεωμορφολογία του πλανήτη από τόσο αργές διεργασίες, η ηλικία της Γης πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από όσο υποπευούνταν οι άνθρωποι μέχρι τότε. Υποστηρίζοντας την έννοια του ασύλληπτα μεγάλου γεωλογικού χρόνου και κλονίζοντας έτσι θεωρήσεις για την ηλικία της Γης από λίγες χιλιάδες σε πολλά εκατομμύρια χρόνια, ο Lyell άλλαξε ολόκληρο το πλαίσιο της επιστημονικής θεώρησης του γεωλογικού παρελθόντος. Η έννοια «του βάθους χρόνου» που εισήγαγε ο Lyell (Gould, 1987), παραμένει, λοιπόν, ως μια από τις σημαντικότερες συμβολές του στην ανακάλυψη των αρχών της εξέλιξης, διότι η απεραντοσύνη του γεωλογικού χρόνου προσέφερε στις επίσης αργές διεργασίες του εξελικτικού μηχανισμού το απαραίτητο χρονικό περιθώριο δράσης (**Εικ. 2-6**).

Όπως βλέπετε, οι απαρχές της εξελικτικής θεωρίας έχουν βαθιές ρίζες στο τέλος του 18ου και στις αρχές του 19ου αιώνα. Εκείνη την εποχή, πολλοί ακόμη άνθρωποι, λιγότερο γνωστοί σήμερα, αλλά με πολύ σημαντικό επιστημονικό έργο, επηρέασαν την πνευματική κίνηση γύρω από την αναζήτηση των απαρχών της ζωής. Μία από αυτούς ήταν η Mary Anning (1799–1847), που έζησε στην πόλη Lyme Regis στη νότια ακτή της Αγγλίας.

Ο πατέρας της πέθανε όταν εκείνη ήταν 11 ετών, αφήνοντας τη γυναίκα και τα δύο του παιδιά άπορους. Ευτυχώς, είχε διδάξει τη Mary πώς να αναγνωρίζει τα απολιθώματα θαλάσσιων οργανισμών που περιέχονταν στα πετρώματα των κοντινών λόφων. Αρχισε, λοιπόν, προκειμένου να βιοπορίζεται, να συλλέγει και να πουλά τα απολιθώματα σε συλλέκτες, οι οποίοι ενδιαφέρονταν όλο και περισσότερο για τα απολιθώματα οργανισμών που πολλοί πίστευαν ότι είχαν αφανιστεί στον κατακλυσμό του Νώε.

Ύστερα από την ανακάλυψη του πρώτου *πλήρους* απολιθώματος σκελετού *Ichthyosaurus* (*Ιχθυόσαυρου*), ενός μεγάλου θαλάσσιου ερπετού και του πρώτου απολιθώματος *Pleiosaurus* (*Πλειόσαυρου*), ενός άλλου θαλάσσιου ερπετού, από την Anning, οι πιο φημισμένοι επιστήμονες της Αγγλίας επισκέφθηκαν επανειλημμένα το σπίτι της. Τελικά, έγινε γνωστή ως μία από τους πιο εξειδικευμένους ανθρώπους στην αναγνώριση απολιθωμάτων και, μοιραζόμενη τις εκτενείς γνώσεις της για τα απολιθώματα είδη με τους κορυφαίους επιστήμονες της εποχής, συνέφερε στην κατανόηση της εξέλιξης της θαλάσσιας ζωής, ηλικίας πάνω από 200 εκατομμυρίων ετών. Επειδή όμως ήταν

Γεωλογικός

ομοιομορφισμός

Η θεωρία που προεβεί ότι η δομή του φλοιού της Γης είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων διεργασιών που συνεχίζουν να λειτουργούν σήμερα με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούσαν και στο παρελθόν. Εμπλουτισμένη από τον Lyell, η θεωρία του ομοιομορφισμού ήταν αντίθετη προς εκείνη του καταστροφισμού και συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της έννοιας του «απέραντου» γεωλογικού χρόνου.



Lynn Kilgore



Lynn Kilgore

◀ **Εικόνα 2-6 (α)** Τα ασβεστολιθικά πετρώματα σε αυτούς τους γκρεμούς στη Νότια Γαλλία σχηματίστηκαν πριν από 300 εκατομμύρια χρόνια από τα όστρακα και τα σκελετικά υπολείμματα αναρίθμητων θαλάσσιων οργανισμών. **(β)** Τμήμα από κομμάτι πετρώματος που λήφθηκε από τους ίδιους γκρεμούς και περιέχει απολιθωμένα όστρακα.

γυναίκα και χαμηλής κοινωνικής θέσης, η συμβολή της Anning δεν αναγνωρίστηκε στις δημοσιεύσεις των πολυάριθμων μελετών που βοήθησε να πραγματοποιηθούν. Στην εποχή μας πια, έλαβε την αναγνώριση που αξίζει, και το πορτρέτο της είναι τοποθετημένο σε περίοπτη θέση στο Μουσείο Φυσικής Ιστορίας του Λονδίνου.

Η ανακάλυψη της φυσικής επιλογής

Εχοντας ήδη αναφερθεί στον Έρασμο Δαρβίνο, δεν θα πρέπει να σας κάνει εντύπωση το γεγονός ότι ο εγγονός του μεγάλωσε στο πλαίσιο μιας μορφωμένης οικογένειας που διατηρούσε δεσμούς με τους κύκλους της διανόησης της εποχής. Ο Κάρολος Δαρβίνος (1809–1882) ήταν ένα από τα έξι παιδιά των Δρ. Ρόμπερτ και Σουζάνας Δαρβίνου (**Εικ. 2-7**). Ως εγγονός όχι μόνο του Έρασμου Δαρβίνου, αλλά και του εύπορου εμπόρου πορσελάνινων ειδών Josiah Wedgwood, ο Κάρολος Δαρβίνος απολάμβανε την άνετη ζωή των ευγενών της εξοχικής Αγγλίας.

Ως παιδί, ο Δαρβίνος έδειχνε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη φύση, αλλά αυτό δεν διασκέδαζε τη γνώμη συγγενών και φίλων ότι δεν ήταν σε τίποτα ξεχωριστός. Η σχολική του επίδοση, μάλιστα, ήταν μέτρια.

Η μητέρα του πέθανε όταν εκείνος ήταν 8 ετών και ανατράφηκε από τον πατέρα και τις μεγαλύτερες αδελφές του. Καθώς έδειχνε να τον ενδιαφέρει μόνο το ψάρεμα, το κυνήγι και, ίσως, οι φυ-

σικές επιστήμες, ο πατέρας του τον έστειλε να σπουδάσει ιατρική στο Πανεπιστήμιο του Εδιμβούργου. Εκεί ήλθε για πρώτη φορά σε επαφή με τις εξελικτικές θεωρίες του Lamarck και άλλων.

Εκείνη την εποχή (τη δεκαετία του 1820), οι απόψεις για την εξέλιξη προκαλούσαν αναταραχή στην Αγγλία και αλλού. Οτιδήποτε σχετικό με τη μετεπα-ναστατική Γαλλία αντιμετωπιζόταν με καχυποψία από την καθεστηκυία τάξη της Αγγλίας, και οι ιδέες του Lamarck, ως ένα βαθμό επειδή ήταν Γάλλος, δεν αποτελούσαν εξαίρεση και δέχθηκαν σφοδρή πολεμική από τους Άγγλους επιστήμονες.

Ήταν επίσης μια εποχή αυξανόμενης πολιτικής αναταραχής. Ήταν εν δράσει το κίνημα της Μεταρρύθμισης, που επιδίωκε να καταργήσει τις πολλές ανισότητες του παραδοσιακού ταξικού συστήματος και, όπως τα περισσότερα κοινωνικά κινήματα, είχε και ριζοσπαστικούς υποστηρικτές. Καθώς πολλοί εξ αυτών ήταν άθεοι και σοσιαλιστές που επιπλέον υποστήριζαν τον λαμαρκισμό, δημιουργήθηκε στη συνείδηση των ανθρώπων η εντύπωση ότι οι υποστηρικτές της εξέλιξης ήταν άνθρωποι άθεοι και υπέρμαχοι της πολιτικής ανατροπής. Ο αυξανόμενος φόβος των εξελικτικών ιδεών οδήγησε πολλούς στην πεποίθηση ότι στην περίπτωση που γίνονταν ευρέως αποδεκτές, «η Εκκλησία θα καταρρεύσει, η ηθική συνοχή της κοινωνίας θα διαρραγεί και ο πολιτισμένος άνθρωπος θα επέστρεφε σε μια κατάσταση αγριότητας» (Desmond και Moore,

Τα κύτταρα

Πριν αναφερθούμε στις γενετικές και εξελικτικές αρχές, θα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τις βασικές κυτταρικές λειτουργίες. Τα κύτταρα είναι οι θεμελιώδεις βιολογικές μονάδες σε όλους τους ζωντανούς οργανισμούς. Υπάρχουν μορφές ζωής, όπως τα βακτήρια, που ολόκληρος ο οργανισμός αποτελείται από ένα μόνο κύτταρο (Εικ. 3-1). Πιο πολύπλοκοι *πολυκύτταροι* οργανισμοί, όπως τα φυτά, τα έντομα, τα πτηνά και τα θηλαστικά, αποτελούνται από δισεκατομμύρια κύτταρα. Μάλιστα το σώμα ενός ενήλικου ανθρώπου, μπορεί να αποτελείται από μέχρι και 1 τρισεκατομμύριο (1.000.000.000.000) κύτταρα, η περίπλοκη λειτουργία των οποίων εξασφαλίζει την επιβίωση του ατόμου.

Η ζωή στη Γη εμφανίστηκε πριν από 3,5 δισεκατομμύρια χρόνια, με τη μορφή μονοκύτταρων οργανισμών, οι οποίοι εκπροσωπούνται σήμερα από τα βακτήρια και τα κυανοφύκη. Κύτταρα με πιο σύνθετη δομή, τα *ευκαρυωτικά* κύτταρα, εμφανίστηκαν αργότερα, πριν από 1,2 δισεκατομμύρια χρόνια και καθώς αποτελούν τον τύπο των κυττάρων που απαρτίζουν τους πολυκύτταρους οργανισμούς, θα επικεντρώσουμε τη συζήτησή μας σε αυτά. Είναι πολύ σημαντικό να θυμόμαστε πάντα ότι, παρόλο που οι μορφές ζωής διαφέρουν μεταξύ τους, τα κύτταρα όλων των ζωντανών οργανισμών παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες εξαιτίας του κοινού εξελικτικού τους παρελθόντος. Υπό αυτή την οπτική, όλοι οι έμβιοι οργανισμοί, σε τελική ανάλυση, συνδέονται.

Γενικά, το ευκαρυωτικό κύτταρο είναι



Dr. Michael S. Domnenberg

▲ Εικόνα 3-1 Καθεμία από αυτές τις ροζ δομές που μοιάζουν με λουκάνικα είναι ένα μονοκύτταρο βακτήριο.

