

VU Research Portal

The naked ape as an evolutionary model

van Straalen, Nico

2017

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

van Straalen, N. (2017). *The naked ape as an evolutionary model*. Vrije Universiteit Amsterdam.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

prof.dr. N.M. van Straalen
Faculteit der Bètawetenschappen

THE NAKED APE AS AN EVOLUTIONARY MODEL



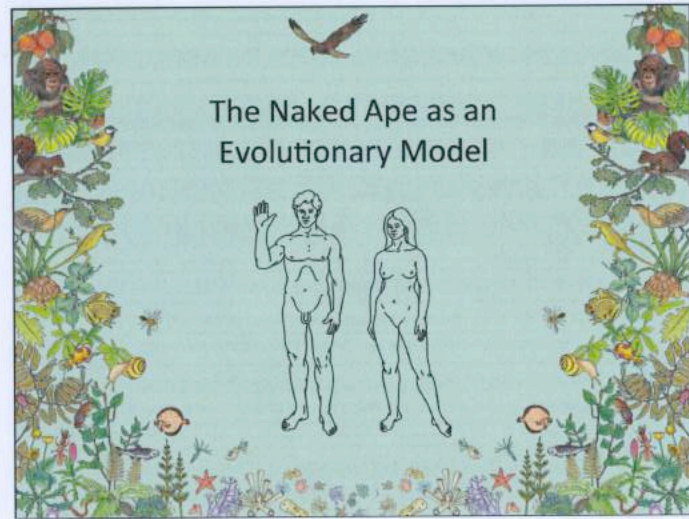
prof.dr. N.M. van Straalen

THE NAKED APE AS AN EVOLUTIONARY MODEL

Rede uitgesproken bij zijn afscheid als hoogleraar Dierecologie
aan de Faculteit der Bètawetenschappen van de Vrije Universiteit Amsterdam
op 10 november 2017.

prof. dr. N.M. van Straalen
THE NAKED APE AS AN
EVOLUTIONARY MODEL

Deze tekst is bedoeld om de achtergrond te geven aan de presentatie van de Nederlandse Universiteit van Wageningen, november 2017.



Why I went to study biology



1967

- Op de middelbare school las ik boeken die me inspireerden; daarom ging ik biologie studeren
 - “De naakte aap” van Desmond Morris, over het gedrag en de evolutie van de mens (in het Engels verschenen in 1967)
 - “Dode lente” van Rachel Carlson, over de verwoestende uitwerking van bestrijdingsmiddelen op de natuur, in de jaren 50 en 60
 - “De diepvriesmens” van C.W. Ettinger, over de mogelijkheden om mensen eeuwig te laten leven door hun organen steeds te vervangen
- Tegenwoordig zullen jongeren hun keuze voor een studie misschien niet laten leiden door een boek, maar je moet het in zijn tijd zien.

Morris' argument

- Nudity arose by neoteny
- It was maintained by sexual selection



- Wat was de verklaring van Desmond Morris voor de afwezigheid van lichaamsbehaaring bij de mens?
- Onze naaktheid ontstond door neotenie
- Het werd in stand gehouden doordat het een voordeel had ten opzichte van het andere geslacht (seksuele selectie)

Neoteny

- Evolution by decelerated development (form of heterochrony)
- Human skull is more like a fetal chimpanzee skull than like an adult

- Wat is neotenie?
 - Door evolutie vastgelegde vertraagde ontwikkeling
- In de ontwikkeling van een bevruchte eicel naar een baby en verder naar een volwassen persoon, worden sommige processen vertraagd
- Daardoor ontstaat een volwassen individu met jonge (babyachtige) kenmerken
- Onze schedel lijkt veel meer op die van een baby-chimpansee dan op een volwassen chimpansee; onze hersenen blijven lange tijd “kinderlijk”
- Het gebrek aan lichaamsbeharing is een baby-kenmerk
- Bij vrouwen is de neotenie verder voortgeschreden dan bij mannen

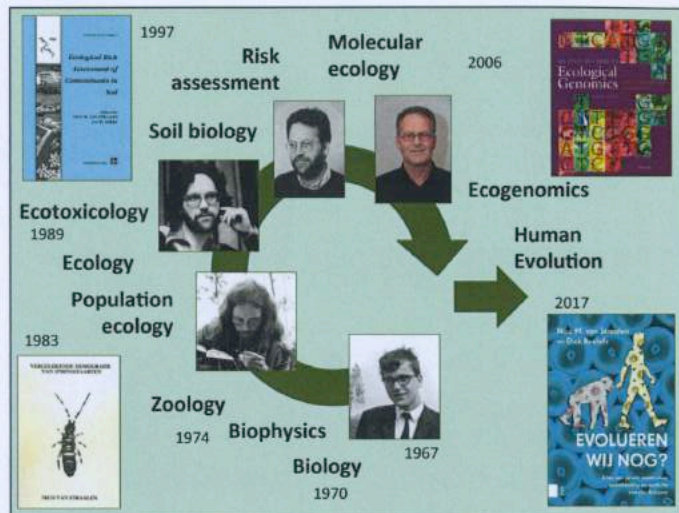
Sexual selection

WHR	0.7	0.8	0.9	1.0
Score	45	17	8	0

Singh (1993) Human Nature 4: 297-321

- Preference for certain attributes in the opposite sex that are correlated with fertility (“good genes”)
- Sexual selection is shown to operate in modern human populations

