

1.1 Waarom spechten geen hersenschudding krijgen

Prof. dr. S. (Sam) Van Wassenbergh

Laboratorium Functionele Morfologie,
Departement Biologie, Universiteit Antwerpen
www.uantwerpen.be/sam-vanwassenbergh

- Lezing gehouden voor de Koninklijke Maatschappij voor Natuurkunde 'Diligentia' te 's-Gravenhage op 23 september 2024.
- Een video-opname van de lezing is te zien op www.natuurwetenschappen-diligentia.nl.
- Deze eerste lezing van het seizoen, onze KENNISMAKINGSLEZING, was vrij toegankelijk, zowel in de zaal als thuis via een interactieve livestream.

Samenvatting van de lezing

Hoe komt het dat spechten geen hersenschade krijgen van hun gehamer? Voor ons mensen zou een frontale botsing met een boomstam bij een snelheid van 20 km/u minstens een zware hersenschudding tot gevolg hebben.

Het idee dat spechten hun hersenen zouden beschermen door schokdemping in hun schedel, via spongieus botweefsel tussen de bek en de hersenholte, is wijdverspreid maar controversieel, want schokdemping zou het hameren minder efficiënt maken. Onderzoek op basis van hogesnelheidsvideo's bij drie spechtensoorten toont aan dat de schok op de hersenpan niet gedempt is ten opzichte van de schok die de bek ondervindt, wat wijst op een stijve, hamerachtige werking in plaats van schokdemping.

Ondanks de hoge schokwaarden die gemeten werden voor de spechten, blijven de geschatte drukpieken in de hersenen op een veilige marge van de drukken waarbij er gevaar dreigt op hersenschuddingen. Dit komt doordat hun hersenen minder groot zijn dan die van de mens.

Voor ons mensen is het moeilijk voor te stellen hoe een dier een levenswijze kan ontwikkelen waarin het uitvoeren van kopstoten tegen boomstammen een centrale rol speelt. Hoewel het bewerken van boomstammen door dieren wel meer voorkomt, bijvoorbeeld bij bevers, tart het alle verbeelding dat een delicaat orgaan als het hoofd gebruikt wordt als slagwerktuig. Dit gedrag typeert bovenal één groep van vogels: de soorten behorend tot de familie Picidae, de spechten. Doorgaans wordt naar de stotende actie van hun bek in hout gerefereerd als pikken of hameren.

Spechten hameren om drie redenen. (1) Om voedsel te zoeken. Hierbij hakken ze met hun snabels stukken boomschors af om insecten en andere ongewervelde dieren bloot te leggen, die ze vervolgens met hun lange tong oplikken. (2) Om nestholtes uit te hakken. Het uithakken van een nieuw nest duurt meerdere weken. Het is dan ook geen verrassing dat spechten bomen met zachter hout verkiezen om energie te besparen [1]. (3) Om met trommelgeluiden hun territorium bekend te maken aan soortgenoten.

De bek raakt de boom, afhankelijk van de spechtensoort, tussen de 7 en 38 keer per seconde [2]. Hoe spechten zulke hoge slagfrequenties kunnen halen tijdens het trommelen, is nog niet bekend. Mogelijk gaat het om een dubbele kaats: de kop die achterwaarts kaatst nadat de bek de boom heeft geraakt, en daarna terug voorwaarts kaatst door terugverende elastische structuren zoals pezen en spieren van de nek.

De snelheid waarmee de kop de boom raakt tijdens hameren wanneer spechten op zoek zijn naar voedsel, ligt rond de 20 km/u. Dit werd reeds in 1979 gemeten door Philip May en collega's met hogesnelheidsfilms van drie pikbewegingen bij de eikelspecht (*Melanerpes formicivorus*) [3]. De vergelijking kan gemaakt worden met een doorsnee stadsfietser die zonder te remmen met het voorhoofd een boom

raakt. De mens zou bij deze snelheid zo goed als zeker hersenschade oplopen. Enkel een sterk schokdempende helm, of beter nog een airbag, kan dan redding bieden. Dit leidt al gauw tot interesse voor spechten vanuit de medische wetenschappen in de zoektocht naar manieren om hersenschuddingen bij mensen te voorkomen [4]. Hoe slagen spechten erin om zonder problemen om te gaan met de impact van hun kop en de bijbehorende schok die de hersenen ervaren?