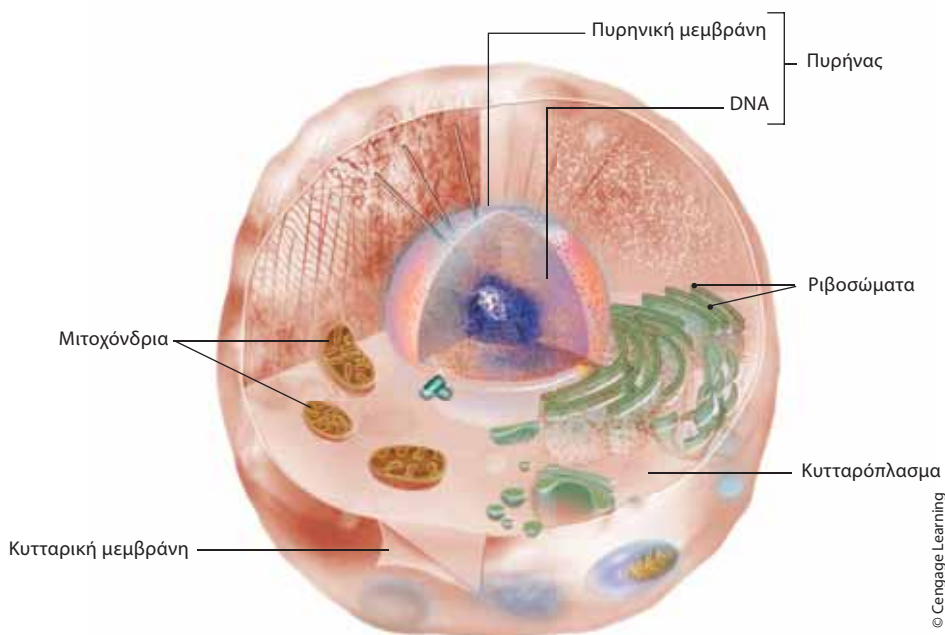
μια τρισδιάστατη δομή που αποτελείται από υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊκά οξέα και **πρωτεΐνες**. Εμπεριέχει επίσης αρκετές υποκυτταρικές δομές, τα *οργανίδια*, ένα εκ των οποίων είναι ο **πυρήνας**, μια διακριτή δομή περιβαλλόμενη από μια λεπτή μεμβράνη που ονομάζεται *πυρηνική μεμβράνη* (Εικ. 3-2). Εντός του πυρήνα βρίσκονται δύο είδη **μορίων** τα οποία περιέχουν τις γενετικές πληροφορίες που ρυθμίζουν ολόκληρη την κυτταρική λειτουργία. Τα δύο αυτά μόρια, το **DNA** (δε[ισοξυριβονουκλεϊκό οξύ] και το **RNA** (ριβο[ζο]νουκλεϊκό οξύ), είναι θεμελιώδους σημασίας όχι μόνο για την κυτταρική λειτουργία, αλλά και για την ίδια την ύπαρξη της ζωής.

► Εικόνα 3-2 Τριδιάστατη απεικόνιση της δομής ενός γενικευμένου ευκαρυωτικού κυττάρου. Απεικονίζονται διάφορα οργανίδια, αλλά για λόγους απλούστευσης, προσδιορίζονται μόνο όσα αναφέρουμε στο κεφάλαιο αυτό.

Πρωτεΐνες Μόρια που υπηρετούν ευρύ φάσμα λειτουργιών μέσω της ικανότητάς τους να ενώνονται με άλλα μόρια.

Πυρήνας Δομή (οργανίδιο) όλων των ευκαρυωτικών κυττάρων. Μεταξύ άλλων, ο πυρήνας περιέχει το γενετικό υλικό DNA και RNA.

Μόρια Δομές αποτελούμενες από δύο ή περισσότερα άτομα. Τα μόρια μπορούν να ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας πιο σύνθετες δομές.



Ο πυρήνας περιβάλλεται από μια ουσία σαν γέλη, το **κυτταρόπλασμα**, το οποίο περιέχει και άλλους τύπους οργανιδίων. Τα οργανίδια αυτά είναι λειτουργικά διαφοροποιημένα, δηλαδή το καθένα εξυπηρετεί συγκεκριμένες λειτουργικές ανάγκες του κυττάρου και κατ' επέκταση του οργανισμού. Στις λειτουργίες αυτές περιλαμβάνονται η διάσπαση των θρεπτικών συστατικών και η μετατροπή τους σε άλλες ουσίες απαραίτητες για την κυτταρική λειτουργία, η αποθήκευση και απελευθέρωση ενέργειας, η απομάκρυνση των περιττών ουσιών και η παραγωγή πρωτεϊνών μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται **πρωτεϊνوسύνθεση**.

Θα αναφερθούμε εκτενέστερα σε δύο από τα οργανίδια αυτά, τα **μιτοχόνδρια** και τα **ριβωσώματα**. Τα μιτοχόνδρια (Εικ. 3-3) είναι υπεύθυνα για την παραγωγή της ενέργειας που χρειάζεται το κύτταρο. Φανταστείτε τα ως τα «ενεργειακά εργοστάσια» του κυττάρου. Τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από μεμβράνη και έχουν το δικό τους ξεχωριστό DNA, που ονομάζεται **μιτοχονδριακό DNA** (mtDNA), και κατευθύνει τις μιτοχονδριακές λειτουργίες. Το μιτοχονδριακό DNA έχει την ίδια μοριακή δομή με το πυρηνικό DNA (δηλαδή το DNA που περιέχεται στον πυρήνα του κυττάρου), αλλά είναι λίγο διαφορετικά οργανωμένο. Τα τελευταία χρόνια, το μιτοχονδριακό DNA έχει γίνει αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας, διότι επηρεάζει συγκεκριμένα γνώσματα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη ορισμένων εξελικτικών διεργασιών. Για τους λόγους αυτούς, στη συνέχεια θα αναφερθούμε και πάλι στα μιτοχόνδρια και θα αναλύσουμε τη μιτοχονδριακή κληρονομικότητα. Τα ριβωσώματα, στα οποία επίσης θα αναφερθούμε εκτενέστερα στη συνέχεια, αποτελούνται εν μέρει από RNA. Επιτελούν πολύ σημαντική λειτουργία για τη φυσιολογία του οργανισμού, διότι διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της πρωτεϊνوسύνθεσης.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι κυττάρων, τα **σωματικά κύτταρα** και οι **γαμέτες**. Τα σωματικά κύτταρα, όπως φανερώνει το όνομά τους, αποτελούν τους ιστούς του σώματος, όπως τους μυς, τα οστά, τα όργανα και τον εγκέφαλο. Οι γαμέτες, ή γεννητικά κύτταρα, έχουν αποκλειστικά αναπαραγωγικό ρόλο και δεν είναι σημαντικά ως δομικά συστατικά του σώματος. Οι γαμέτες διακρίνονται σε δύο τύπους: τα ωάρια, που παράγονται στις ωοθήκες των θηλυκών ατόμων, και τα σπερματοζωάρια, που παράγονται στους όρχεις των αρσενικών. Μοναδικός σκοπός



Professors P. Motta and T. Naguro/SPL/Photo Researchers, Inc.

ενός γαμέτη είναι να ενωθεί με ένα άλλο γεννητικό κύτταρο προερχόμενο από διαφορετικό άτομο και να σχηματίσουν έναν **ζυγότη**, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε ένα νέο άτομο. Με αυτόν τον τρόπο, οι γαμέτες μεταβιβάζουν τη γενετική πληροφορία από τους γονείς στους απογόνους.

Η δομή του DNA

Το DNA είναι η βάση της ζωής ακριβώς επειδή κατευθύνει όλες τις κυτταρικές λειτουργίες. Εφόσον, επομένως, θέλουμε να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς της κυτταρικής λειτουργίας και κληρονομικότητας των χαρακτηριστικών, πρέπει να γνωρίζουμε τα κυριότερα τουλάχιστον σημεία της δομής και λειτουργίας του DNA. Οι ακριβείς φυσικές και χημικές ιδιότητες του DNA παρέμεναν άγνωστες έως το 1953, οπότε μία ομάδα τεσσάρων επιστημόνων στο Πανεπιστήμιο του Cambridge της Αγγλίας, αποτελούμενη από τον Αμερικανό James Watson και τους Βρετανούς Francis Crick, Maurice Wilkins και Rosalind Franklin, ανέπτυξαν ένα μοντέλο της δομής και λειτουργίας του DNA (Watson και Crick, 1953α, β). Είναι αδύνατον να μεγαλοποιήσουμε τη σημασία αυτού του επιτεύγματος, διότι έφερε πραγματική επανάσταση στους κλάδους της βιολογίας και της ιατρικής και άλλαξε για πάντα την κατανόησή μας για τους βιολογικούς και εξελικτικούς μηχανισμούς της φύσης (βλ. «Διερεύνηση: Rosalind Franklin: το τέταρτο [αλλά άορατο] μέλος της ομάδας της διπλής έλικας»).

Το μόριο του DNA αποτελείται από δύο αλληλουχίες ακόμη μικρότερων μονάδων που ονομάζονται **νουκλεοτίδια**. Το νουκλεοτίδιο, με τη σειρά του, αποτελείται από τρία δομικά συστατικά: ένα μόριο σακχάρου (δε[σ]οξυριβόζη), μία φωσφορική ομάδα (μόριο που αποτελείται από φωσφόρο και οξυγόνο) και μία από τις τέσσερις αζωτούχες **βάσεις** (Εικ. 3-4). Στο μόριο του DNA τα νουκλεοτίδια στοιβάζονται σχηματίζοντας έναν κλώνο (αλυσίδα), ο οποίος προσδένεται μέσω των βάσεων με ένα άλλο κλώνο νου-

◀ **Εικόνα 3-3** Εικόνα ενός μιτοχονδρίου από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

DNA (δε[σ]οξυριβονουκλεϊκό οξύ)

Το δίκλωνο ελικοειδές μόριο που περιέχει τον γενετικό κώδικα ενός οργανισμού. Το DNA είναι το κύριο δομικό στοιχείο των χρωμοσωμάτων.

RNA (ριβο[ζ]ινουκλεϊκό οξύ)

Μονόκλωνο μόριο παραπλήσιας δομής με το DNA. Τρεις τύποι του RNA είναι απαραίτητοι για την πρωτεϊνوسύνθεση: το αγγελιαφόρο RNA (mRNA), το μεταφορικό RNA (tRNA) και το ριβοσωμικό RNA (rRNA).

Κυτταρόπλασμα Η παχύρρευστη, σαν γέλη ουσία που περιβάλλεται από την κυτταρική μεμβράνη. Μέσα στο κυτταρόπλασμα βρίσκονται ο πυρήνας και όλες οι υπόλοιπες δομές που σχετίζονται με την κυτταρική λειτουργία.