- Wat is seksuele selectie?
 - Voorkeur van kenmerken in het andere geslacht die indicatief zijn voor goede gezondheid en vruchtbaarheid
 - Zulke kenmerken evolueren omdat ze een evolutionair voordeel geven
- Seksuele selectie werkt inderdaad in de huidige maatschappij
 - Bijvoorbeeld de voorkeur van mannen voor vrouwen met taille-heupwijdte-verhouding (WHR) van 0,7; deze waarde is gecorreleerd met de vruchtbaarheid van de vrouw
- Desmond Morris beweerde dat naaktheid ook zo’n kenmerk is
 - Naaktheid stimuleert seksuele opwinding en versterkt de paarbinding



- Toen ik eenmaal biologie ging studeren raakte de naakte aap op de achtergrond
- Ik heb veel verschillende dingen gedaan
 - Populatiebiologie
 - Ecotoxicologie
 - Moleculaire ecologie
 - Evolutiebiologie
- Maar uiteindelijk kwam de naakte aap toch weer tevoorschijn (na 50 jaar); de cirkel is rond

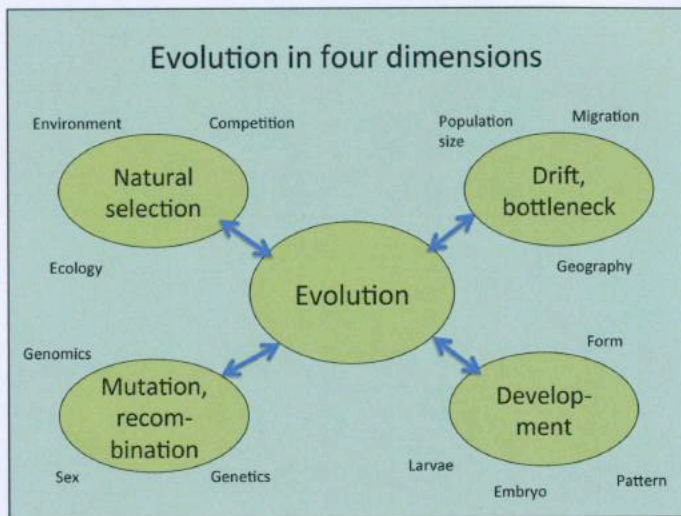
The aim of this lecture

50 years after the Naked Ape:

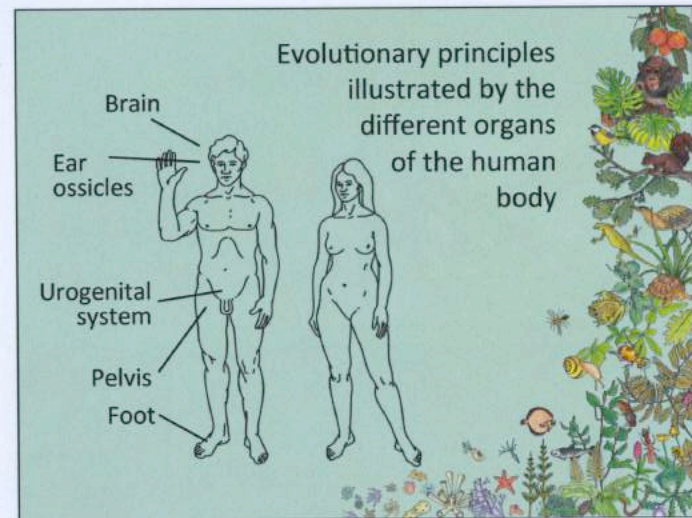
- What has the study of human evolution taught us on evolution in general?
- The human body as an exercise in evolution