Schokdemping

Een voor de hand liggende gedachte is dat spechten erin slagen om de schok die de hersenen bereikt te reduceren ten opzichte van de schok aan het contactoppervlak, de tip van de bek, in analogie met fiets-helmen of airbags. Hebben spechten dus misschien een schokdemper ingebouwd in hun kopskelet? Anatomisch onderzoek wees op een zone van sponsgeus (sponsachtig) botweefsel op de plaats waar de achterkant van de bovenbek in verbinding staat met het voorhoofdsbot (figuur 1). In tegenstelling tot compact botweefsel bestaat sponsgeus bot uit fijne botstaafjes met lucht ertussen. In theorie zou dit sponsgeuze voorhoofdsbot als een zone kunnen functioneren die de energie van de klap dempt of tijdelijk elastisch opslaat wanneer het samengedrukt wordt.



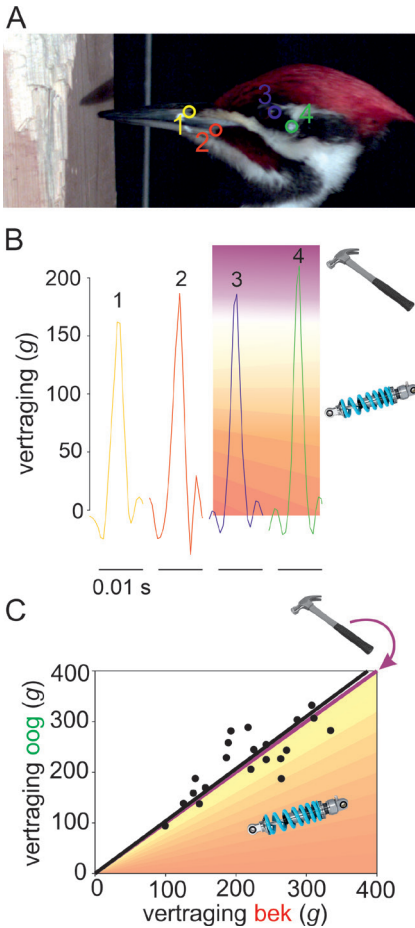
Figuur 1: Zwarte specht met een CT-scanreconstructie van de rechter schedelhelft. Het sponsgeus bot op de grens tussen de bek en de schedel is in de cirkel weergegeven. Deze structuur werd verondersteld als schokdemper te dienen.

De hypothese van een schokabsorberende zone tussen bek en hersenen leek dermate aannemelijk dat het in tal van bronnen als feit werd voorgesteld. Dit was het geval in vele populairwetenschappelijke artikelen, internetblogs, informatiepanelen in dierenparken, educatieve televisieprogramma's zoals *Het Klokhuis* (van NTR schooltv), en zelfs in de blockbusterfilm *Concussion* uit Hollywood in 2015. Ingenieurs gingen aan de slag met dit idee, en ontwikkelden helmen en schokdempende materialen geïnspireerd op het craniale skelet van spechten [5]. Dit is verwonderlijk, want bewijs voor de hypothetische functie van het kopskelet als schokdemper bij spechten, werd nooit geleverd.

Er zijn verschillende redenen om sceptisch te zijn ten aanzien van de schokabsorptiehypothese. Ten eerste is het voorkomen van sponsgeus botweefsel op die specifieke plaats niet ongevoelbaar voor vogels. Een kip, bijvoorbeeld, heeft er een vergelijkbare botstructuur [6]. Ten tweede vroeg een van de pioniers op het gebied van spechtenbiomechanica, Philip May, zich reeds in 1976 af of schokabsorptie een valabele optie zou kunnen zijn voor spechten om hun hersenen te beschermen. Letterlijk vertaald schreef hij: "Als de bek veel van zijn eigen impact zou absorberen, zou de onfortuinlijke vogel nog harder moeten hameren" [4]. Met andere woorden: een hamer met een ingebouwde schokdemper is een slechte hamer. Vanuit mechanisch oogpunt zou het inderdaad ongunstig zijn om eerst de moeite te doen om voldoende kinetische energie op te bouwen om een sterke klap aan de boom te kunnen uitdelen, om dan een deel van diezelfde kinetische energie weer te verliezen aan zijn eigen ingebouwde schokdempers. Vanuit biologisch oogpunt zou het verrassend zijn dat een structuur zich zou ontwikkelen door natuurlijke selectie als die het uitvoeren van een essentiële functie voor een specht, het hameren, bemoeilijkt. Een grondige test van de schokabsorptiehypothese drong zich op.