Πρωτεϊνوسύνθεση Η διαδικασία παραγωγής πρωτεϊνών, δηλαδή η σύνθεση αλληλουχιών αμινοξέων σε λειτουργικά πρωτεϊνικά μόρια. Η πρωτεϊνική σύνθεση κατευθύνεται από το DNA.

Μιτοχόνδρια Υποκυτταρικές δομές που περιέχονται στο κυτταρόπλασμα των ευκαρυωτικών κυττάρων. Τα μιτοχόνδρια μετατρέπουν την ενέργεια που λαμβάνουν από τα θρεπτικά συστατικά σε ενέργεια που μπορεί να εξυπηρετήσει τις λειτουργικές ανάγκες του κυττάρου.

Ριβωσώματα Υποκυτταρικές δομές που συγκροτούνται από έναν τύπο RNA που ονομάζεται ριβοσωμικό RNA (rRNA) και πρωτεΐνες. Τα ριβωσώματα βρίσκονται στο κυτταρόπλασμα και έχουν καθοριστικό ρόλο στη διαδικασία της πρωτεϊνικής σύνθεσης.

Μιτοχονδριακό DNA

(mtDNA) Το DNA των μιτοχονδρίων. Το μιτοχονδριακό DNA κληροδοτείται μόνο από τη μητέρα.

Σωματικά κύτταρα Κατά βάση, όλα τα κύτταρα του οργανισμού, εκτός από αυτά που σχετίζονται με την αναπαραγωγή.

Γαμέτες Τα αναπαραγωγικά κύτταρα (στα ζώα είναι τα ωάρια και τα σπερματοζωάρια) τα οποία, στα ζώα, αναπτύσσονται από προδρομικά κύτταρα στις ωοθήκες και στους όρχεις.

Ζυγώτης ή ζυγώτ Το κύτταρο που σχηματίζεται από την ένωση ενός ωαρίου και ενός σπερματοζωαρίου. Περιέχει το πλήρες σύνολο των χρωμοσωμάτων του οργανισμού (στον άνθρωπο είναι 46) και έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί συγκροτώντας έναν ολόκληρο οργανισμό.

Νουκλεοτίδια Οι βασικές δομικές μονάδες του μορίου του DNA, αποτελούμενες από ένα σάκχαρο, μια φωσφορική ομάδα και μία από τις τέσσερις αζωτούχες βάσεις του DNA.

Διερεύνηση

Rosalind Franklin: το τέταρτο (αλλά αόρατο) μέλος της ομάδας της διπλής έλικας

Το 1962, τρεις άνδρες, ο James Watson, ο Francis Crick και ο Maurice Wilkins κέρδισαν το βραβείο Νόμπελ Ιατρικής και Φυσιολογίας. Τους απονεμήθηκε η υπέρτατη επιστημονική επιβράβευση για την ανακάλυψη της δομής του μορίου του DNA, την οποία είχαν δημοσιεύσει το 1953. Δεν αναγνωρίστηκε όμως η ισάξια συμβολή στο επίτευγμα αυτό του τέταρτου μέλους της ομάδας, της Rosalind Franklin, η οποία είχε πεθάνει από καρκίνο των ωοθηκών το 1958. Ακόμη όμως και αν είχε αναγνωριστεί η αξία της το 1962, δεν θα μπορούσε να βραβευθεί με Νόμπελ, καθώς αυτό δεν απονέμεται μετά θάνατον.

Η Franklin ήταν χημικός που πήγε να εργαστεί στο Πανεπιστήμιο του Cambridge το 1951, αποδεχόμενη την πρόσκληση να ασχοληθεί με την έρευνα πάνω στη δομή του DNA. Πριν από την πρόσκληση αυτή, εργαζόταν στο Παρίσι, χρησιμοποιώντας την τεχνική της περίθλασης ακτίνων-Χ, μιας διαδικασίας που αποκαλύπτει τη θέση των ατόμων στις κρυσταλλικές δομές. Αυτό που δεν γνώριζε η Franklin ήταν ότι ο συνάδελφός της στο Πανεπιστήμιο του Cambridge, Maurice Wilkins, εργαζόταν ήδη πάνω στο πρόγραμμα της δομής του DNA.

Και τα πράγματα έγιναν χειρότερα, καθώς ο Wilkins δεν είχε ενημερωθεί για τη νέα ακαδημαϊκή θέση της Franklin και θεώρησε ότι εκείνη είχε έλθει στο εργαστήριο ως βοηθός του. Όπως καταλαβαίνετε, η συνεργασία τους δεν ξεκίνησε με τους καλύτερους όρους και, όπως ήταν αναμενόμενο, υπήρξαν ορισμένες εντάσεις στη σχέση τους.

Η Franklin μέσω της περίθλασης ακτίνων-Χ σύντομα προσκόμισε εξαιρετικές απεικονίσεις ινών του DNA που της είχε παράσχει ο Wilkins και στις εικόνες αυτές φαινόταν καθαρά η ελικοειδής δομή τους. Επιπλέον, ανακάλυψε ότι υπάρχουν δύο κλώνοι και



▲ Εικόνα 1 Η Rosalind Franklin.

όχι ένας. Ο Wilkins, χωρίς ιδιοτέλεια, αλλά εν αγνοία της Franklin, έδειξε τις εικόνες στους Watson και Crick, οι οποίοι τότε εργάζονταν σε διαφορετικό εργαστήριο εντός του Πανεπιστημίου του Cambridge. Σε διάστημα δύο εβδομάδων είχαν αναπτύξει το πλέον διάσημο μοντέλο της διπλής έλικας του μορίου του DNA, ενώ η Franklin εξακολουθούσε να μη γνωρίζει τίποτα.

Εξαιρετικά απογοητευμένη από τη συνεργασία της στο Cambridge, το 1953 πήρε μια θέση ερευνήτρια στο King's College του Λονδίνου. Τον Απρίλιο του ίδιου έτους δημοσιεύτηκε στο επιστημονικό περιοδικό *Nature* ένα άρθρο της ίδιας και ενός φοιτητή της, που αναφερόταν εμμέσως στη διπλή έλικα του DNA. Στο ίδιο τεύχος δημοσιεύτηκε και το άρθρο των Watson και Crick.

Κατά τη διάρκεια της ζωής της, η Franklin έλαβε την αναγνώριση που της άξιζε για την έρευνά της στους άνθρακες, το κάρβουνο και τους ιούς, θέματα για τα οποία δημοσίευσε πολλά άρθρα. Και ήταν ευχαριστημένη με τη φήμη που απέκτησε. Μετά τον θάνατό της, ο Watson έκανε υποτιμητικά σχόλια για τη Franklin, αρκετά από τα οποία σε δημοσιευμένα άρθρα. Παρά ταύτα, φαίνεται ότι παρέμειναν σε φιλικούς όρους έως το τέλος τη ζωής της, σε ηλικία 37 ετών. Κράτησε επίσης φιλική σχέση με τον Crick, αλλά δεν έμαθε ποτέ ότι η επαναστατική τους ανακάλυψη πραγματοποιήθηκε εν μέρει χάρη στις εικόνες που εκείνη παρέιχε.

κλεοτιδίων. Οι δύο κλώνοι στη συνέχεια συστρέφονται γύρω από τον εαυτό τους λαμβάνοντας ένα σπειροειδές, ή ελικοειδές σχήμα. Επομένως, το μόριο του DNA είναι δίκλωνο και απεικονίζεται να σχηματίζει μια **διπλή έλικα** παρόμοια με μια περιστρεφόμενη σκάλα. Στην αναλογία της περιστρεφόμενης σκάλας, τα σάκχα-ρα και οι φωσφορικές ομάδες αποτελούν τις κουपाστές, ενώ οι αζωτούχες βάσεις και οι χημικοί δεσμοί που τις συγκρατούν τα σκαλοπάτια.

Οι τέσσερις αζωτούχες βάσεις είναι το κλειδί της λειτουργίας του DNA. Αυτές είναι η **αδενίνη**, η **θυμίνη**, η **κυτοσίνη** και η **γουανίνη** και συνήθως αναφέρονται με το αρχικό κεφαλαίο γράμμα της αγγλικής ονομασίας τους: A, T, C και G, αντιστοίχως. Όταν συγκροτείται η διπλή έλικα, οι βάσεις προσδένονται με αυστηρά κα-

θορισμένο τρόπο: η αδενίνη συνδυάζεται μόνο με τη θυμίνη και η κυτοσίνη μόνο με τη γουανίνη (Εικ. 3-4). Αυτή η αυστηρά καθορισμένη ζεύξη των βάσεων είναι απολύτως απαραίτητη για το μόριο του DNA, ώστε να μπορέσει να προχωρήσει στη διαδικασία της **αντιγραφής**, δηλαδή της δημιουργίας ενός πανομοιότυπου αντιγράφου του εαυτού του.

Η αντιγραφή του DNA

Τα κύτταρα πολλαπλασιάζονται μέσω της διαίρεσης σε πιστά αντίγραφα του εαυτού τους. Η κυτταρική διαίρεση επιτρέπει την ανάπτυξη του οργανισμού και την επούλωση των τραυματισμένων ιστών. Υπάρχουν δύο τύποι κυτταρικής διαίρεσης. Ο πιο απλός συνίσταται σε μία μοναδική διαίρεση ενός κυττάρου σε

Αντιγραφή Η διαδικασία του μορίου του DNA να δημιουργεί αντίγραφο του εαυτού του.

Αρχικό δίκλωνο μόριο DNA

Αρχικοί κλώνοι

Δύο πανομοιότυπα δίκλινα μόρια DNA

Νεοσχηματισθέντες κλώνοι

Η διπλή έλικα του DNA

Αντιγραφή σε εξέλιξη

Ελεύθερα νουκλεοτίδια προσδένονται στα συμπληρωματικά τους νουκλεοτίδια του αρχικού κλώνου και σχηματίζουν έναν νέο κλώνο.

Ολοκλήρωση της αντιγραφής

▲ Εικόνα 3-5 Η αντιγραφή του DNA.

Κατά τη διάρκεια της αντιγραφής, οι δύο κλώνοι του μορίου του DNA διαχωρίζονται και καθένας λειτουργεί ως καλούπι για τον σχηματισμό ενός δεύτερου κλώνου (καφέ). Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, υπάρχουν δύο μόρια DNA, καθένα από τα οποία αποτελείται από έναν αρχικό κλώνο και έναν νέο.

