

Machtige mammalia

Over de evolutionaire opmars van de zoogdieren

Terwijl dinosauriërs de wereld domineerden, ontwikkelden de voorouders van alle zoogdieren zich onopvallend. Hoewel ze klein en nietig waren, kregen deze underdogs juist in het dinotijdperk de eigenschappen die hen nu tot de succesvolste diergroep maken.

Tekst: Marysa van den Berg

Alweer bijna een eeuw geleden presenteerde paleontoloog William Buckland tijdens een bijeenkomst van de Geological Society of London het eerste dinosaurusfossiel ooit: de kolossale megalosaurus ('grote hagedis'), toen nog geschat op 20 meter groot. Terwijl de 'oh's' en 'ah's' de zaal vulden, liet Buckland in datzelfde praatje ook nog een kaakfragment van een zoogdierachtige zien, dat was gevonden op dezelfde locatie. Zoals je wel kunt raden, overschaduwde de enorme dino de vondst van het zoogdierbotje compleet. Maar dat is inmiddels veranderd: hoewel we nog altijd gefascineerd zijn als de resten van een gigantische dinosauriër worden opgegraven, gaat de aandacht van wetenschappers nu steeds vaker ook uit naar de vroege zoogdieren. Aan de hand van recent gevonden fossielen zijn we steeds meer te weten gekomen over de evolutie én het succes van deze mammalia.

Protozoogdieren

Het verhaal begint zo'n 325 miljoen jaar geleden, als de voorlopers van de zoogdieren, de synapsiden, zich afsplitsen van de reptielen. Sommige synapsiden waren toproofdieren, terwijl andere, zoals de veel kleinere cynodonten, zich juist zo onopvallend mogelijk gedroegen en zich terugtrokken in de schaduwen van de bossen. Deze bescheiden groep overleefde de massa-extinctie aan het eind van het perm (252 miljoen jaar geleden) en werd de voorouder van de zoogdieren.

Over de cynodonten was lange tijd weinig bekend. Tot in 2018 Amerikaanse wetenschappers een fossiel van de cynodont *Kayentatherium wellsi* eens goed doorlichtten met de nieuwste scantechnieken. Wat dit fossiel zo bijzonder maakte? Het ging om een moeder met jongen, aan de hand waarvan de voortplanting van de protozoogdieren voor het eerst kon worden bestudeerd.

Die nakomelingen, zo'n 38 stuks, waren net uit hun ei gekropen of stonden op het punt dat te doen. Zo'n groot nest komt niet voor bij de huidige zoogdieren, wel bij reptielen. Bovendien leggen moderne zoogdieren uiteraard geen eieren. "Tegelijkertijd had de *kayentatherium* al wel heel wat andere kenmerken van zoogdieren", zegt paleontoloog Eva Hoffman van het American Museum of Natural History in New York. "Zo beschikten ze al over snij- en hoektanden, was er een begin van een gehemelte en zijn er aanwijzingen dat ze een middenrif hadden. Deze eigenschappen zie je niet bij reptielen." De soort leek dus een overgang te zijn tussen reptiel en zoogdier.

Uitzonderlijk goed

De *kayentatherium* leefde ten tijde van de jura: 201 tot 145 miljoen jaar geleden. Deze periode en die van het daaropvolgende krijt (145 tot 66 miljoen jaar terug) staat bekend als het tijdperk van de dinosauriërs. Maar tegelijkertijd verspreidden de cynodonten zich over supercontinent Laurazië. Fossielen gevonden in de afgelopen vijftien jaar in onder meer China bewijzen de enorme diversiteit die de cynodonten in die tijd al hadden. "Voorheen dachten we dat zoogdierachtigen pas na het uitsterven van de dinosauriërs echt tot bloei kwamen, maar inmiddels weten we dat ze het toen al uitzonderlijk goed deden", vertelt paleontoloog Wilma Wessels van de Universiteit Utrecht. De protozoogdieren hadden zich aangepast aan ontzettend veel verschillende leefgebieden. Zo had je bomenklimmers, gravende molachtigen, op de grond levende knaagdierpjes en zelfs van boom naar boom zwevende beestjes. Toen een meteoriet 66 miljoen jaar geleden een

abrupt einde maakte aan het dinosaurustijdperk, hadden de primitieve zoogdieren zich in de schaduwen ontwikkeld tot zeer succesvolle soorten. En daar zijn goede verklaringen voor.

