

Antropogeen trauma bij zeezoogdieren en de beperkingen van het onderzoek

Anthropogenic trauma in marine mammals and research problems

I. Perdang, A. Decostere, K. Chiers, L. Van Brantegem

Vakgroep Pathobiologie, Farmacologie en Bijzondere Dieren, Faculteit Diergeneeskunde,
UGent, Salisburylaan 133, B-9820 Merelbeke

iperdang@gmail.com

SAMENVATTING

Antropogeen trauma omvat elk middel dat of elke methode die schade toebrengt aan een zeezoogdier door een mens of als gevolg van menselijk handelen. De literatuur over antropogeen trauma bij zeezoogdieren is divers en uitgebreid. Autopsie is het belangrijkste middel om de doodsoorzaak te achterhalen. Belangrijke oorzaken van antropogeen trauma zijn akoestische pollutie, aanvaring en verstrikking. Het bewijzen van antropogeen trauma is dikwijls afhankelijk van de toestand van het karkas. De resultaten van het onderzoek leiden dikwijls tot advies met betrekking tot het nemen van maatregelen, onder meer om uitsterven van populaties of soorten tegen te gaan, maar verder onderzoek naar alternatief vissersmateriaal en het ontwikkelen van bijkomende maatregelen zijn noodzakelijk.

ABSTRACT

Anthropogenic trauma includes all means or methods that cause harm to marine mammals directly or indirectly by human action. The literature on anthropogenic trauma in marine mammals is diverse and extensive. Necropsy is the most informative method to determine the cause of death. Major causes of anthropogenic trauma include acoustic pollution, collision and entanglement. Evidence of anthropogenic trauma often depends on the condition of the carcass. There are several measures available to avoid extinction of marine mammal populations but further research on alternative fishing gear and additional measures are necessary.

INTRODUCTIE

Zeezoogdieren, de orde van de *Pinnipedia*, *Cetacea*, *Sirenia*, de ijsberen en zeeotters, kwamen voor het eerst in contact met mensen bij een toename van de bevolking en het daaropvolgende steeds verder betreden van mariene gebieden door de mens. Ijsberen en zeeotters maken deel uit van de zeezoogdieren, maar worden niet in acht genomen in dit artikel; er wordt vooral gefocust op de problematiek bij walvisachtigen.

Door de groeiende menselijke bevolking die zich steeds verder op zee begaf, nam het contact tussen de mens en zeezoogdieren toe. Relatief trage baleinwalvissen die tijdens trektochten dicht bij land passeerden, werden meer dan duizend jaar geleden reeds bejaagd door walvisvaarders. Door technische evoluties kende

de jacht een snelle uitbreiding naar andere gebieden en soorten, zoals de gewone vinvis of de Noordse vinvis. Veel populaties werden daardoor gedecimeerd en zijn tot op vandaag, na meer dan een halve eeuw strikte bescherming, nog steeds niet hersteld. De populaties van andere soorten zoals de bultrug bleven echter tot nu toe behouden en maken het voorwerp uit van een steeds groeiend *whale watching* – walvistoerisme. Niettegenstaande wordt nog steeds op walvisachtigen gejaagd. Bovendien willen enkele landen de walvisjacht hernemen of opstarten, wat antropogeen trauma in de hand werkt. Antropogeen trauma beperkt zich echter niet tot directe vangsten.

Antropogeen trauma betreft elke schade die wordt vastgesteld bij een zeezoogdier als gevolg van menselijk handelen. De gemakkelijkste manier om antropogeen trauma te detecteren, is het uitvoeren van post-

mortaal onderzoek van aangespoelde dieren. Postmortaal onderzoek bestaat uit drie opeenvolgende stappen: de externe evaluatie, de interne evaluatie en de analyse van stalen (IJsseldijk et al., 2019; IJsseldijk et al., 2020).

Drie belangrijke vormen van antropogeen trauma worden in dit artikel uitgelicht: trauma veroorzaakt door (1) akoestische pollutie, (2) aanvaringen en (3) verstrikkingen, maar ook ander menselijk handelen kan negatieve effecten hebben op zeezoogdieren.