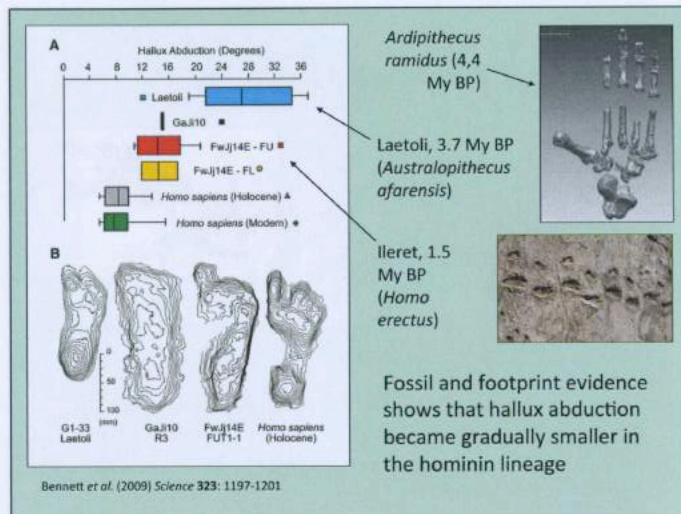
- Doel van deze lezing, 50 jaar na de naakte aap:
- Wat heeft de studie van de evolutie van de mens ons geleerd over evolutie in zijn algemeenheid?
 - De meeste evolutiebiologen werken aan dieren of planten
 - Maar de mens is ook een goed model voor de studie van evolutie
 - We kennen het menselijk lichaam heel goed
 - Genetische variatie, diversiteit, verspreiding, gedrag en cultuur zijn zeer uitvoerig bestudeerd
 - We hebben heel veel fossielen van uitgestorven voorouders van de mens
 - Veel evolutiebiologische principes kunnen door studies aan de mens geïllustreerd worden



- Evolutie werkt door een samenspel van vier factoren
 - Mutaties veroorzaken nieuwe varianten van genen; recombinitie (van het erfelijk materiaal van man en vrouw) zorgt voor nieuwe combinaties van die genen
 - Natuurlijke selectie (inclusief seksuele selectie) zorgt er voor dat gunstige varianten behouden blijven of toenemen en ongunstige varianten verdwijnen
 - Genetische drift, flessenhalzen en kolonisaties kunnen toevallige veranderingen in de genetische samenstelling veroorzaken, vooral in kleine populaties
 - Het ontwikkelingsprogramma van ei tot volwassene stuurt de totstandkoming van het bouwplan; veranderingen moeten passen in dat programma
- Deze vier factoren zijn niet altijd even belangrijk; hun relatieve belang varieert per geval



- Laten we een aantal organen van het menselijk lichaam bekijken
- Van onder naar boven
 - De voet
 - Het bekken
 - Het urogenitaal systeem (nieren en geslachtsorganen)
 - De middenoorbeentjes
 - De hersenen
- Bij elk orgaan stellen we de vraag welke evolutionaire principes het orgaan illustreert



- In de evolutie van de homininen (op twee benen lopende aapmensen en mensen) is de grote teen steeds dichterbij de andere komen te staan
 - Hallux-abductie = hoek tussen grote teen en de lengterichting van de voet: is geleidelijk kleiner geworden
- Dit blijkt uit voetafdrukken in vulkanische as van 3,7 en 1,5 miljoen jaar geleden (Laetoli en Ilheret)
- Het blijkt ook uit de fossielen: de oude homininen (*Ardipithecus*, 4,4 miljoen jaar oud) hadden nog een grijpvoet

The evolutionary story of the human foot

- Pentadactyly is a developmentally stable pattern since the Devone
- This basic plan was retained by the primates, fitting their arboreal life-style
- Mobility and abduction of the hallux was gradually reduced in the (bipedal) hominin lineage
- Illustrates developmental conservation and directional selection for improving bipedal stride



- Het evolutionaire verhaal van de menselijke voet
- Pentadactylie (vijftaligheid van tenen en vingers) is sinds het Devoon in de ontwikkeling vastgelegd
- Dit aspect van het bouwplan werd behouden als uitgangspunt bij alle viervoeters, ook bij primaten i.v.m. hun levenswijze in de bomen
- Als aanpassing aan het lopen op twee benen werd de hoek van de grote teen steeds kleiner; de voet evolueerde van grijpvoet naar platform-voet
- De voet illustreert twee evolutionaire principes
 - De ontwikkeling werkt sterk conserverend (behoud van eenmaal vastgelegde morfologische kenmerken)
 - Door gerichte selectie kan het bouwplan beetje bij beetje aangepast worden aan een nieuwe levenswijze

2. The human pelvis

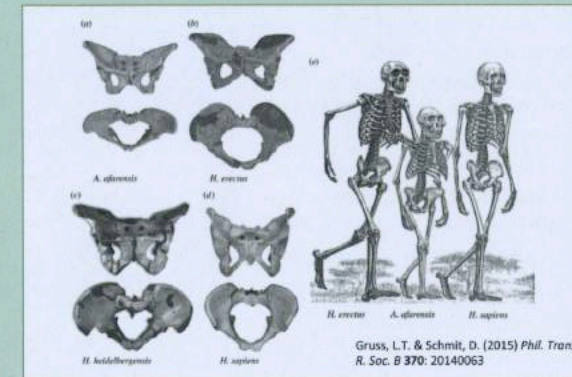


- Bowl-shaped
- Tilted backwards
- Shortened
- Broadened
- Sexually dimorphic



- In tegenstelling tot de voet is het bekken van de mens ingrijpend veranderd
- Vergeleken met het bekken van mensapen is het menselijk bekken:
 - Komvorming in plaats van plaatvormig
 - Gekanteld: darmbeen (ilium) naar achteren, schaambeen (pubis) naar voren
 - Het ilium maakt een wijde boog; de boog van het ischium is verkort
 - Het bekken is verkort in de lengterichting
 - Het bekken is verbreed in zijwaartse richting
 - Het bekken is seksueel dimorf (bij vrouwen breder, af te meten aan de hoek tussen het linker en rechter pubis)