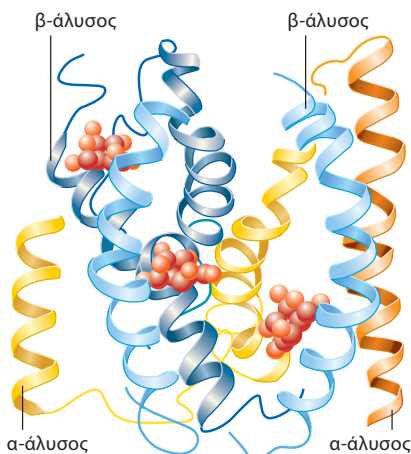
σώματος, όπου ασκούν συγκεκριμένη επίδραση σε ιστούς και όργανα. Η ινσουλίνη, για παράδειγμα, είναι μια ορμόνη που παράγεται από κύτταρα του παγκρέατος, αλλά επιδρά στα κύτταρα του ήπατος, τα οποία, με τη δράση της ινσουλίνης, δεσμεύουν την πλούσια σε ενέργεια γλυκόζη (τύπος σακχάρου) από το αίμα. Όταν το πάγκρεας δεν παράγει αρκετή ποσότητα ινσουλίνης, ο άνθρωπος πάσχει από τον ένα εκ των δύο τύπων διαβήτη. Τέλος, πολλές πρωτεΐνες μπορούν να εισέρχονται στον πυρήνα του κυττάρου και να προσδένονται απευθείας στο μόριο του DNA. Αυτή η κατηγορία πρωτεϊνών είναι πολύ σημαντική επειδή η πρόσδεση στο DNA τους επιτρέπει να ρυθμίζουν τη λειτουργία του. Με αυτή τη σύντομη

αναφορά στις πρωτεΐνες, γίνεται εύκολα κατανοητός ο εξέχων ρόλος τους στη λειτουργία του οργανισμού. Γι' αυτό τον λόγο, η σύνθεση των πρωτεϊνών πρέπει να γίνεται με εξαιρετική ακρίβεια, καθώς, σε αντίθετη περίπτωση, οι κυτταρικές λειτουργίες και η φυσιολογική ανάπτυξη του οργανισμού θα απορυθμιστούν ή θα σταματήσουν.

Οι πρωτεΐνες συνίστανται σε αλυσίδες απλούστερων μορίων, των **αμινοξέων**. Συνολικά υπάρχουν 20 αμινοξέα, 8 εκ των οποίων λαμβάνονται μέσω της τροφής (βλ. Κεφάλαιο 16). Τα υπόλοιπα 12 παράγονται στα κύτταρα. Τα 20 αυτά αμινοξέα σχηματίζουν αλυσίδες συνδυαζόμενα με διαφορετική σειρά και σε διαφορετικό αριθμό και με αυτόν τον τρόπο συγκροτούν τουλάχιστον 90.000 διαφορετικές πρωτεΐνες. Η ειδοποιός διαφορά μεταξύ των πρωτεϊνών, επομένως, είναι ο αριθμός και η διάταξη των αμινοξέων που τις συνθέτουν.

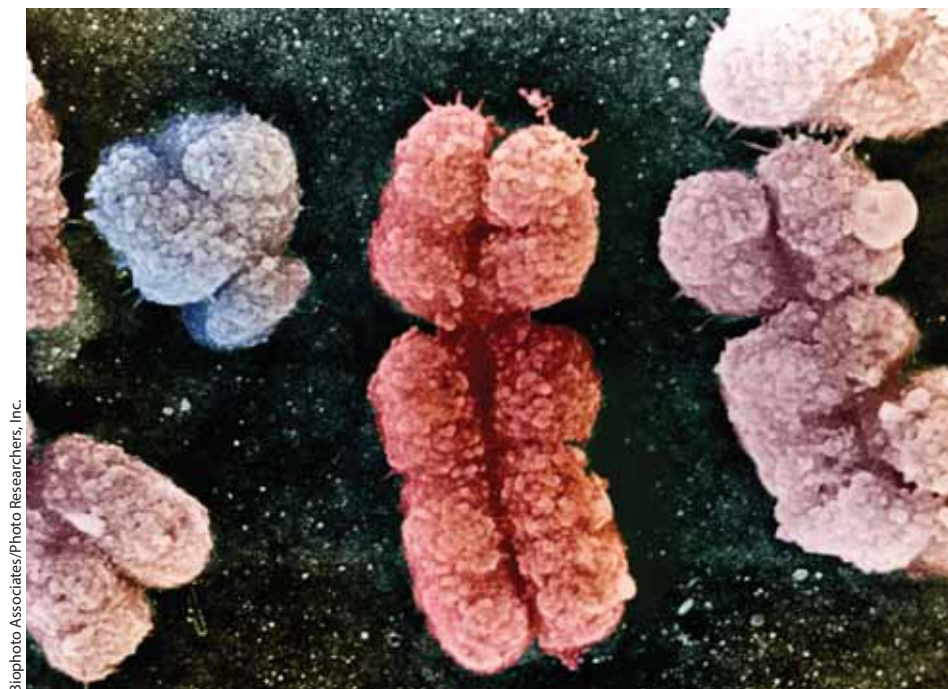
Εν μέρει, το μόριο του DNA είναι η «συνταγή» της κατασκευής των πρωτεϊνών, διότι η αλληλουχία των βάσεων του DNA καθορίζει τη σειρά των αμινοξέων στο μόριο της πρωτεΐνης. Σύμφωνα με τη «συνταγή» του DNA, μία **τριπλέτα** βάσεων (ομάδα τριών βάσεων) κωδικεύει, δηλαδή αντιστοιχεί, σε ένα συγκεκριμένο αμινοξύ. Για παράδειγμα, μια τριπλέτα βάσεων που συνίσταται από την αλληλουχία κυτοσίνη, γουανίνη και αδενίνη (CGA) κωδικεύει το αμινοξύ αργινίνη (**Πίνακας 3-1**). Επομένως, ένα μικρό τμήμα της «συνταγής» του DNA θα έχει την εξής

► **Εικόνα 3-6** Γραφική αναπαράσταση του μορίου της αιμοσφαιρίνης. Τα μόρια της αιμοσφαιρίνης αποτελούνται από τέσσερις αλυσίδες αμινοξέων (δύο α-αλυσίδες και δύο β-αλυσίδες).



Αμινοξέα Μικρά μόρια που αποτελούν τα δομικά συστατικά των πρωτεϊνών.

► **Εικόνα 3-15** Έγχρωμη εικόνα ανθρώπινων χρωμοσωμάτων από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.



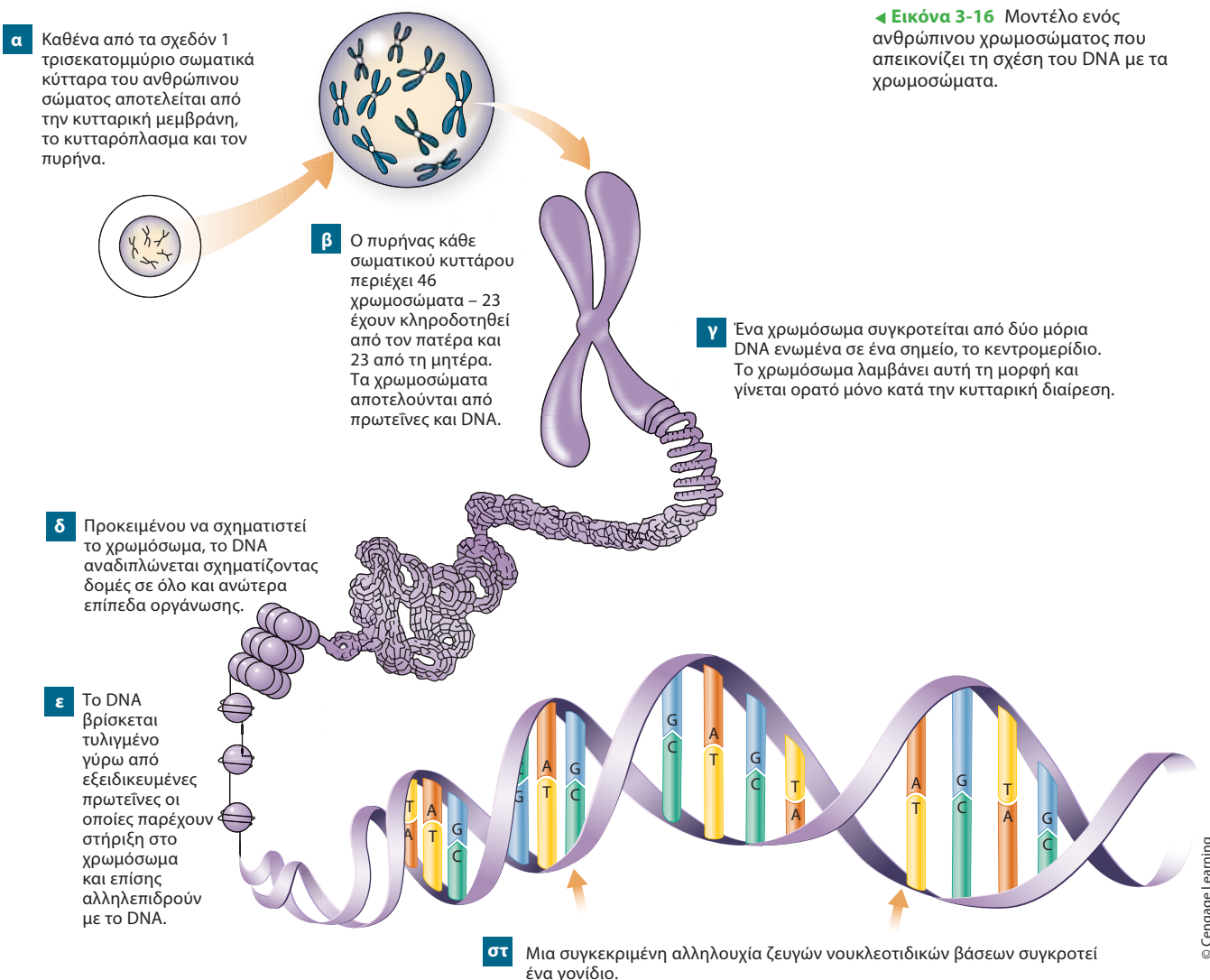
Τα χρωμοσώματα βρίσκονται κατά ζεύγη, άρα όλα τα φυσιολογικά σωματικά κύτταρα του ανθρώπου έχουν 22 ζεύγη αυτοσωμικών και 1 ζεύγος φυλετικών χρωμοσωμάτων (συνολικά, 23). Με ελάχιστες εξαιρέσεις, τυχόν ανωμαλίες στον αριθμό των χρωμοσωμάτων είναι θανατηφόρες για τον οργανισμό – συνήθως εντός μικρού χρονικού διαστήματος μετά τη σύλληψη. Παρόλο που ο μη φυσιολογικός αριθμός των φυλετικών χρωμοσωμάτων δεν είναι συνήθως θανατηφόρος, μπορεί να προκαλέσει στειρότητα και

πολλές ακόμη διαταραχές της γονιδιακής έκφρασης. Κατά συνέπεια, για να λειτουργήσει σωστά ένα ανθρώπινο σωματικό κύτταρο, είναι απαραίτητο να διαθέτει και τα δύο μέλη του χρωμοσωμικού ζεύγους, δηλαδή συνολικά 46 χρωμοσώματα.