Allereerst warmbloedigheid. Reptielen zijn koudbloedig: ze hebben warmte van buitenaf nodig om actief te kunnen zijn. Is de omgeving te koud, dan moeten ze – in tegenstelling tot zoogdieren – spaarzaam met hun energie omgaan. “Na de meteorietinslag daalde de wereldwijde temperatuur, wat veel reptielen dan ook de das omdeed. Warmbloedigen regelen hun temperatuur intern en hadden hier dus minder last van”, verklaart Wessels. “Bovendien is hun mate van activiteit niet afhankelijk van de omgevingstemperatuur.”

Van veel voorlopers van zoogdieren was bovendien bekend dat ze vooral actief waren in de dageraad, de periode van schemering direct voorafgaand aan zonsopkomst. Ook dit was een pluspunt voor ze; in de periode vlak na de inslag bereikte maar weinig zonlicht de aarde.

Eerste placentadieren

Een ander punt waarop zoogdieren goed scoren, is het feit dat zij hun jongen levend baren; met uitzondering van de eierleggende cloacadieren – zoals het vogelbekdier en de mierenegel – en de buideldieren. Om de baby alle voedingsstoffen te geven die hij nodig heeft om volledig ontwikkeld geboren te worden, was een ingewikkelde innovatie nodig: het bouwen van een placenta.

Dat begon al tijdens de jura. Zoals gezegd waren cynodonten als de kayentatherium nog eierleggers. “Om uitdroging van die eieren te voorkomen, gaf de huid van de broedende moeder vocht af”, zegt Wessels. “Uiteindelijk zijn die huidcellen in de buikholte steeds voedzamer vocht gaan maken en hebben ze de rol van het eiwit in eieren overgenomen. Tegelijkertijd is bij bepaalde groepen oerzoogdieren de geboorte steeds meer uitgesteld, doordat het jong in de buik blijft, dicht bij de primitieve placenta.” Die extra tijd in de baarmoeder – met een continue levering van voedingsstoffen – geeft placentadieren de mogelijkheid om specialisaties te ontwikkelen, zoals vleermuisvleugels, een walvisstaartvin of – in het geval van de mens – een intelligent brein. Een ei daarentegen kan maar een beperkte hoeveelheid eiwit en andere voedingsstoffen bevatten; voor een groot brein en andere ingewikkelde eigenschappen is echter meer nodig.

Hoewel zo'n ‘zachte’ placenta niet bewaard blijft, zijn er wel fossielen gevonden die wijzen op het ontstaan ervan. Een mooi voorbeeld is de juramaia. Deze spitsmuisachtige, bomenklimmende cynodont van slechts 15 gram leefde zo'n 160 miljoen jaar geleden. Hij was weliswaar nog niet helemaal een placentadier, maar wel hard op weg daar naartoe, ontdekten Chinese onderzoekers in 2011. “Een vernauwing van het bekken suggereert dat dit diertje levensvatbare jongen baarde, maar die waren nog niet volledig ontwikkeld”, legt Hoffman uit. Op basis hiervan én op grond van de kiezen en kleine kenmerken op de poten, plaatsen paleontologen het muisje onder een van de allereerste placentadieren.

Zuigen en slikken

Een ander kenmerk van zoogdieren: ze hebben melkklieren om hun jongen te zogen. De oorsprong van lactatie kan worden gezocht bij de al eerdergenoemde eierleggende cloacadieren. Die hebben geen tepels, maar een gebied op de borst waar melkkanaaltjes samenkomen en een melkachtige substantie uitscheiden op de haren. De eerste tepels met melkkanaaltjes zouden al tijdens de jura zijn ontstaan. Een aanwijzing hiervoor is het in 2019 beschreven fossiel van een *Microdocodon gracilis* mét baby's. “De jongen van deze extreem kleine muis hadden al een speciaal botje in hun keel voor zuigen en slikken, het tongbeen”, zegt Hoffman. Het tongbeen van moderne zoogdieren lijkt op een hoefijzer; het bestaat uit een middenstuk en twee ‘hoorns’. Door de evolutie van flexibele tussenstukjes kunnen die hoorns heen en weer bewegen. Zo kunnen ze de tongspieren makkelijk samentrekken en daarmee het zuigen en slikken mogelijk maken.