The profound changes of the pelvis during hominin evolution

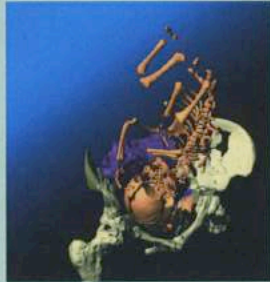


- De veranderingen in het bekken zijn voor een deel al vroeg opgetreden (waarschijnlijk al bij de eerste homininen, in ieder geval al 4,5 miljoen jaar geleden)
- Maar opvallend is dat een tussenvorm lang behouden bleef (wijd uitstaande ilia)
- De oude homininen liepen anders dan wij
- Pas bij *H. sapiens* is het bekken modern geworden
- De evolutie van het bekken verliep in twee stappen

Conflicting design requirements

- Different, conflicting, selective pressures
 - Narrow pelvis and wide-flaring ilium to accommodate bipedalism
 - More circular birth canal to accommodate increase in fetal brain size
- Compromise necessitates axial rotation of the foetus during parturition

Simulated parturition of neanderthal



Ponce de Léon et al. (2008) PNAS 106: 13764

- De evolutie van het bekken wordt gekenmerkt door twee elkaar tegenwerkende tendenzen
 - Noodzaak om het bekken smaller te maken voor het lopen op twee benen (voorkomen van zijwaartse bewegingen)
 - Noodzaak om het bekken breed te houden in verband met het baren van kinderen met grote hersenen (bij de latere homininen)
- De vorm van het menselijk bekken is een compromis, waardoor de baby geboren moet worden via een dubbele spildraai
- Uit een virtuele reconstructie vanuit fossiele bekkens en fossiele kinderschedels blijkt dat ook de neanderthaler een moeilijke bevalling had

The evolutionary story of the human pelvis

- Complicated changes, in various steps
 - Accelerated evolution of the upper pelvis (peramorphosis)
 - Adaptation of the lower pelvis came later
 - Extinct hominins show intermediate stages (mosaic evolution)
- Baby experiences the consequences of evolution already during birth!
- Illustrates bidirectional selection, mosaic evolution and peramorphosis



- Het evolutionaire verhaal van het bekken
- Het bekken is veranderd in twee stappen:
 - Versnelde evolutie van de bovenkant i.v.m. het lopen op twee benen
 - Latere aanpassingen aan de onderkant vanwege het baren van kinderen met grote hersenen
- De baby krijgt al bij zijn geboorte te maken met de gevolgen van evolutie!
- Het bekken illustreert:
 - Selectie in twee richtingen en de noodzaak voor een compromis
 - Mozaïek-evolutie: doordat niet alles in een keer verandert heeft elke soort zowel oorspronkelijke (primitieve) als moderne (afgeleide) kenmerken, door elkaar, soms zelfs in hetzelfde orgaan
 - Peramorfose: versnelde ontwikkeling van onderdelen (het tegengestelde van neotenie)

3. The urogenital system



- Excretory and sexual functions are anatomically linked together
- Very complicated and intertwined development
- Use of ancestral organs during embryonic development
- Descent of testicles into a scrotum



- Het menselijk urogenitaal systeem volgt grotendeels het bouwplan van de zoogdieren
- De afvoergangen van nieren en geslachtsorganen zijn deels gecombineerd; evolutie van deze twee organen is verknoopt
- Aanvankelijk worden zowel mannelijke als vrouwelijke afvoergangen aangelegd en de ontwikkeling kan nog beide kanten op
- Tijdens de embryonale ontwikkeling worden structuren van evolutionaire voorouders ingezet
 - Gebruik van de archinephridische ductus als afvoergang van de testis
 - Inzet van de mesonephros als embryonale nier
- De indaling van de testikels in een scrotum komt overeen met de chimpanzee, maar niet met de gorilla en veel andere zoogdieren