Van 2016 tot 2019 verzamelden mijn collega's en ik voldoende gegevens om deze beruchte hypothese te testen. We bezochten vier dierenparken in Europa die spechten in kooien of voliëres hielden. Omdat de

1.1 Waarom spechten geen hersenschudding krijgen



Figuur 2: Analyse van de vertragingspieken op de bek en ter hoogte van de hersenpan op basis van hogesnelheidsvideo's. **A:** Merkpunten die getraceerd werden: (1) een punt in het midden van de bovenbek (geel), (2) een punt meer achteraan de bovenbek (rood), (3) een punt aan de rand van het oog (paars), (4) een punt op de huid die de hersenpan bedekt (groen). **B:** Een typerend voorbeeld van vertragingspieken op de posities met overeenkomstige kleur- en nummercode als in **A** voor één impactfase: schokpieken (uitgedrukt in aantal keren de valversnelling $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$) zijn niet lager nabij de hersenen dan op de bek. Dit mechanisch gedrag komt overeen met dat van een rigide hamer (paarse zone) en niet met het gedrag een schokdemper (geel-rode zone). In **C** worden voor één individu de gegevens van 21 impactfases getoond (zwarte meetpunten). De trendlijn in zwart ligt dicht tegen de paarse, theoretische lijn van een star object zoals een hamer. Meer details en gegevens zijn te vinden in [7].

impactfase tijdens het hameren slechts enkele duizendsten van een seconde duurt, en er minstens tien beelden nodig zijn om de schok te kunnen meten in dit korte tijdsinterval, is hogesnelheidsvideografie onontbeerlijk. We slaagden erin om twee zwarte spechten (*Dryocopus martius*) en twee grote bonte spechten (*Dendrocopos major*) met beeldsnelheden tussen de 3000 en 4000 beelden per seconde te filmen. Collega's uit Canada hadden een soortgelijk onderzoeksplan, en verzamelden video's van twee hamerende Noord-Amerikaanse helmspechten (*Dryocopus pileatus*). Op de videobeelden werden merkpunten getraceerd en werd de piekvertraging (de 'schok') bij de botsing berekend, net als bij crashtests met auto's (figuur 2A). Getraceerd werden twee punten op de bek, een punt op het oog, en voor de helmspechten ook nog een kleine witte stip op de huid die de hersenpan bedekt (figuur 2A). Voor die laatste twee punten kunnen we ervan uitgaan dat ze de beweging van de voorkant van de hersenpan volgen. Vertragingsprofielen werden vergeleken tussen de getraceerde punten op de bek en de hersenpan voor meer dan honderd impactfases. Voorbeelden van deze video's zijn terug te zien in de video-opname van deze lezing en kunnen bekeken worden via cell.com/cms/10.1016/j.cub.2022.05.052/attachment/95a6b3ae-4049-4d5b-88dd-8a7c346cde6d/mmc2.mp4.

Onze resultaten toonden consequent dat er geen demping van de schok optrad tussen de bek en de hersenpan (figuur 2B,C). Er is geen sprake van bijvoorbeeld compressie van het spongieuze botweefsel [7]. De kop van de specht functioneert dus bij benadering als een stijve hamer tijdens het pikken en niet als een schokdemper. Biomechanische modelberekeningen toonden verder aan dat schokabsorptie in de schedel zou hebben geleid tot een vermindering van de houtpenetratiediepte door de bek bij een gegeven impactsnelheid van de kop. Hoewel een dergelijke ingebouwde demper dan de schok van de hersenen enigszins zou verminderen, zou het toch een verspilling van energie zijn: hetzelfde hout-hakresultaat met net zo sterk verminderde schok van de hersenen kan veel eenvoudiger worden bereikt als de vogel de boom met iets lagere snelheid zou