Οι απόγονοι κληρονομούν το ένα μέλος του χρωμοσωμικού ζεύγους από τον πατέρα (πατρικό χρωμόσωμα) και το άλλο από τη μητέρα (μητρικό χρωμόσωμα). Τα ομόλογα χρωμοσώματα, όπως ονομάζονται τα μέλη κάθε ζεύγους, είναι όμοια ως προς το μέγεθος και τη θέση του

Πίνακας 3.2 Ο φυσιολογικός αριθμός χρωμοσωμάτων στους διάφορους οργανισμούς

Είδος	Αριθμός χρωμοσωμάτων στα σωματικά κύτταρα	Αριθμός χρωμοσωμάτων στους γαμέτες
Ανθρώπος (<i>Homo sapiens</i>)	46	23
Χιμπαντζής (<i>Pan troglodytes</i>)	48	24
Γορίλας (<i>Gorilla gorilla</i>)	48	24
Σκύλος (<i>Canis familiaris</i>)	78	39
Όρνιθα (<i>Gallus domesticus</i>)	78	39
Βάτραχος (<i>Rana pipiens</i>)	26	13
Οικιακή μύγα (<i>Musca domestica</i>)	12	6
Κρεμμύδι (<i>Allium cepa</i>)	16	8
Καλαμπόκι (<i>Zea mays</i>)	20	10
Καπνός (<i>Nicotiana tabacum</i>)	48	24
Πηγή: Cummings, 2000, σελ. 16		



κεντρομεριδίου και περιέχουν τον γενετικό κώδικα για την έκφραση των ιδίων γνωρισμάτων. Αυτό όμως, δεν σημαίνει ότι τα ομόλογα χρωμοσώματα είναι γενετικά πανομοιότυπα. Σημαίνει απλώς ότι επηρεάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, και στα δύο αντίγραφα του ένατου χρωμοσώματος του ανθρώπου υπάρχει ένας **γονιδιακός τύπος**, ή γονιδιακή θέση, που καθορίζει ποια από τις τέσσερις ομάδες αίματος ABO (A, B, AB, O) θα έχει το άτομο. Τα δύο χρωμοσώματα όμως δεν είναι απαραίτητο να έχουν ταυτόσημες αλληλουχίες DNA στον γονιδιακό τόπο για τις ομάδες αίματος ABO. Με άλλα λόγια, στους γονιδιακούς τόπους μπορεί να υπάρχουν περισσότερες από μία εκδοχή ενός γονιδίου και οι εκδοχές αυτές καλούνται **αλληλόμορφα** (Εικ. 3-17).

Τα αλληλόμορφα είναι εναλλακτικές μορφές ενός γονιδίου οι οποίες κατευθύνουν το κύτταρο προς την παραγωγή ελαφρώς διαφορετικών λειτουργικών προϊόντων και, τελικά, στην έκφραση διαφορε-

τικών γνωρισμάτων – όπως συμβαίνει με την αιμοσφαιρίνη S (Hb^S). Υπάρχουν τρία πιθανά αλληλόμορφα για τις ομάδες αίματος ABO, καθώς όμως, κάθε άτομο έχει μόνο δύο χρωμοσώματα, στον γονιδιακό τόπο εντοπίζονται μόνο δύο αλληλόμορφα. Αυτή ακριβώς η ποικιλότητα των αλληλομόρφων στους γονιδιακούς τόπους για την ομάδα αίματος ABO, ευθύνεται για την ανθρώπινη ποικιλομορφία ως προς τις ομάδες αίματος.

Καρυότυπος: η απεικόνιση των χρωμοσωμάτων

Μια μέθοδος εξέτασης των χρωμοσωμάτων που χρησιμοποιείται συχνά είναι η ανάλυση του **καρυότυπου** (ένα παράδειγμα ανθρώπινου καρυότυπου βλέπετε στην Εικόνα 3-18). Τα χρωμοσώματα που θα χρησιμοποιηθούν λαμβάνονται από ένα κύτταρο που διαιρείται. Τα λευκά αιμοσφαίρια είναι εύκολο να καλλιεργηθούν, να υποστούν χημική επεξεργασία και να εξεταστούν στο μικροσκόπιο,

Γονιδιακός τόπος Η περιοχή του χρωμοσώματος όπου εντοπίζεται ένα συγκεκριμένο γονίδιο. Μερικές φορές ο όρος χρησιμοποιείται εναλλακτικά αντί του όρου «γονίδιο».

Αλληλόμορφα Εναλλακτικές εκδοχές ενός γονιδίου. Τα αλληλόμορφα εντοπίζονται στον ίδιο γονιδιακό τόπο στα ζεύγη χρωμοσωμάτων και συνεπώς κωδικοεύουν για το ίδιο χαρακτηριστικό, επειδή όμως είναι ελαφρώς διαφορετικά, η δράση τους μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα διαφορετικές εκφράσεις του ίδιου χαρακτηριστικού.

Καρυότυπος Τα χρωμοσώματα ενός ατόμου, ή η τυπική εικόνα των χρωμοσωμάτων για το είδος, όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο και απεικονίζονται με τεχνικές μικροφωτογράφισης. Τα χρωμοσώματα απεικονίζονται διατεταγμένα ανάλογα με το μέγεθός τους και τη θέση που καταλαμβάνει το κεντρομερίδιο πάνω τους.

► **Εικόνα 4-1** (α) Χέρι ενός ανθρώπου με πολυδακτυλία. (β) Μπροστινό πόδι μιας πολυδάκτυλης γάτας.



istockphoto.com/stocknapper

Cassandra Tlensivu

Οι αρχές της γενετικής του Mendel

Ίσως φανεί περίεργο που στρέφουμε το αντικείμενο της συζήτησής μας πίσω στον 19ο αιώνα, ενώ έχουμε ήδη αναφερθεί στα σύγχρονα επιτεύγματα της γενετικής. Στα μέσα του 19ου αιώνα όμως γεννήθηκε η επιστήμη της γενετικής και, εξετάζοντας τον τρόπο με τον οποίο ανακαλύφθηκαν οι βασικές αρχές της κληρονομικότητας, μπορούμε να τις κατανοήσουμε ευκολότερα. Απαντήσεις στα ερωτήματα της κληρονομικότητας των χαρακτηριστικών άρχισαν να δίνονται από τον Gregor Mendel (1822–1884). Ο Mendel ζούσε σε ένα μοναστήρι στη σημερινή Τσεχία.



Raychel Cienma and Precision Graphics

▲ **Εικόνα 4-2** Ο Gregor Mendel.

Υβρίδια Οι απόγονοι γονέων οι οποίοι διαφέρουν μεταξύ τους ως προς συγκεκριμένα γνωρίσματα ή πτυχές της γενετικής τους σύστασης. Αποκαλούνται επίσης ετεροζυγώτες.

Την εποχή που ξεκίνησε την έρευνά του είχε ήδη ολοκληρώσει τις σπουδές του στη βοτανική στο Πανεπιστήμιο της Βιέννης. Επίσης είχε διεξαγάγει πολυάριθμα πειράματα στους κήπους του μοναστηριού, και αυτό το υπόβαθρο τον οδήγησε στην έρευνα των μηχανισμών έκφρασης των φυσικών χαρακτηριστικών, όπως το χρώμα ή το ύψος, στα **υβρίδια** των φυτών.

Ο Mendel εργάστηκε πάνω στα μοσχομπίζελα, επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον του σε επτά διαφορετικά κληρονομικά γνωρίσματα, καθένα από τα οποία μπορούσε να εκφραστεί με δύο μορφές (**Εικ. 4-3**). Ίσως σας φαίνεται ασυνήθιστο να συζητάμε για μιζέλια σε ένα βιβλίο φυσιικής ανθρωπολογίας, αλλά παρέχουν ένα απλό παράδειγμα των βασικών κανόνων της κληρονομικότητας. Οι αρχές που

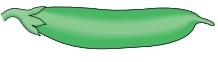
ανακάλυψε ο Mendel ισχύουν για όλους τους ζωντανούς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του ανθρώπου – άλλη μία απόδειξη της βιολογικής συνέχειας των ειδών.

Η αρχή του διαχωρισμού

Αρχικά, ο Mendel καλλιέργησε ομάδες μοσχομπίζελων που διέφεραν ως προς τουλάχιστον ένα χαρακτηριστικό. Για παράδειγμα, όλα τα φυτά μίας ομάδας είχαν ψηλό βλαστό, ενώ όλα τα φυτά της δεύτερης ομάδας είχαν κοντό βλαστό. Στη συνέχεια πραγματοποίησε διασταυρώσεις μεταξύ των φυτών των δύο ομάδων, τα οποία ονόμασε **πατρική γενιά**, ώστε να διαπιστώσει τη μεταβολή της έκφρασης του ύψους του βλαστού από τη μία γενιά στην επόμενη. Σύμφωνα με την τότε επικρατούσα άποψη, όλα τα υβριδικά φυτά της επόμενης γενιάς, την οποία ονόμασε **πρώτη θυγατρική γενιά ή γενιά F_1** , αναμένονταν να έχουν βλαστό μετρίου ύψους. Αντιθέτως, είχαν όλα ψηλό βλαστό (**Εικ. 4-4**).

Ακολούθως, ο Mendel επέτρεψε στα φυτά της πρώτης θυγατρικής γενιάς να αυτογονιμοποιηθούν, ώστε να προκύψει η δεύτερη θυγατρική γενιά ή γενιά F_2 . Αυτή τη φορά όμως, μόνο τα τρία τέταρτα των φυτών είχαν ψηλό βλαστό. Το υπόλοιπο ένα τέταρτο διέθετε κοντό βλαστό. Μία έκφραση (κοντός βλαστός) του κληρονομικού γνωρίσματος (ύψος) είχε εξαφανιστεί από την πρώτη θυγατρική γενιά και είχε επανεμφανιστεί στη δεύτερη. Επιπλέον, παρατήρησε ότι το γνώρισμα που εκφράστηκε σε όλα τα φυτά της πρώτης θυγατρικής γενιάς, εκφράστηκε και στα φυτά της δεύτερης, όπου εμφανιζόταν σε αναλογία 3:1 (τρία φυτά είχαν ψηλό βλαστό και ένα είχε χαμηλό).