Als de jongen groter worden, gaan ze over op een volwassen dieet, dat bijvoorbeeld bestaat uit zaden, noten, insecten of zelfs babydino's. Daar is een ander gebit voor nodig. Ook dit ontstond in dezelfde tijd als de placenta en de melkklieren. “Reptielen hebben een gebit dat continu wisselt tijdens de groei”, vertelt Wessels. “Zoogdieren wisselen maar één keer in hun leven. En er ontstonden speciale kiezen om mee te malen.” Veel cynodonten, zoals de juramaia en *microdocodon*, hadden deze aanpassingen al. Die kwamen goed van pas bij het vermalen van taai gras, dat na het verdwijnen van de dinosauriërs opkwam. Bovendien maakt het vermalen en in kleinere stukjes snijden van voedsel dat er meer calorieën vrijkomen en die zijn dan weer handig voor een actievere levensstijl en uiteindelijk een relatief groot brein.

Stukjes kaak worden oren

Nog een belangrijke aanpassing die de zoogdieren zo succesvol maakte, is de ontwikkeling van een superscherp gehoor. Twee Britse onderzoeksgroepen gebruikten in 2018 en 2019 computermodellen en laboratoriumvergelijkingen om de verschillen in kaak en oren te bestuderen tussen protozoogdieren en moderne zoogdieren. Van cynodonten was bekend dat ze ten tijde van de dinosauriërs flink kleiner werden. Daarbij werd het tandbeen van de onderkaak de belangrijke aanhechtingsplaats voor de kaakspieren. De andere kaakbotten waren niet meer nodig, werden kleiner en verdwenen uit ruimtegebrek naar achteren. “Deze beentjes waren al in staat om trillingen op te vangen in de bek, maar werden nu daadwerkelijk onderdeel van de oren en konden zo deze vibraties omzetten naar geluid”, zegt Hoffman. De kaakbotjes werden de middenoorbeentjes die nu bekend staan als hamer, aambeeld en stijgbeugel. Er is inmiddels ook voldoende fossiel bewijs om deze hypothese te ondersteunen.

Doordat de kaakbotjes zich naar achteren begaven, was er gelijk meer plek voor de schedel om te groeien naar de zijkant en voorkant. En dat maakte de weg vrij voor de ontwikkeling van grotere hersenen. “Dat kwam goed uit, want een superscherp gehoor én reukzintuig hebben die extra breinkracht wel nodig”, stelt Hoffman.

Mysterie

Na het uitsterven van de dinosauriërs vonden de zoogdieren compleet nieuwe leefgebieden. Ze specialiseerden zich en werden groter. Terwijl de grootste zoogdieren vlak na de meteorietinslag het formaat hadden van een rat, groeiden ze binnen 100.000 jaar naar gemiddeld 6 kilogram en na 300.000 jaar zelfs naar 25 kilogram. Naast omnivoren (alleseters) evolueerden toen ook de eerste pure herbivoren (planteneters). Rond 56 miljoen jaar geleden ontstond vervolgens de zoogdier-orde waar de mens toe behoort: de primaten.

De laatste paar jaar zijn we dus veel over protozoogdieren te weten gekomen. Toch zijn er nog genoeg uitdagingen binnen dit vakgebied, vindt zowel Hoffman als Wessels. Zo weten we nog niet precies hoe de stamboom eruitzag van de voorlopers van sommige zoogdieren. Behoorden bijvoorbeeld de beverachtige haramiyiden net als de cynodonten tot de primitieve zoogdieren of waren ze slechts een zijtak? Waar precies splitsten de buideldieren en placentadieren zich af van hun gemeenschappelijke voorouder? Voor deze en andere mysteries kunnen hopelijk in de toekomst verklaringen worden gevonden aan de hand van gevonden fossielen die nog moeten worden bestudeerd.

Ook zijn er chemische analysetechnieken in opkomst waarmee het wel degelijk mogelijk is om meer informatie te vergaren over het ontstaan van de zachte delen van zoogdieren, zoals de placenta en melkklieren. “En digitale methoden om na te gaan hoe primitieve zoogdieren hun jong in de baarmoeder droegen en ter wereld brachten”, zegt Wessels. Hoffman gaat zich uitgebreider richten op het kayentatherium-fossiel: “Er is nog zoveel te ontdekken. Zoals de ontwikkeling van de schedels van de jongen, en waar deze soort zich op de zoogdierstamboom precies bevindt.”