raken. Los van de vraag of bescherming van de hersenen noodzakelijk is en hoe dat dan gerealiseerd wordt bij spechten, kunnen we op grond van deze gegevens [7] concluderen dat de waargenomen minimalisering van de schedelschokdemping een logisch resultaat is van aanpassing door natuurlijke selectie bij vogels die een levenswijze hebben ontwikkeld waarbij efficiënt hameren in hout centraal staat.

Hersenenlengte

Maar hoe beschermen spechten dan hun hersenen tegen letsels als er geen schokabsorptie in de schedel is? Uit onze gegevens blijkt dat de hersenen van spechten worden blootgesteld aan vertragingen tot 440 g, met $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$, de versnelling van de zwaartekracht. Dit ligt ver boven de waarde van 135 g, de geschatte drempelwaarde voor hersenschuddingen bij mensen op basis van metingen bij andere primatensoorten [8]. Waarom beschadigen spechten hun hersenen dan niet? Het antwoord ligt in het verschil in grootte tussen de hersenen van spechten en die van mensen. Een studie van Lorna Gibson uit 2006 wees hierop [9]. Om de gemeten vertragingen te vertalen naar krachten op de hersenen moeten we rekening houden met de tweede bewegingswet van Newton (die stelt dat kracht gelijk is aan massa maal versnelling) en dus rekening houden met het feit dat de hersenmassa bij spechten aanzienlijk kleiner is. Als we de kracht normaliseren tot kracht per oppervlakte (= druk) en dezelfde bewerking uitvoeren op de rechterkant van Newton's vergelijking, wordt duidelijk dat de druk in de hersenen evenredig is met de optredende versnelling (vertraging), de massadichtheid van het hersenweefsel, en de hersenenlengte (= hersenvolume gedeeld door oppervlakte). De relevante hersenenlengte is hier de lengte van de hersenen in de richting van de hamerbeweging. Een relatieve maat voor druk op de hersenen kan daarom berekend worden als vertraging vermenigvuldigd met hersenenlengte. Met ruwweg 7 keer kortere hersenen dan die van de mens, geeft dit een andere kijk op hoe 'gevaarlijk' het hameren van spechten is voor hun hersenen: terwijl bij mensen de drempelwaarde voor hersenschuddingen 2025 g cm bedraagt (135 g $\times$ 15 cm), bedraagt

zelfs voor de krachtigste schok die is gemeten bij de spechten in onze studie, deze waarde amper rond de 880 g cm (440 g $\times$ 2 cm) (figuur 3). De vogels hebben dus nog een behoorlijke veiligheidsmarge.

De reden waarom spechten geen hersenschudding krijgen kan dus op twee manieren voorgesteld worden. We kunnen stellen dat spechten niet hard genoeg hameren om een gevaarlijke druk in de hersenen te creëren, of dat de hersenen van spechten kort genoeg zijn om geen hinder te ondervinden van de impact in hout met een scherpe bek bij snelheden rond de 20 km/u. Dit kan verklaren waarom er geen reuzenspechten bestaan die veel diepere gaten kunnen boren en daardoor sneller nesten kunnen uitkappen dan de soorten die we nu kennen. Met andere woorden, de evolutie hanteert waarschijnlijk sterke limieten op de factoren die de kans op hersentrauma vergroten. Dit kan zowel de grootte van het hoofd als de maximale kopsnelheid zijn, eventueel ook in combinatie met de hardheid of de stijfheid van de geselecteerde plek die de bek raakt op de boom.



Figuur 3: Vergelijking tussen (A) de drempelwaarde voor hersenschudding bij de mens en (B) de gemeten maximumwaarde uit studie [7] (zie ook figuur 2). Hoewel de piekvertraging hoger is bij spechten (440 g vs 135 g), zal de druk als gevolg hiervan ook proportioneel zijn met de lengte van de hersenen in de slagrichting. De gecombineerde maat voor 'drukbelasting' blijft bij spechten (880 g cm) veilig onder de menselijke drempelwaarde voor hersentrauma's (2025 g cm).