A plethora of hypotheses for testicular externalization

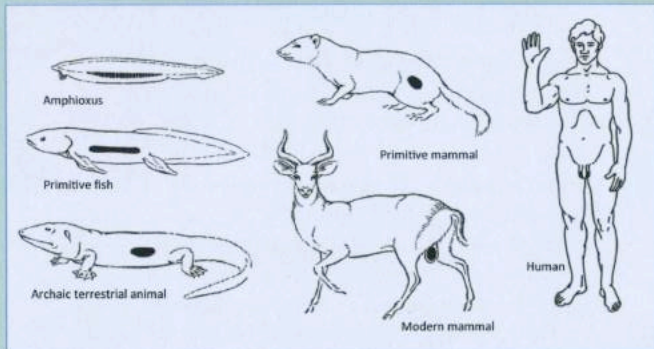
- Maturing sperm at lower temperature (1.9 °C) improves quality
- Man's "Selbstdarstellung" (A. Portmann)
- Galloping hypothesis: avoid pressure waves on the testes during running
- Testicles retained in the abdomen represents the ancestral condition of Placentalia
- Descent of testicles evolved in two of the three placental main lineages
- Ascrotal condition evolved many times independently (e.g. shrews, hedgehogs, tapirs, whales, hippopotamus, gorilla)



Kleisner, J. et al. (2010) *J. Biosci.* 35: 27-37

- Waarom worden de testikels bij zoveel dieren buiten het lichaam gedragen? Er zijn veel hypothesen over het "nut":
 - Spermacellen ontwikkelen beter bij een iets lagere temperatuur
 - Het zichtbaar dragen van de testikels is een uiting van mannelijkheid ("Selbstdarstellung")
 - Voorkomen van drukgolven op de testis tijdens het galopperen
- Niet-indaling in een scrotum (testikels in de buikholte) is de oorspronkelijke toestand bij de placentazoogdieren
- Twee van de drie hoofdlijnen hebben testikels in een scrotum
- Maar bij veel zoogdieren is die situatie weer teruggeëvolueerd (testikels in de buikholte), bijv. spitsmuizen, egels, tapirs, nijlpaarden, walvissen, gorilla

Testicular descent in a comparative zoological framework



- De lagere optimumtemperatuur voor het sperma is eerder een gevolg dan de oorzaak van de afdaling van de testis
- Seksuele selectie kon geen rol spelen totdat de testes werkelijk buiten het lichaam kwamen te liggen
- Als je de situatie van de mens vergelijkt met andere gewervelde dieren zie je dat er een doorlopende trend is: de testis wordt steeds meer een compact orgaan en komt steeds meer naar achteren (onderen) in het lichaam te liggen
- Het lijkt eerder een proces dat bepaald wordt door een noodzakelijkheid van de inwendige ontwikkeling dan een van buiten opgelegde noodzaak of voordeel

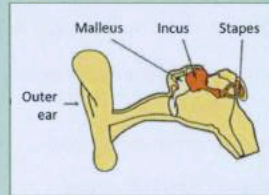
The evolutionary story of the descended testicles

- Selective value is unclear; adaptive explanations are doubtful (just-so stories)
- Maybe the loss of testicular descent rather than its presence needs explanation?
- A by-product of developmental processes?
- E.g. a consequence of increased polarity of the mammalian body-plan
- Illustrates by-product evolution and developmental constraint



- Het evolutionaire verhaal van de afgedaalde testikels
- De selectieve waarde is onduidelijk; er zijn veel adaptieve verklaringen maar deze zijn niet overtuigend (altijd-waar verhalen); de rol van natuurlijke of seksuele selectie is twijfelachtig
- Eigenlijk vraagt het achterblijven van de testikels in de buikholte meer om een verklaring dan de afdaling zelf
- Het steeds verder naar beneden verplaatsen van de testes vloeit voort uit de ontwikkeling (toename polariteit) zonder grote evolutionaire voor- of nadelen
- De afdaling van de testis illustreert:
 - Evolutie van bijproducten en neveneffecten
 - Beperkingen in de evolutie van het bouwplan opgelegd door het ontwikkelingsprogramma

4. The middle ear ossicles



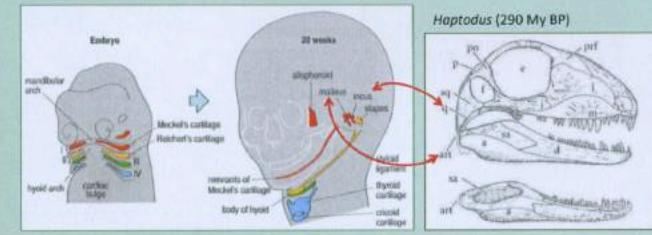
- Three bones that transmit tympanic vibrations to the inner ear
- The most crazy (of all human organs) evolutionary history



- We hebben drie gehoorbeentjes in ons oor
 - Malleus – hamer
 - Incus – aambeeld
 - Stapes – stijgbeugel
- Daarmee worden trillingen van het trommelvlies versterkt en doorgegeven aan het binnenoor
- De evolutie van de middenoorbeentjes is het meest krankzinnige voorbeeld van evolutionair geknutsel dat je je kunt voorstellen