Τα αποτελέσματα αυτά υποδείκνυαν ότι οι διαφορετικές εκφράσεις ενός γνωρίσματος ελέγχονταν από διακριτές

Γνώρισμα	Έκφραση επικρατούς αλληλόμορφου	Έκφραση υπολειπόμενου αλληλόμορφου
Σχήμα σπόρου	 Στρογγυλό	 Ρυτιδωμένο
Χρώμα σπόρου	 Κίτρινο	 Πράσινο
Σχήμα περικάρπιου	 Φουσκωμένο	 Ζαρωμένο
Χρώμα περικάρπιου	 Πράσινο	 Κίτρινο
Χρώμα άνθους	 Μωβ	 Λευκό
Θέση άνθους	 Κατά μήκος του βλαστού	 Στην άκρη του βλαστού
Μήκος βλαστού	 Ψηλό	 Κοντό

© Cengage Learning

μονάδες (που στη συνέχεια θα ονομάζονταν γονίδια), οι οποίες βρίσκονταν σε ζεύγη και κάθε απόγονος κληρονομούσε μία μονάδα από κάθε γονέα. Ο Mendel συνειδητοποίησε ότι με κάποιον τρόπο τα μέλη ενός ζεύγους μονάδων που ελέγχουν την έκφραση ενός χαρακτηριστικού κατανεμήθηκαν το καθένα σε διαφορετικά γεννητικά κύτταρα και ενώθηκαν ξανά με τα μέλη ενός άλλου ζεύγους κατά τη γονιμοποίηση, σχηματίζοντας ένα νέο ζεύγος. Αυτή είναι η **πρώτη αρχή της κληρονομικότητας** του Mendel, γνωστή ως **αρχή του διαχωρισμού**.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι η αρχή του διαχωρισμού του Mendel εξηγείται μέσω της μείωσης. Κατά τη μείωση, τα ζεύγη των χρωμοσωμάτων, μαζί με τα γονίδια που περιέχουν, διαχωρίζονται και καταλήγουν σε διαφορετικούς γαμέτες. Το ζυγωτό, ωστόσο, διαθέτει πλήρη αριθμό χρωμοσωμάτων, αφού φέρει ένα ομόλογο χρωμόσωμα από κάθε γονέα.

Επικρατή και υπολειπόμενα γνωρίσματα

Ο Mendel συνειδητοποίησε επίσης ότι η «μονάδα» που έλεγχε τον χαρακτήρα που δεν εμφανίστηκε στην πρώτη θυγατρική γενιά (κοντό ύψος βλαστού) δεν είχε στην πραγματικότητα εξαφανιστεί. Υπήρχε ακόμη, αλλά για κάποιον λόγο δεν είχε εκφραστεί. Ο Mendel ονόμασε το γνώρισμα που δεν εκφραζόταν «**υπολειπόμενο**» και αυτό που εκφραζόταν «**επικρατές**». Έτσι λοιπόν, αναπτύχθηκαν οι αρχές της **επικράτησης** και της **υποτέλειας** των κληρονομικών γνωρισμάτων, και παραμένουν έως σήμερα θεμελιώδεις για την επιστήμη της γενετικής.

Σήμερα γνωρίζουμε ότι το ύψος του βλαστού στα μωσχομπίζελα ορίζεται από δύο διαφορετικά αλληλόμορφα στον ίδιο γονιδιακό τόπο. Θα τον αποκαλούμε τόπο για το ύψος. Το αλληλόμορφο

◀ **Εικόνα 4-3** Τα κληρονομικά γνωρίσματα που μελέτησε ο Mendel στο μωσχομπίζελο.

Αρχή του διαχωρισμού Τα αλληλόμορφα (γονίδια) βρίσκονται κατά ζεύγη διότι τα χρωμοσώματα βρίσκονται κατά ζεύγη. Κατά τη γαμετογένεση, τα ζεύγη των αλληλόμορφων διαχωρίζονται, και κάθε γαμέτης φέρει ένα αλληλόμορφο από κάθε ζεύγος.

Υπολειπόμενο Ένα κληρονομικό γνώρισμα που δεν εκφράζεται στα ετερόζυγα άτομα. Αναφέρεται επίσης και στο υπεύθυνο για το γνώρισμα αλληλόμορφο γονίδιο. Προκειμένου να εκφραστεί ένα υπολειπόμενο αλληλόμορφο, το άτομο πρέπει να φέρει δύο αντίγραφα του (δηλαδή να είναι ομόζυγο ως προς το αλληλόμορφο).

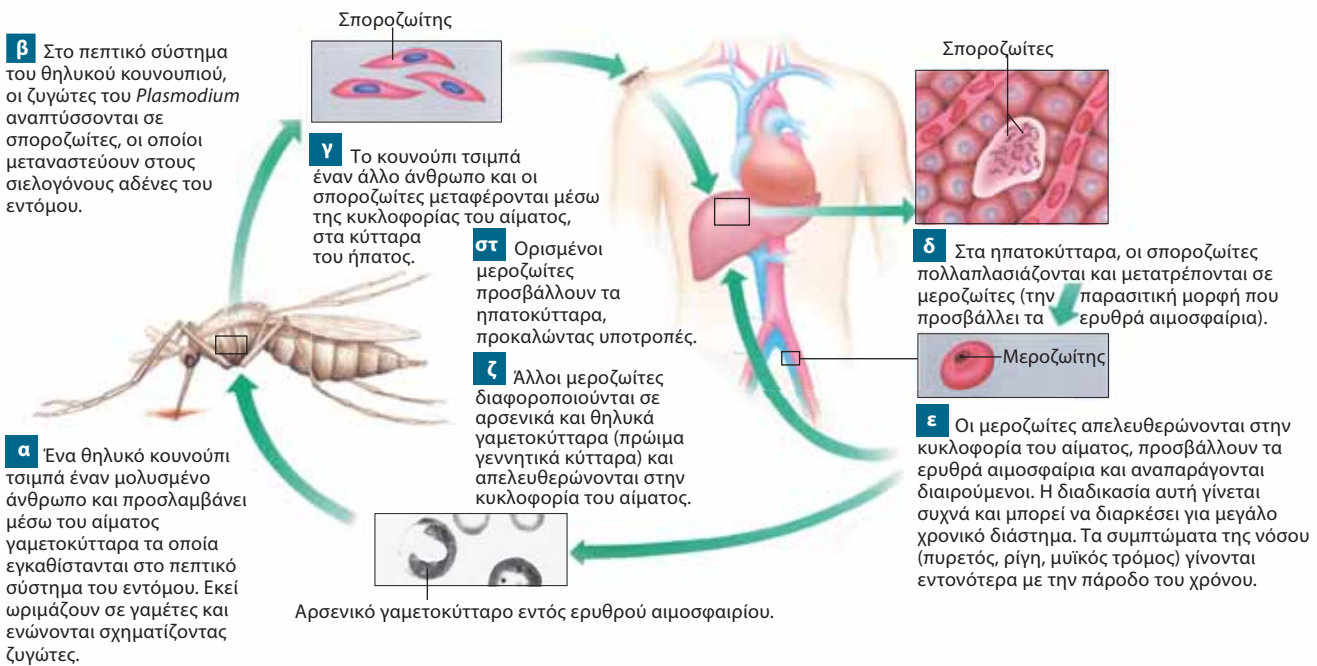
Επικρατές Στη γενετική, όρος που αναφέρεται σε γνώρισμα το οποίο ελέγχεται από αλληλόμορφο που εκφράζεται παρουσία διαφορετικού αλληλόμορφου στον ίδιο γονιδιακό τόπο (δηλαδή στους ετεροζυγώτες). Το επικρατές αλληλόμορφο αποτρέπει την έκφραση του υπολειπόμενου στον ετεροζυγώτη (πλήρης επικράτηση).

Πίνακας 4.1 Ορισμένα μεντελικά χαρακτηριστικά στον άνθρωπο

Πάθηση που οφείλεται σε επικρατή αλληλόμορφα	Φαινοτυπικές εκδηλώσεις	Πάθηση που οφείλεται σε υπολειπόμενα αλληλόμορφα	Φαινοτυπικές εκδηλώσεις
Αχονδροπλασία	Νανισμός λόγω αναπτυξιακών διαταραχών των μακρών οστών των άνω και κάτω άκρων. Το μέγεθος του κορμού και της κεφαλής είναι συνήθως φυσιολογικό.	Κυστική ίνωση	Από τις συχνότερες συγγενείς (μεντελικές) διαταραχές στους Αμερικανούς ευρωπαϊκής καταγωγής. Μη φυσιολογικές εκκρίσεις των εξωκρινών αδένων με έντονη την προσβολή του παγκρέατος. Οι περισσότεροι ασθενείς εκδηλώνουν αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Έως πρόσφατα, οπότε αναπτύχθηκαν νέες θεραπευτικές μέθοδοι, σχεδόν οι μισοί ασθενείς κατέληγαν πριν ενηλικιωθούν.
Βραχυδακτυλία	Κοντά δάκτυλα των χεριών και των ποδιών.	Νόσος Tay-Sachs	Πολύ συχνή μεταξύ των Εβραίων Ασκενάζι. Εκφυλιστική νόσος του νευρικού συστήματος που εκδηλώνεται στην ηλικία των 6 μηνών περίπου. Θανατηφόρος έως την ηλικία των 2 ή 3 ετών.
Οικογενής υπερχοληστερολαιμία	Υψηλά επίπεδα χολοστερόλης στο αίμα και εναπόθεση αθηρωματικής πλάκας στις αρτηρίες. Κύρια αιτία καρδιοπαθειών, με τον θάνατο να έχει επέλθει συνήθως έως τη μέση ηλικία.	Φαινυλκετονουρία	Αδυναμία μεταβολισμού του αμινοξέος φαινυλαλανίνης. Αν δεν αντιμετωπιστεί κατά την παιδική ηλικία, επιφέρει νοητική υστέρηση. Η θεραπεία περιλαμβάνει αυστηρά την καθορισμένη διαίτα και τη χορήγηση διατροφικών συμπληρωμάτων.
Νευροϊνωμάτωση	Τα συμπτώματα κυμαίνονται από την εμφάνιση αφύσικων μελανών κηλίδων στο δέρμα έως μεγάλους όγκους που προκαλούν σοβαρές δυσμορφίες. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, μπορεί να οδηγήσει σε τύφλωση, παράλυση και θάνατο.	Αλφισμός	Αδυναμία σύνθεσης φυσιολογικής ποσότητας της χρωστικής ουσίας μελανίνης. Προκαλεί πολύ λεπτό δέρμα, το οποίο δεν σκουραίνει από την έκθεση στον ήλιο, ανοικτό ξανθό χρώμα μαλλιών και ανοιχτόχρωμα μάτια. Ίσως συνυπάρχουν και προβλήματα όρασης. (Υπάρχουν παραπάνω από μία μορφές αλφισμού.)
Σύνδρομο Marfan	Προσβάλλει τα μάτια, το καρδιαγγειακό και το σκελετικό σύστημα. Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν μεγαλύτερο του μέσου όρου ύψος, μακριά χέρια και πόδια, προβλήματα όρασης και διόγκωση της αορτής. Συχνός ο θάνατος λόγω ρήξης της αορτής. Ο Αβραάμ Λίνκολν ίσως έπασχε από το σύνδρομο Marfan.	Δρεπανοκυτταρική αναιμία	Μη φυσιολογική μορφή της αιμοσφαιρίνης (Hb ^s) που οδηγεί σε κατάρρευση των ερυθρών αιμοσφαιρίων, εμβολή των αρτηριών, χαμηλή αιμάτωση των οργάνων και, χωρίς θεραπευτική αντιμετώπιση, στον θάνατο.
Νόσος του Huntington	Προϊούσα εκφυλιστική νόσος του νευρικού συστήματος, συνοδευόμενη από άνοια και επιληπτικές κρίσεις. Η ηλικία έναρξης των συμπτωμάτων ποικίλλει, αλλά συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 30 και 40 ετών.	Θαλασαιμία	Ομάδα κληρονομικών διαταραχών που χαρακτηρίζεται από τη μειωμένη ποσότητα έως την πλήρη απουσία της α-αλυσίδας ή της β-αλυσίδας του μορίου της αιμοσφαιρίνης. Προκαλεί σοβαρή αναιμία και, σε ορισμένες περιπτώσεις, θάνατο.
Καμπτοδακτυλία	Δυσπλασία των χεριών κατά την οποία τα δάκτυλα, συνήθως το μικρό δάκτυλο, παραμένουν μόνιμα σε κάμψη.	Απουσία μόνιμης οδοντοστοιχίας	Αδυναμία ανατολής των μόνιμων δοντιών. Η νεογνή οδοντοφυΐα δεν επηρεάζεται.
Υποδοντία των άνω πλευρικών κοπτήρων	Οι άνω πλευρικοί κοπτήρες απουσιάζουν ή είναι μερικώς ανεπτυγμένοι. Στη δεύτερη περίπτωση, αποτελούν τη μερική μόνο έκφραση του αλληλόμορφου.		
Σχισμή στο πιγούνι	Λακκάκι στο μέσο του πιγουνιού. Είναι περισσότερο εμφανές στους άνδρες.		
Γεύση του πικρού στην ουσία PTC	Ικανότητα γεύσης της πικρής ουσίας φαινυλθειοκαρβαμίδιο (PTC). Η ικανότητα αυτή παρουσιάζει διακυμάνσεις μεταξύ των ατόμων, υποδηλώνοντας ότι στην εκδήλωσή της ίσως εμπλέκονται αλληλόμορφα και άλλου γονιδιακού τύπου.		

