

Evolueren wij nog?



# Evolueren wij nog?

*Alles wat je wilt weten over ontwikkeling  
en evolutie van ons lichaam*

*Nico M. van Straalen en Dick Roelofs*

Deze publicatie is tot stand gekomen met steun van de afdeling Ecologische Wetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam.

Ontwerp omslag: Suzan Beijer

Ontwerp binnenwerk: Crius Group, Hulshout

ISBN 978 94 6298 130 0

e-ISBN 978 90 4853 095 3 (pdf)

e-ISBN 978 90 4853 096 0 (ePub)

NUR 922

© N.M. van Straalen, D. Roelofs / Amsterdam University Press B.V., Amsterdam 2017

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j<sup>o</sup> het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

De uitgeverij heeft ernaar gestreefd alle copyrights van in deze uitgave opgenomen illustraties te achterhalen. Aan hen die desondanks menen alsnog rechten te kunnen doen gelden, wordt verzocht contact op te nemen met Amsterdam University Press.

# Inhoudsopgave

Voorwoord	7
1. Het verhaal van onze voorouders	11
De revolutionaire vernieuwing: rechtop lopen	11
Hoe oud is dat fossiel?	14
De stamboom van de mens	17
De oude homininen	20
Bloeitijd van de aapmensen	22
De eerste Homo's	25
Naar de moderne tijd	32
2. Van ei tot mens	37
Heterochronie en de wet van Haeckel	37
Klievingen en kiembladen	41
Assen geven richting	46
Modeldieren in de ontwikkelingsbiologie	51
De gereedschapskist	58
Nieuwe assen voor ledematen	64
3. Het geknutselde lichaam	67
Ketellappers, horlogemakers en de Boeing 747	67
De naaktheid van de mens	72
Aanpassingen aan bipedalisme in het bewegingsapparaat	76
Kieuwspleten, strottenhoofd en middenoor	83
Hart, longen en urogenitaalstelsel	85
Evolutie van de hersenen	94
4. Verschil moet er zijn	101
Grote sprongen of stapsgewijze adaptatie?	101
Het ontstaan van variatie	105
Evenwicht tussen allel- en genotypefrequenties	114
Neutrale evolutie	124
Geografische afstand geeft genetische verschillen	128
Bovenop de genetica	130

5. Het verleden in het heden	137
Fylogenetische reconstructie	137
De moleculaire klok	147
Uit Afrika of multiregionale evolutie?	150
Migraties in alle richtingen	156
Hybridisaties tussen mensachtigen	160
6. De culturele mens	167
Prehistorische werktuigen en grottekeningen	167
De neolithische transitie	176
Taal: vroeg of laat?	181
Leven in groepen: altruïstisch gedrag	184
Culturele evolutie	191
7. Evolueert de mens nog?	197
Kwantitatieve kenmerken en erfelijkheidsgraad	197
Evolutie van biomedische kenmerken	203
Evolutie van de levenscyclus	207
Partnerkeuze en seksuele selectie	208
Evolutionaire geneeskunde	213
Nawoord	221
Verder lezen	225
Primaire literatuur	229
Verantwoording van de figuren	247
Index	253