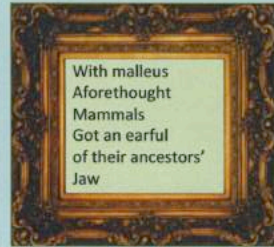
The curious rearrangements in the cervical region

- The reptile's jaw joint is transplaced to the middle ear
- The reptile's quadrate and articular became the mammalian incus and malleus
- The human embryo develops gill arches which are subsequently reshuffled to the middle ear, the hyoid and the thyroid



- Bij de zoogdierachtige reptielen zijn de beenderen van het kaakgewricht en de onderkaak van functie veranderd
- Bij reptielen:
 - Het articulare (gewrichtsbeen) in de onderkaak vormt het kaakgewricht met het quadratum (vierkantsbeen) in de schedel
- Bij zoogdieren:
 - Articulare en quadratum verhuisd naar het middenoor
 - Vormen malleus (hamer) en incus (aambeeld)
 - Zoogdieren hebben een nieuw kaakgewricht gevormd
- Deze verandering is zowel in de fossielen (Synapsida) als in de embryonale ontwikkeling navijlsbaar
- Het menselijk embryo legt kieuwbogen aan die vervolgens herschikt worden als onderdelen van de schedel, de middenoorbeentjes, de onderkaak, het tongbeen en het kraakbeen van de schildklier

An earful of jaw



Poem by John Burns
Favourite zoology teacher
of Stephen Jay Gould at
Harvard (1975)



Stephen J. Gould
(1941-2002)
Paleontologist
Evolutionary biologist
Science writer

Gould, S.J. (1990) An
earful of jaw *Natural
History* 3/90: 12-23



François Jacob
(1920-2013)
Biochemist
Molecular biologist

Jacob, F. (1977)
Evolution and tinkering
Science 196: 1161-1166

- "Een oor vol met kaak" is een gedicht van John Burns, voorgedragen bij zijn colleges zoölogie aan Harvard en gerecapituleerd door S.J. Gould in een essay uit 1990
Met voorbedachten rade*
Kregen de zoogdieren
Van hun voorouders
Een oor vol
Met kaak
- De evolutie van de middenoorbeentjes is een voorbeeld van de werking van evolutie als ketellapper
- François Jacob beschreef dit principe als "knutselen" (tinkering)

*Onvertaaltbare woordspeling. Burns schrijft "malleus", verwijzend naar het middenoorbeentje, maar dit klinkt als "malice". With malice aforethought = met voorbedachten rade

The evolutionary story of the ear-bones

- Old structures recruited for a new function in an evolutionary descendant (exaptation)
- Scope for novelty was created by developmental tinkering
- Selection acted to maintain the new capacities of mammals
 - The first mammals were nocturnal
 - Improved auditory acuity at a time when the earth was dominated by reptiles was a great advantage
- Illustrates cooptation and developmental tinkering



- Het evolutionaire verhaal van de middenoorbeentjes
 - De verplaatsing van het kaakgewricht zorgde voor een middenoor met betere auditieve functie
 - Een goed gehoor was erg nuttig voor de eerste zoogdieren (nachtdieren)
- Oude structuren (van een voorouder) krijgen een nieuwe functie in een evolutionaire nakomeling
- Gould stelde hiervoor de term "exaptatie" voor
- Het is niet hetzelfde als adaptatie omdat de structuur niet primair geëvolueerd (aangepast) is voor de huidige functie
- Knutselen in het ontwikkelingsprogramma biedt mogelijkheden voor innovaties in het bouwplan
- Illustreert coöptatie en knutselen

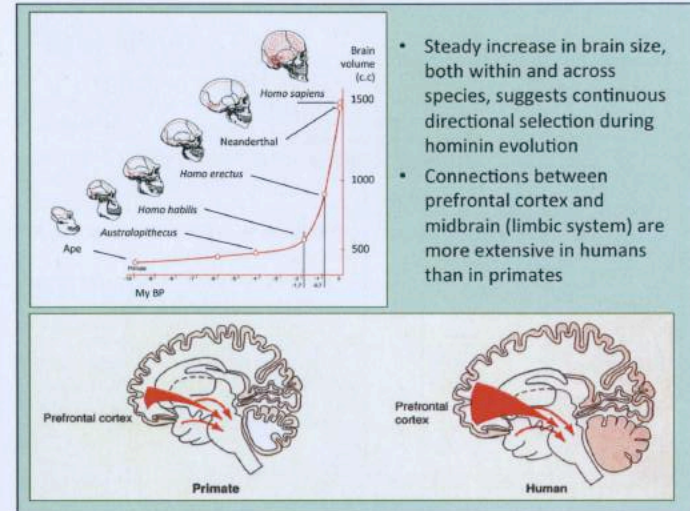
5. The brain



- The organ that made us human
- The most complex and least understood organ of the human body
- The most conspicuous human feature, save nudity