«δυνατότερα» από τα υπολειπόμενα και είναι ευρέως διαδεδομένη η λαθεμένη αντίληψη περί μεγαλύτερης συχνότητας των επικρατών αλληλόμορφων στον πληθυσμό, επειδή ευνοούνται από τη φυσική

επιλογή. Οι παρανοήσεις αυτές προέρχονται χωρίς αμφιβολία από τη χρήση του όρου «επικρατές», ο οποίος παραπέμπει στις έννοιες της δύναμης και του ελέγχου. Στη γενετική, όμως, η θεώρηση αυτή



▲ **Εικόνα 4-22** Ο κύκλος ζωής του παρασίτου της ελονοσίας.

στο αίμα ενός ατόμου είναι πλεονέκτημα, διότι του προσφέρει ως έναν βαθμό προστασία από την ελονοσία. Επομένως, στις περιοχές όπου ενδημεί η ελονοσία, δρα ως παράγοντας επιλογής που ευνοεί τον ετερόζυγο φαινότυπο, διότι οι ετεροζυγώτες έχουν μεγαλύτερη καθαρή αναπαραγωγική επιτυχία συγκριτικά με όσους έχουν φυσιολογική αιμοσφαιρίνη, οι οποίοι συχνά πεθαίνουν από ελονοσία. Η ευνοϊκή όμως επιλογή για τους ετεροζυγώτες συνεπάγεται ότι το αλληλόμορφο *Hb^S* διατηρείται στον πληθυσμό. Ως εκ τούτου, πάντοτε θα υπάρχουν άτομα με δρεπανοκυτταρική αναιμία και, φυσικά, θα έχουν χαμηλότερη αναπαραγωγική επιτυχία, εφόσον, χωρίς θεραπευτική αγωγή, τα περισσότερα θα πεθάνουν προτού ενηλικιωθούν.

Επισκόπηση της γενετικής κληρονομικότητας και των εξελικτικών μηχανισμών

Σε αυτό το κεφάλαιο επικεντρωθήκαμε στους μηχανισμούς της κληρονομής της γενετικής πληροφορίας. Κάναμε επίσης μια ανασκόπηση της εξελικτικής θεωρίας, τονίζοντας τον κρίσιμο ρόλο της φυσικής επιλογής στις εξελικτικές διεργασίες. Τα διάφορα επίπεδα οργάνωσης της εξελικτικής διαδικασίας (μοριακό, κυτταρικό, ατομικό και πληθυσμιακό) είναι διακριτά στοιχεία μιας ενιαίας διεργασίας και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, ώστε τελικά να επιφέρουν εξελικτική μεταβολή. Θα δώσουμε τώρα ένα παράδειγμα της διαδικασίας βήμα προς βήμα, ώστε

να αποσαφηνιστούν καλύτερα όλα όσα αναφέραμε.

Ας υποθέσουμε ότι σχεδόν όλα τα μέλη ενός πληθυσμού έχουν αιμοσφαιρίνη Α. Για πρακτικούς λόγους λοιπόν, υπάρχει σχεδόν μηδαμινή ποικιλότητα ως προς το γνώρισμα αυτό και, χωρίς κάποια νέα πηγή ποικιλότητας, ο πληθυσμός δεν είναι δυνατόν να εξελιχθεί. Παρ' όλα αυτά, λίγα άτομα σε κάθε γενεά φέρουν μια αυθόρμητη μεταλλαγή που συνίσταται στην αλλαγή μίας μόνο βάσης του DNA στο γονίδιο *Hb^A*. Η μοναδική αυτή μετάλλαξη σημείου, ή αντικατάσταση βάσης, στην πραγματικότητα έχει δημιουργήσει ένα νέο αλληλόμορφο (*Hb^S*), διαφοροποιώντας ελαφρώς το πρωτεϊνικό προϊόν (το μόριο της αιμοσφαιρίνης) και τελικά τον φαινότυπο του ατόμου. Για να έχει ωστόσο οποιαδήποτε εξελικτική δυναμικότητα, το μεταλλαγμένο αλληλόμορφο πρέπει να περιέχεται στους γαμέτες και να μεταβιβάζεται στους απογόνους.

Από τη στιγμή που εμφανίζεται μια μεταλλαγή στο DNA, αυτή θα συνεχίσει να υπάρχει στο χρωμόσωμα, το οποίο μαζί με άλλα, μπορεί να μεταβιβαστεί στις επόμενες γενιές. Και εάν ένα άτομο φέρει τη μεταλλαγή σε ένα μόνο από τα δύο ομόλογα χρωμοσώματα, η πιθανότητα να την κληροδοτήσει σε καθέναν από τους απογόνους του είναι της τάξης του 50%.

Ποια η σχέση όμως, όλων αυτών με την εξέλιξη; Για να επαναλάβουμε τον προαναφερθέντα ορισμό, η εξέλιξη βασίζεται στην αλλαγή των συχνοτήτων των αλληλόμορφων ενός πληθυσμού από τη μία γενιά στην επόμενη. Το κλειδί της συζήτησής μας τώρα είναι οι πληθυσμοί, διότι αυτοί είναι που αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου.

Η προσαρμογή στη δίποδη μετακίνηση

Στην επισκόπηση της ανασύνθεσης της συμπεριφοράς των πρώιμων ανθρωπογονικών στο προηγούμενο κεφάλαιο, αναφερθήκαμε πιο εκτενώς σε ορισμένες υποθέσεις που επιχειρούν να ερμηνεύσουν τα πρωταρχικά αίτια της εξέλιξης της δίποδης μετακίνησης στους ανθρωπογονικούς. Εδώ θα επικεντρωθούμε στις συγκεκριμένες ανατομικές (**μορφολογικές**) μαρτυρίες που μας πληροφορούν για τον χρόνο, τον τόπο και τον τρόπο της εξέλιξης του διποδισμού. Από μια ευρύτερη οπτική, έχουμε ήδη αναφέρει ότι όλα τα είδη πρωτευόντων εμφανίζουν την τάση για μια πιο όρθια στάση του σώματος και έναν μικρό βαθμό δίποδης μετακίνησης. Παρ' όλα αυτά, μεταξύ όλων των αρτίγωνων πρωτευόντων, ο διποδισμός ως πρωταρχική (συστηματική) μορφή μετακίνησης παρατηρείται *μόνο* στον άνθρωπο. Από λειτουργικής άποψης, ο ανθρώπινος τρόπος μετακίνησης είναι περισσότερο εμφανής στον διασκελισμό μας, κατά τον οποίο το βάρος του σώματος υποστηρίζεται εναλλάξ από ένα πλήρως εκτεταμένο κάτω άκρο. Η εξειδικευμένη αυτή μορφή μετακίνησης έχει αναπτυχθεί σε σημείο που η ενεργειακή της απόδοση αγγίζει σχεδόν το μέγιστο. Ο ανθρώπινος τύπος δίποδης μετακίνησης απέχει μακράν από αυτόν που παρατηρούμε στα υπόλοιπα πρωτεύοντα. Όταν εκείνα βαδίζουν στα δύο πόδια, κρατούν λυγισμένους τους γοφούς και τα γόνατα, διατηρώντας την ισορροπία τους αδέξια και αναποτελεσματικά, περισσότερο παραπατώντας παρά κάνοντας πλήρεις διασκελισμούς.

Από την παρατήρηση των στενότερων αρτίγωνων συγγενών μας, γίνεται εμφανές ότι οι πρόγονοί μας, ενώ ήταν ακόμη δενδρόβιοι, είχαν προσαρμοστεί στη διατήρηση του άνω μέρους του σώματός τους σε αρκετά όρθια στάση. Οι προπίθηκοι, οι μαϊμούδες και οι πίθηκοι κάθονται για αρκετή ώρα με τον κορμό τους σε όρθια θέση ενώ τρέφονται, περιποιούνται το τρίχωμά τους ή κοιμούνται. Πολύ πιθανόν, οι πρόγονοί μας συμπεριφέρονταν με τον ίδιο τρόπο. Τι ήταν αυτό που ώθησε τα ζώα αυτά να εγκαταλείψουν τα δένδρα και να υιοθετήσουν έναν μοναδικό τρόπο ζωής στο έδαφος, ο οποίος τελικά θα οδηγούσε στην εμφάνιση του ανθρώπου, παραμένει ακόμη ένα μυστήριο. Ίσως η φυσική επιλογή ευνόησε ορισμένα μειοκαινικά ανθρωποειδή που κατέβαιναν περιστασιακά στο έδαφος προς αναζήτηση τροφής στον δασικό τάπητα και στις παρυφές του δάσους. Σε κάθε περίπτωση, από τη στιγμή που βρέθηκαν στο έδαφος και μακριά από την άμεση ασφάλεια των δέντρων, η δίποδη μετακίνηση θα μπορούσε να ανα-

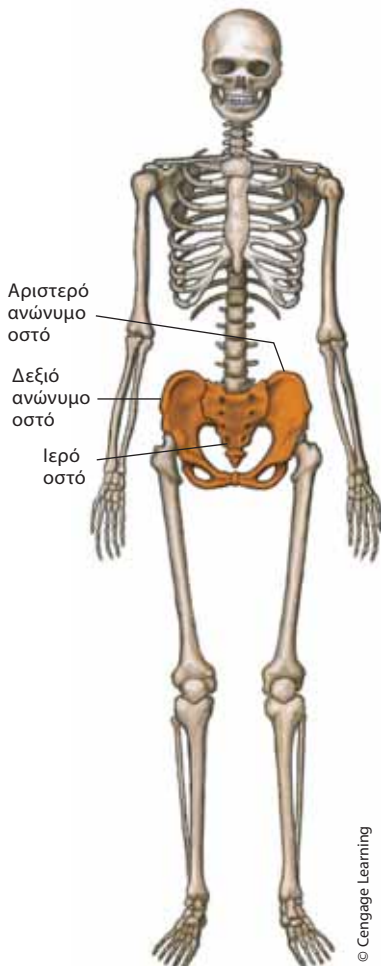
δειχθεί σε εξαιρετικό πλεονέκτημα. (Για μια εκτενέστερη αναφορά στις επιστημονικές υποθέσεις που έχουν επιχειρήσει να εξηγήσουν την αρχική εξέλιξη της δίποδης μετακίνησης, ανατρέξτε στο Κεφάλαιο 9).