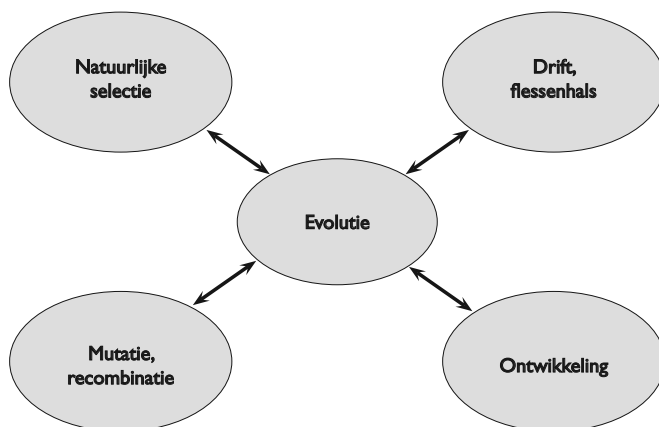
# Voorwoord

Dat de mens een biologische soort is, onderworpen aan dezelfde evolutionaire mechanismen als alle andere biologische soorten, daar twijfelt tegenwoordig geen enkele wetenschapper meer aan. Maar hoe dat evolutionaire proces precies heeft plaatsgevonden, welke erfelijke veranderingen en welke selectiekrachten ons hebben gemaakt tot wat we nu zijn, daarover is nog veel onduidelijk. Wel is in de laatste tien jaar het onderzoek naar de evolutie van de mens in een enorme stroomversnelling gekomen. Dat is allereerst veroorzaakt door de vondsten van een groot aantal nieuwe fossielen. Al in 1964 brak een 'gouden periode' aan voor de humane paleontologie, en begon de stamboom van de mens vorm te krijgen. Sinds 2002 is daar nog een groot aantal spectaculaire vondsten aan toegevoegd, waarmee het beeld dat we hebben van de diversiteit van onze voorouders op grondige wijze is bijgesteld. Veel van die ontdekkingen halen de krant en bereiken het grote publiek. In de laatste jaren is het aantal soorten echter zo toegenomen dat het voor de leek haast ondoenlijk is om het overzicht te bewaren. Een van de doelstellingen van dit boek is om de grote rijkdom aan uitgestorven aapmensen en mensen in onderlinge samenhang te presenteren.

Ten tweede heeft de moderne biotechnologie het mogelijk gemaakt om het DNA van mensen zo gedetailleerd in kaart te brengen dat daaruit belangrijke conclusies getrokken kunnen worden over onze evolutionaire historie. De genetische verschillen tussen mensen, in samenhang met de plaatsen waar ze wonen, de taal die ze spreken en de culturen die ze erop nahouden, zijn een onschatbare bron van kennis over de evolutie: een groot deel van onze evolutionaire historie ligt opgeslagen in het huidige DNA. Vanwege de enorme vlucht van het DNA-onderzoek en de mogelijkheid om van honderden mensen tegelijkertijd het hele genoom uit te lezen en te vergelijken, kunnen we nu veel meer zeggen over de evolutie van de mens dan een aantal jaren geleden.

Ten derde is het ook mogelijk gebleken om DNA te isoleren uit fossiel materiaal, als dat niet al te oud is (momenteel tot ongeveer 400.000 jaar). Het uitlezen van oud DNA leidde in 2010 tot de verbluffende conclusie dat mensen gekruist moeten hebben met neanderthalers. Wij vonden dit zelf een van de meest schokkende gebeurtenissen in de evolutiewetenschap, omdat we in onze cursussen jarenlang beweerd hadden dat mensen en neanderthalers twee biologisch gescheiden soorten waren.

Ten slotte benadrukken wij dat de evolutiebiologie in de laatste jaren een integratieproces is aangegaan met de ontwikkelingsbiologie. Daarbij is een



nieuw vakgebied aan het ontstaan, dat aangeduid wordt met 'evo-devo'. Elk dier ontwikkelt zich van een bevruchte eicel, via een embryo en een foetus tot een volwassen en reproducerend individu. De genetische machinerie die deze ontwikkeling aanstuurt wordt bij een aantal modelsoorten steeds beter begrepen. Evolutie is een proces van verandering in die aansturing waardoor de ontwikkeling een nieuwe wending neemt en de uiterlijke verschijningsvorm van een soort verandert.