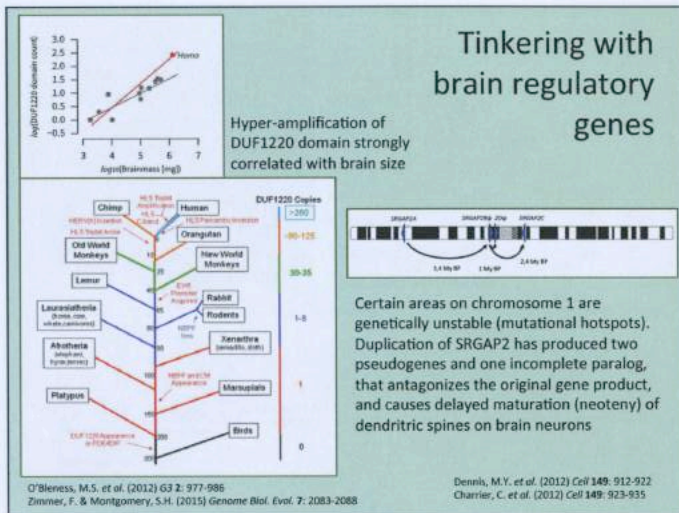


- Dat de mens zulke grote hersenen heeft is, na de naaktheid, het eerste dat opvalt bij een vergelijking met de mensapen
- De hersenen zijn het meest ingewikkelde orgaan van het menselijk lichaam, het orgaan dat ons mens maakt, tegelijkertijd ook het slechts begrepen orgaan
- Elk van de hersenkernen heeft zijn eigen evolutionaire historie; hier beperken we ons tot het hersenvolume



- Steady increase in brain size, both within and across species, suggests continuous directional selection during hominin evolution
- Connections between prefrontal cortex and midbrain (limbic system) are more extensive in humans than in primates

- De mensapen hebben al grote hersenen (ongeveer 2x zo groot als zoogdieren van hetzelfde lichaamsgewicht)
- Het hersenvolume is bij de homininen met ongeveer een factor 5 verder toegenomen
- Deze toename ging aanvankelijk langzaam (*Australopithecus*, 4 – 2 miljoen jaar geleden); pas bij *Homo erectus* (1,5 My BP) werd een versnelling ingezet
- Niet alleen het volume is toegenomen; ook de verbindingen tussen de prefrontale cortex (verantwoordelijk voor concentratie, nadenken en planning) en het limbisch systeem (verschillende kernen betrokken bij emotie, agressie en seksualiteit) is versterkt

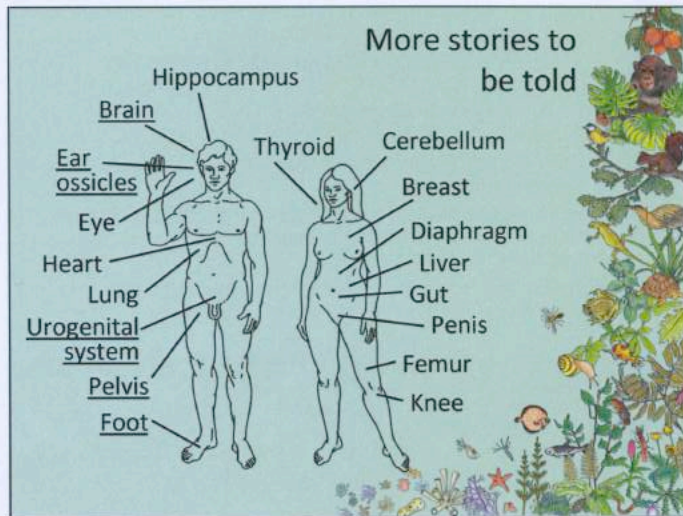


The evolutionary story of the brain

- Not only increase in size, but also
 - Increased connectedness
 - Entwining of ancestral and new structures
 - Extended maturation
- Brain expansion was driven by haphazard duplications in a mutational hotspot of chromosome 1, followed by strong directional selection
- Neotenic development increased brain plasticity and allowed an extended juvenile period of learning

- Het gen NBPF is onderworpen aan extreme domeinamplificatie (steeds voortgaande verdubbeling van het functionele onderdeel, DUF1220); de mens heeft meer dan 250 DUF1220 kopieën
- DUF1220 komt tot expressie in de hersenen maar de functie is onbekend
- Het aantal DUF1220 kopieën is gecorreleerd met de IQ-score
- Het gen SRGAP2 is 3x gedupliceerd, leidend tot twee pseudogenen en één incomplete kopie die afgelezen wordt
- Het peptide van deze kopie remt het oorspronkelijke genproduct
- Daardoor wordt de werking van SRGAP2 verminderd, wat een uitgestelde rijping van de zenuwcellen in de hersenen veroorzaakt (neotenie)