1.1 Waarom spechten geen hersenschudding krijgen

Schokdemping bij spechten is een goed voorbeeld van hoe hypothesen zich kunnen verspreiden tot algemene overtuigingen, zelfs zonder ondersteunend wetenschappelijk bewijs. De combinatie van een spectaculair gedrag dat veel aandacht krijgt door onnauwkeurige berichtgeving in de populaire media, en ons menselijk perspectief dat te gefocuseerd is op aanpassingen ter bescherming van de hersenen bij accidentele botsingen met het hoofd, kan misleidend zijn [10]. Deze factoren hebben waarschijnlijk geleid tot het mythologiseren van een manier waarop spechten hersenschuddingen vermijden. We hopen dat ons biomechanisch bewijs [7], en daaropvolgende publicaties in verschillende nieuwskanalen, dit geloof zal veranderen. Verder blijft er nog heel wat te ontdekken over de anatomische en biomechanische aanpassingen aan de merkwaardige levenswijze van deze fascinerende vogels.

Dankwoord

Dit onderzoek kwam tot stand in samenwerking met biomechanici Erica Ortlieb, Maja Mielke, Christine Böhmer, Robert Shadwick en Anick Abourachid. Financiële steun werd ontvangen van het Agence Nationale De La Recherche en de Universiteit Antwerpen.

Referenties

1. Purevel C., Abourachid A., Böhmer C., Leban J.-M., Svoboda M., Paillet Y., **2019**, *This is my spot: what are the characteristics of the trees excavated by the black woodpecker?* A case study in two managed French forests, *For. Ecol. Manag.* 453:117621, doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117621.
2. Schuppe E.R., Rutter A.R., Roberts T.J., Fuxjager M.J., **2021**, *Evolutionary and biomechanical basis of drumming behavior in woodpeckers*, *Front. Ecol. Evol.* 9:649146, doi.org/10.3389/fevo.E2021.649146
3. May P.R.A., Fuster J.M., Haber J., Hirschman A., **1979**, *Woodpecker drilling behavior. An endorsement of the rotational theory of impact brain injury*, *Arch. Neurol.* 36:370-373.
4. May P.R.A., Fuster J.M., Newman P., Hirschman A., **1976**, *Woodpeckers and head injury*. *Lancet* 307:454-455.
5. Yoon S.-H., Roh J.-E., Kim K.L., **2009**, *Woodpecker-inspired shock isolation by microgranular bed*. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 42:035501, doi.org/10.1088/0022-3727/42/3/035501.
6. Jung J.-Y., et al., **2018**, *A comparative analysis of the avian skull: woodpeckers and chickens*, *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 84:273-280, doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.05.001.
7. Van Wassenbergh S., Ortlieb E.J., Mielke M., Böhmer C., Shadwick R.E., Abourachid A., **2022**, *Woodpeckers minimize cranial absorption of shocks*, *Curr. Biol.* 32:3189-3194, doi.org/10.1016/j.cub.2022.05.052.
8. Ono K., Kikuchi A., Nakamura M., Kobayashi H., Nakamura N., **1980**, *Human head tolerance to sagittal impact reliable estimation deduced from experimental head injury using subhuman primates and human cadaver skulls*, *SAE Technical Paper* 801303.
9. Gibson L.J., **2006**, *Woodpecker pecking: how woodpeckers avoid brain injury*, *J. Zool.* 270:462-465, doi.org/10.1111/j.1469-7998.2006.00166.x.
10. Smoliga J.M., **2024**, *From beaks to brains – challenges in translating woodpecker biology into traumatic brain injury innovation*, *Anat. Rec.* 1-11, doi.org/10.1002/ar.25567.

— — —

Van deze lezing is een video-opname beschikbaar:



De QR-code brengt u direct naar het lezingenarchief op de Diligentia website. Druk op het blauwe woordje "video" om de weergave te starten. Geen QR-scanner? Ga naar de website, menukeuze lezingenarchief en vul "Wassenbergh" in op de zoekbalk.