Evolutie is in feite het resultaat van vier verschillende invloeden (zie de figuur). De basis voor evolutie ligt in de genetica. In het erfelijk materiaal treden continu veranderingen (mutaties) op die door geslachtelijke voortplanting recombineren tussen individuen en aan de nakomelingen worden doorgegeven. Mutatie en recombinitie genereren de variatie die selectie kan aangrijpen. Natuurlijke selectie zorgt er vervolgens voor dat mutaties die gunstige eigenschappen aan het individu verlenen behouden blijven en zich in de populatie verspreiden ten koste van minder gunstige varianten. In een kleine populatie kunnen mutaties zich ook door genetische drift en flessenhalseffecten vestigen, wat het onderwerp is van de neutrale evolutietheorie. De embryonale ontwikkeling heeft een sterk integrerende en ook beperkende invloed op de mogelijkheden voor evolutie omdat mutaties moeten passen in het geheel van de genetische aansturing van het bouwplan voordat ze als uiterlijk kenmerk zichtbaar worden en geselecteerd kunnen worden.

Onze aanpak is een integratieve benadering van de evolutie, waarbij mutatie, recombinitie, natuurlijke selectie, neutrale evolutie en ontwikkelingsprocessen in hun onderlinge samenhang betrokken worden. De aandacht voor ontwikkelingsbiologie onderscheidt dit boek van andere boeken over de evolutie van de mens. Het verschijnen van een nieuw en



uniek bouwplan, een menselijk lichaam dat zich in allerlei opzichten onderscheidt van de mensapen maar daar toch zo veel op lijkt, vereist een verklaring in termen van evo-devo. Ons lichaam blijkt op wonderlijke wijze in elkaar geknutseld te zijn, met allerlei onhandigheden en relicten die nog duidelijk nawijsbaar zijn en alleen verklaard kunnen worden vanuit onze evolutionaire historie.

Ongetwijfeld zal de lezer in dit boek af en toe moeite hebben met de biologische terminologie die we gebruiken. Het gebruik van deze termen is in een boek als dit echter tot op zekere hoogte onvermijdelijk. En onze ervaring is ook dat het onderwerp zelf, de evolutie van de mens, dermate fascinerend is dat de lezer een redelijke mate van technisch detail voor lief neemt.

Dit boek is het resultaat van het jarenlang onderwijs geven in de evolutiebiologie aan studenten biologie, biomedische wetenschappen en gezondheidswetenschappen aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Als onderdeel van de cursus moesten de studenten elk jaar hun verworven kennis toepassen door een essay te schrijven met het thema 'Evolueert de mens nog?' Dat leverde talloze onverwachte en originele ideeën op. Dit boek is ons eigen antwoord op die vraag.



# 1. Het verhaal van onze voorouders

Ongeveer 7 miljoen jaar geleden ontstond er onder de Afrikaanse mensapen een radicaal nieuwe evolutielijn: rechtop lopende mensaapachtige wezens die de savanne gingen verkennen in plaats van hun leven te slijten in de bomen. Dit is te beschouwen als een van de belangrijkste gebeurtenissen in de evolutionaire geschiedenis, omdat uit deze lijn uiteindelijk een soort zou ontstaan die het aanzien van de aarde tot in alle uithoeken fundamenteel zou veranderen: de mens. In dit hoofdstuk bespreken we de verschillende aapmensen en mensen, niet minder dan 26 soorten, die in een tijdspanne van 7 miljoen jaar geleefd hebben, vanaf het eind van het Mioceen tot in de moderne tijd. Al die soorten zijn uitgestorven, behalve één. Wij, *Homo sapiens*, zijn de enige overlevende; van de rest hebben we alleen fossielen en artefacten. Hoe hangen al deze soorten samen, welke kunnen beschouwd worden als onze voorouders en hoe leefden ze? Deze fascinerende vragen bespreken we in dit eerste hoofdstuk.

## De revolutionaire vernieuwing: rechtop lopen

De mens is biologisch gesproken een mensaap, een zoogdier en een gewerveld dier. Biologen classificeren soorten volgens een hiërarchisch systeem van geslachten, families, ordes, klassen en fyla. Als we dat doen voor de mens, krijgen we de indeling zoals weergegeven in tabel 1.1.