Η εμβιομηχανική της δίποδης βάδισης

Ο ανθρώπινος τύπος μετακίνησης είναι πράγματι ασυνήθιστος, περιλαμβάνοντας ένα μοναδικό είδος δραστηριότητας κατά την οποία «το σώμα, βήμα προς βήμα, παραπαίει στα όρια της καταστροφής» (Napier, 1967, σελ. 56). Υπό αυτήν την έννοια, η πράξη της ανθρώπινης βάδισης είναι η πράξη της επαναλαμβανόμενης παραλίγο πτώσης! Το πρόβλημα είναι η διατήρηση της ισορροπίας με το πόδι «στήριξης», την ώρα που το «ελεύθερο» πόδι έχει αφήσει το έδαφος. Για την ακρίβεια, στην κανονική δίποδη βάδιση, τα δύο πόδια ακουμπούν ταυτόχρονα στο έδαφος μόλις στο 25% της συνολικής χρονικής της διάρκειας, και το ποσοστό αυτό μειώνεται καθώς αυξάνεται ο ρυθμός του βηματισμού μας ή αρχίζουμε να τρέχουμε.

Η διατήρηση ενός σταθερού κέντρου ισορροπίας σε αυτή την πολύπλοκη μορφή μετακίνησης απαιτεί τη δραστητική τροποποίηση πολλών ανατομικών χαρακτηριστικών και δομών ως προς το βασικό πρότυπο του τετραποδισμού των πρωτευόντων. Οι πιο κρίσιμες αλλαγές εντοπίζονται στη λεκάνη. Ο σκελετός της πυέλου αποτελείται από τρία συστατικά μέρη: τα δύο ανώνυμα οστά, που αρθρώνονται πίσω με το ιερό οστό (**Εικ. 10-1**). Σε ένα τετράποδο ζώο, τα ανώνυμα οστά είναι επιμηκυσμένα και τοποθετημένα σε κάθε πλευρά της κατώτερης μοίρας της σπονδυλικής στήλης, ενώ είναι προσανατολισμένα σχεδόν παράλληλα με αυτήν. Στους ανθρωπογονικούς, τα ανώνυμα οστά είναι συγκριτικά πολύ βραχύτερα και πλατύτερα και εκτείνονται πλευρικά (**Εικ. 10-2**). Κατά την ορθοστασία, η διευθέτηση αυτή βοηθά να σταθεροποιηθεί η γραμμή μεταφοράς του σωματικού βάρους από χαμηλά στη σπονδυλική στήλη στην άρθρωση των γοφών (**Εικ. 10-3**).

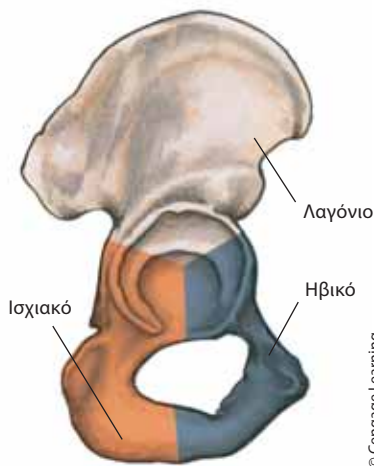
Η τροποποίηση της δομής του σκελετού της πυελικής ζώνης κατά τα πρώτα στάδια της εξέλιξης των ανθρωπογονικών επέφερε αρκετές αλλαγές στον λειτουργικό της ρόλο. Με την πλάτυνση των ανώνυμων οστών και τη διεύρυνσή τους γύρω από και πλευρικά του πρόσθιου μέρους του σώματος, σχηματίστηκε μια δομή σε σχήμα λεκάνης, η οποία συμβάλλει στην υποστήριξη των εσωτερικών οργάνων της κοιλιάς. Οι τροποποιήσεις αυτές αναπροσάρμοσαν επίσης τα σημεία πρόσφυσης αρκετών μυών του γοφού και του κάτω άκρου, μυών αποφασιστικής σημασίας για



© Cengage Learning

▲ **Εικόνα 10-1** Η ανθρώπινη πύελος: Τα συστατικά της μέρη απεικονίζονται στον σκελετό ενός ανατομικά σύγχρονου ανθρώπου.

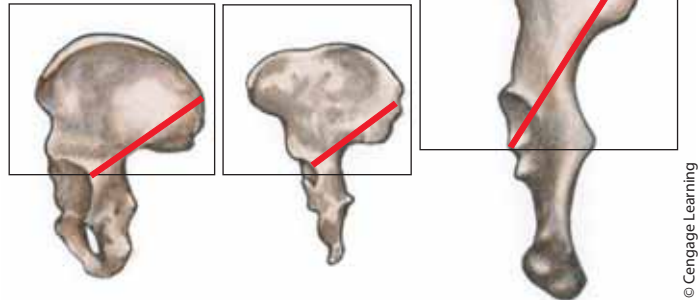
Μορφολογικός Ο αναφερόμενος στη μορφή και τη δομή των οργανισμών.



▲ **Εικόνα 10-2** Το ανθρώπινο ανώνυμο οστό αποτελείται από τρία επιμέρους οστά (δεξιά όψη).

▼ **Εικόνα 10-3** Ανώνυμα οστά. (α)

Άνθρωπος ο σοφός. (β) Πρώιμος άνθρωπογονικός (αυστραλοπίθηκος) από τη Νότιο Αφρική. (γ) Μεγάλος πίθηκος. Προσέξτε ιδιαίτερα το πλάτος και το μήκος της πτέρυγας του λαγόνιου οστού (εντός του τετραγώνου) και της γραμμής μεταφοράς του σωματικού βάρους (κόκκινη γραμμή).



τη στάση του σώματος και τη μετακίνηση, μεταβάλλοντας έτσι τη μηχανική τους λειτουργία. Ίσως η πιο σημαντική τροποποίηση αφορά στον μείζονα γλουτιαίο μυ, τον μεγαλύτερο μυ του σώματος, που στον άνθρωπο σχηματίζει τους γλουτούς. Στα τετράποδα, ο μείζων γλουτιαίος μυς εντοπίζεται πλευρικά της άρθρωσης του ισχίου και λειτουργικά τραβά τον μηρό στο πλάι και μακριά από το σώμα. Στον άνθρωπο, εντοπίζεται πίσω από την άρθρωση του ισχίου. Η θέση αυτή του επιτρέπει, μαζί με τους ισχιοκνημιαίους μυς, να εκτείνει τον μηρό τραβώντας τον προς τα πίσω, όταν το άτομο περπατά ή τρέχει (**Εικ. 10-4**). Ο μείζων γλουτιαίος είναι ένας πραγματικά ισχυρός εκτείνων μυς του μηρού και πηγή επιπρόσθετης ισχύος κατά τη διάρκεια του τρεξίματος ή της αναρρίχησης.

Η μετάβαση στον διποδισμό επέφερε τροποποιήσεις και σε άλλα σημεία του σκελετού. Οι πιο σημαντικές από αυτές, όπως συνοψίζονται στη «Διερεύνηση: Τα κύρια ανατομικά γνωρίσματα της δίποδης μετακίνησης», περιλαμβάνουν (1) την αναπροσαρμογή της θέσης του ινιακού τρήματος – το μεγάλο άνοιγμα στη βάση του κρανίου μέσω του οποίου ο εγκέφαλος ενώνεται με το νωτιαίο μυελό– (2) την προσθήκη επιπλέον κυρτώσεων στη σπονδυλική στήλη, οι οποίες κατά την ορθοστασία βοηθούν στη μεταφορά του βάρους του άνω σώματος στους γοφούς, (3) τη βράχυνση και διεύρυνση της πυελικής ζώνης και τη σταθεροποίηση της μεταφοράς του σωματικού βάρους (αναφέρθηκε προηγουμένως), (4) την επιμήκυνση των κάτω άκρων και συνεπώς την αύξηση του μήκους του διασκελισμού, (5) την κλίση του μηριαίου οστού προς τα μέσα, ώστε να φέρνει τα γόνατα και τα πόδια πιο κοντά μεταξύ τους κάτω από το σώμα και (6) αρκετές τροποποιήσεις στη δομή του κάτω άκρου του ποδιού, περιλαμβανομένης της ανάπτυξης της ποδικής κα-

μάρας κατά μήκος του πέλματος και την αναπροσαρμογή της θέσης του μεγάλου δακτύλου σε παράλληλη διάταξη με τα υπόλοιπα (δηλαδή το μεγάλο δάκτυλο δεν ήταν πλέον αποκλίνον).

Βλέπετε λοιπόν ότι για την εξέλιξη του ανθρώπινου διποδισμού απαιτήθηκε μια περίπλοκη αναδιοργάνωση του μυοσκελετικού συστήματος. Για να προκύψουν τέτοιας κλίμακας ανατομικές αλλαγές μέσω της δράσης της φυσικής επιλογής, τα προσαρμοστικά πλεονεκτήματα του διποδισμού θα πρέπει πράγματι να ήταν πολύ σημαντικά για τους πρώιμους άνθρωπογονικούς! Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφέραμε αρκετά από αυτά. Όλα όμως αποτελούν υποθέσεις (και εφόσον δεν μπορούν να υποβληθούν σε επιστημονικούς ελέγχους, θα ήταν πιο σωστό να αποκαλούνται σενάρια) και δεν έχουμε επαρκή στοιχεία για να τις ελέγξουμε όλες.

▼ **Εικόνα 10-4** Σύγκριση σημαντικών μυών για την έκταση του ισχίου. Προσέξτε ότι κατά την όρθια στάση, η επιφάνεια πρόσφυσης (σημειώνεται με μαύρο χρώμα) του μείζονα γλουτιαίου στον άνθρωπο (α) βρίσκεται πολύ πιο πίσω από την άρθρωση του ισχίου σε σχέση με τον χιμπαντζή (β).