- Het evolutionaire verhaal van de hersenen
 - Niet alleen toename in volume maar ook:
 - Sterkere verbindingen, met name tussen de oude en de nieuwe delen van de hersenen
 - Uitgestelde rijping
- Evolutie van de hersenen werd mogelijk gemaakt door hoge mutatiefrequentie in een instabiel deel van chromosoom 1
- Neotene ontwikkeling veroorzaakte een toename van de plasticiteit van de hersenen en een lange periode van leren
- Dat onze menswording zo afhankelijk is geweest van genetische instabiliteit and "wilde" mutatieprocessen is moeilijk te bevatten



Elk orgaan vertelt zijn eigen evolutionaire verhaal

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| • Voet | • Schoudergordel |
| • Knie | • Hand |
| • Dijbeen | • Schildklier |
| • Bekken | • Tongbeen |
| • Penis | • Middenoorbeentjes |
| • Urogenitaal stelsel | • Labyrint en evenwichtsorgaan |
| • Darm | • Oog |
| • Blinde darm | • Neus |
| • Lever | • Hersenen |
| • Pancreas | • Hippocampus |
| • Middenrif | • Amygdala |
| • Long | • Thalamus |
| • Hart | • Gebieden van Broca en Wernicke |
| • Borst | • Cerebellum |
| • Borstkas | |

Evolutionary principles illustrated by the different organs of the human body

- Heterochrony (peramorphosis, neoteny)
- Mosaic evolution
- Unidirectional and bidirectional selection
- Developmental constraints and interdependencies
- Developmental and molecular tinkering
- Cooptation of ancestral structures to serve new functions
- Genetic instability to generate scope for novel gene functions



- Evolutionaire principes gedemonstreerd aan het menselijk lichaam
 - Heterochronie (vertraagde en versnelde ontwikkeling)
 - Gerichte selectie en selectie in twee richtingen
 - Beperkte verandermogelijkheden in de ontwikkeling en sterke onderlinge afhankelijkheid van ontwikkelingsprocessen
 - Voortbouwen op wat er al is, moleculair knutselen
 - Coöptatie van oude structuren voor nieuwe functies
 - Genetische instabiliteit als bron van vernieuwingen in het bouwplan

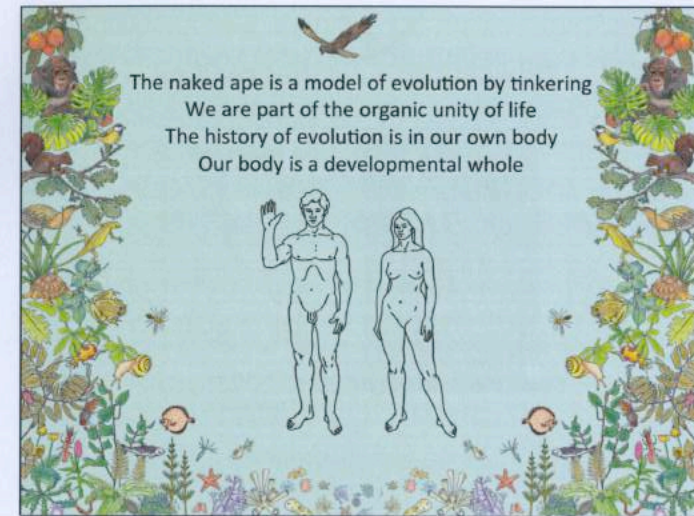
My naked ape story

- Molecular tinkering created scope for delayed maturation of the brain and continued growth
- This was greatly advantageous and under strong directional selection
- Delayed maturation of the brain was brought about by developmental deceleration (neoteny)
- This caused (as a by-product) a hairless body and many baby-like physical attributes
- Nudity was recruited as a trait signifying sexual attractiveness


- The brain led the way, nakedness followed

• Mijn oplossing voor de naakte aap


- Door moleculaire knutselen ontstond de mogelijkheid voor uitgestelde ontwikkeling (neotenie)
- Dit veroorzaakte een geweldige toename van de plasticiteit van de hersenen, een lange juveniele periode en veel mogelijkheden om te leren van ouders en omgeving
- Hierop werd sterk positief geselecteerd
- De neotenie veroorzaakte ook (als bijproduct) een afname van de lichaamsbehaarung en vele baby-achtige kenmerken
- Naaktheid werd vervolgens gebruikt als seksueel signaal
- Naaktheid was een gevolg van selectie op neotene hersenen



Publications – further reading



Chapter 3



Due 2021

<https://www.nicovanstraalen.nl>

Publicaties – verder lezen



Hoofdstuk 3



Verschijnt 2021 (?)

<https://www.nicovanstraalen.nl>