Veel kenmerken van ons lichaam herinneren ons eraan dat wij apen, zoogdieren en gewervelde dieren zijn. Die kenmerken zullen we in hoofdstuk 3 doornemen. In dit hoofdstuk richten we ons op de groep van de Homininae, technisch gesproken een subfamilie van de familie Hominidae, waartoe behalve de mens ook de chimpansee, bonobo en gorilla gerekend worden. De mens is de enige nog levende soort in de subfamilie Homininae (tabel 1.1).

Het definiërende kenmerk van de Homininae is het lopen op twee benen. Dat moet een geweldig voordeel gehad hebben, gezien het feit dat er niet minder dan 26 soorten ontstonden. Maar wat precies het voordeel is geweest van een rechtop lopende levenswijze is nog niet zo gemakkelijk aan te geven. Er zijn verschillende theorieën over geformuleerd. Veelal wordt aangevoerd dat rechtop lopen de handen vrijmaakt, waardoor die beschikbaar zijn voor het meenemen van voedsel naar de thuisbasis. Ook hebben onderzoekers beweerd dat lopen op twee benen voordelig is omdat

**Tabel 1.1: Systematische indeling van *Homo sapiens***

Fylum	Chordata	Chordadieren
Subfylum	Vertebrata	Gewervelde dieren
Klasse	Mammalia	Zoogdieren
Subklasse	Placentalia	Placentazoogdieren
Orde	Primates	Primate (halfapen en apen)
Superfamilie	Hominoidea	Mensapen
Familie	Hominidae	Mens, chimpansee en gorilla
Subfamilie	Homininae	Aapmensen en mensen*
Genus	<i>Homo</i>	Mensen*
Species	<i>Homo sapiens</i>	Mens

\* inclusief uitgestorven vertegenwoordigers

daarmee het uitzicht over de omgeving vergroot wordt, waardoor roofdieren eerder opgemerkt kunnen worden. Wandelen op twee benen is bovendien een erg efficiënte manier van voortbeweging als je niet al te hard wilt lopen. Ten slotte hebben biologen erop gewezen dat een rechtop gaande houding de hoeveelheid opgevangen zonnestraling vermindert, terwijl de bovenkant van het lichaam kan afkoelen door gebruik te maken van de luchtstroming (fig. 1.1). Van deze theorieën lijkt de laatste, die de nadruk legt op een betere warmtehuishouding in een heet klimaat, het meest hout te snijden.

De overgang van een volledig arboreale (aan bomen gebonden) levenswijze naar een terrestrische (grondgebonden) levenswijze werd al een

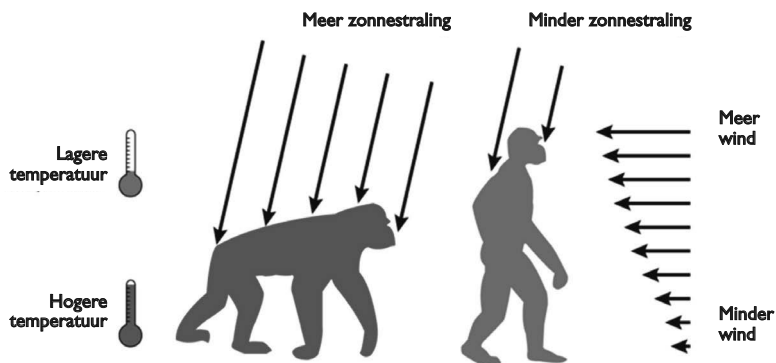


Fig. 1.1: Het rechtop lopen van de homininen is te zien als aanpassing aan het warme klimaat van de Afrikaanse savanne. De warmteregulatie van de bipedale homininen was beter dan die van de knokkelgangers doordat ze minder zonnestraling opvingen en beter gebruik konden maken van verkoelende luchtstroming.