Zo heeft elk fossiel het potentieel om een geheel nieuw hoofdstuk toe te voegen aan het evolutieverhaal. Voor zoogdieren is dit verhaal sinds kort alleen maar intrigerender geworden. Ze blijken niet langer de underdog in de schaduw van de dinosauriërs te zijn, maar de hoofdrolspelers in een groots succesverhaal.

Marysa van den Berg heeft biofarmaceutische wetenschappen gestudeerd en is wetenschapsjournalist. Voor dit artikel raadpleegde zij onder meer de volgende literatuur: Eva Hoffman e.a.: *Jurassic stem-mammal perinates and the origin of mammalian reproduction and growth*, Nature (29 augustus 2018) | Stephan Lautenschlager e.a.: *The role of miniaturization in the evolution of the mammalian jaw and middle ear*, Nature Letters (17 september 2018).

Ga voor links met meer informatie naar: www.kijkmagazine.nl/artikel/zoogdierevolutie

Tijdlijn zoogdier-evolutie

360-300 miljoen jaar geleden: carboon

De voorlopers van de protozoogdieren, de synapsiden, splitsen zich af van de reptielen, de diapsiden.

300-252 miljoen jaar geleden: perm

De synapsiden ontwikkelen zich tot therapsiden, waarbij de ledematen onder het lichaam zitten, in plaats van uit te steken naar de zijkant en voorkant.

252 miljoen jaar geleden: perm-trias-massaextinctie

Tijdens deze grote uitsterving van soorten verdwijnen veel synapsiden, maar de beter aangepaste soorten overleven: de cynodonten.

252-200 miljoen jaar geleden: trias

De eerste voorouders van de placentadieren, buideldieren en eierleggende zoogdieren verschijnen en vinden elk een eigen leefgebied.

200-145 miljoen jaar geleden: jura

Protozoogdieren krijgen gespecialiseerde snijtanden en kiezen, de kaakbeentjes worden deel van het middenoor en het zogen evolueert.

145-100 miljoen jaar geleden: begin krijt

Diverse groepen oerzoogdieren leven zij aan zij (maar in de schaduw) van dinosauriërs in Laurazië, een groot noordelijk continent.

100-66 miljoen jaar geleden: einde krijt

Veel bloemgevende planten komen op en brengen nieuwe voedselbronnen voor zoogdieren, waardoor nog meer soorten ontstaan.

66 miljoen jaar geleden: krijt-paleoceen-massaextinctie

Een grote meteoriet wordt de dinosauriërs noodlottig. De placenta- en buideldieren behoren – naast de vogels – tot het geringe aantal overlevende diersoorten.

66-56 miljoen jaar geleden: paleoceen

De placentadieren worden steeds groter, ontwikkelen nieuwe eetgewoontes en migreren over heel de wereld.

56 miljoen jaar geleden: paleoceen-eoceen thermaal maximum

Een plotseling wereldwijde opwarming zorgt voor nieuwe zoogdiergroepen, zoals de voorouders van walvissen en olifanten en onze eigen orde: de primaten.

56-34 miljoen jaar geleden: eoceen

Een van de eerste primaten, de eosimias, leeft in bossen rond de evenaar, wanneer de aarde afkoelt in deze periode.

34 miljoen geleden tot nu

Er komen meer soorten hoefdieren, zoals neushoorns en herten. Primaten worden groter en slimmer. Uiteindelijk komt daar het geslacht homo uit voort, de mensachtigen.

KADER 1:

SPECS

De kenmerken van een (placenta-)zoogdier en hoe ze ontstonden:

Hooguit enkele baby's per keer: investeren in goede ontwikkeling.

Placenta: van oorsprong vochtproducerende cellen voor eieren.

Melkkliertjes: waren eerst talgkliertjes.

Tongbeen en gehemelte: om melk te kunnen drinken bij de moeder.

Scherp gehoor: kaakbotjes zijn naar het middenoor gereisd.

Snijtanden en kiezen: maken een heel divers of juist gespecialiseerd dieet mogelijk.

Relatief groot stel hersenen: nodig voor een actieve leefstijl.

Warmbloedigheid: nodig om de hersenen en zintuigen te ondersteunen.

KADER 2: Quote

“We zijn allemaal dieren. We worden geboren als elk ander zoogdier en leven onze levens met vermomde dierengedachten.”

Barbara Kingsolver – Amerikaans schrijver en dichter.