AKOESTISCHE POLLUTIE

Water heeft een veel hogere densiteit dan lucht, waardoor geluid zich vijf keer sneller voortplant in water dan in lucht (1500 m/s versus 300 m/s) (Southall, 2018). Laagfrequent geluid draagt onder water heel ver. Het gehoor is het belangrijkste zintuig van veel zeezoogdieren. Dit is zeker het geval voor tandwalvissen. Hun gehoor en echolocatiesysteem zorgen voor ruimtelijke oriëntatie, communicatie, het vinden van prooi en het ontwijken van predatoren (Ketten 2012; Nabi et al., 2018). Geluid is in een omgeving waar licht niet altijd beschikbaar is het meest adequate communicatiemiddel. In de laatste decennia is de intensiteit van antropogene geluiden in de oceanen significant toegenomen (Nabi et al., 2018).

Bronnen van akoestische pollutie

De bronnen van antropogene geluiden waarnaar de laatste jaren onderzoek verricht werd, zijn de scheepvaart, de constructie van windparken, olie- en gaswinning en diepzeemijnbouw (Doom et al., 2013; IWC, 2023).

Scheepvaart is een belangrijke factor die bijdraagt tot een stijging van het voortdurend aanwezige achtergrondgeluid onder water (Ross, 1976). Scheepsschroeven veroorzaken vooral geluid bij lage frequentie (Hildebrand, 2005), maar recreatieve, snelle vaartuigen produceren ook geluid bij hogere frequenties, hoger dan 1 kHz (Evans, 2018). In de literatuur wordt er een onderscheid gemaakt tussen continu aanwezig achtergrondgeluid en impulsief geluid. Dat laatste wordt gekenmerkt door een hoge amplitude, een zeer korte duur en een frequentiespectrum dat afhankelijk is van het type activiteit. Voorbeelden daarvan zijn geluid veroorzaakt tijdens seismisch onderzoek, onder meer voor het opsporen van olie en gas, het vernietigen van munitie (UxO) of het heien van funderingen van windparken.

Effecten van akoestische pollutie

Het effect van akoestische pollutie op zeezoogdieren is enerzijds afhankelijk van de fysische kenmerken van het geluid en van het gedrag van zeezoogdieren anderzijds.

De geluidskenmerken omvatten het frequentie-

spectrum, de amplitude (of sterkte, meestal uitgedrukt in decibel), de duur en de nabijheid van de bron. Het gedrag van zeezoogdieren is vooral afhankelijk van eerdere ervaringen van het dier, de motivatie van het dier om bepaalde gedragingen uit te voeren en de individuele tolerantie voor veranderingen. Vaak is het moeilijk om een associatie te bewijzen tussen een factor en de gevolgen van akoestische pollutie, aangezien een groot aantal factoren het al dan niet optreden van habituatie beïnvloedt (Houser et al., 2016).

De belangrijkste oorzaak van gehoorverlies bij zeezoogdieren is overstimulatie van de sensorische cellen van het binnenoor. Hierdoor ontstaat een metabole uitputting van de haarcellen en schade aan cellen van het orgaan van Corti. Bij gehoorverlies brengen de haarcellen geen zenuwimpuls meer voort (Ketten, 2012). De sensorische cellen degenereren door akoestisch trauma, waardoor de ondersteunende cellen deze ruimte opvullen met littekenweefsel (Lim, 1986; Morell et al., 2017). De aanwezigheid van littekenweefsel ter hoogte van het orgaan van Corti kan bijgevolg een belangrijke indicatie zijn voor gehoorschade (Morell et al., 2017).

De aanwezigheid van littekenweefsel leidt tot een permanente drempelwaardeverandering of *Permanent Threshold Shifts* (PTS). PTS komt vooral voort uit een lange blootstelling aan geluid of door intense geluiden, vooral met relatief hoge frequenties (Ketten 2012; Evans, 2018). Door elektronenmicroscopie kan het littekenweefsel waargenomen worden – maar enkel indien het karkas nog in relatief goede staat is (Morell et al., 2015; Morell et al., 2017). Niet elke schade aan de sensorische cellen leidt tot littekenweefsel. Herstel van de haarcellen is mogelijk. Na herstel hebben de haarcellen echter nood aan hogere energie, waardoor er dus een verhoogde drempel is om geluid waar te nemen (Ketten, 2012). Enkel de buitenste haarcellen kunnen herstellen, de binnenste niet. Herstel resulteert dus in een verschuiving van de drempelwaarde. Dat wordt ook een tijdelijke drempelwaardeverandering of *Temporal Threshold Shift* genoemd (TTS) (Ketten, 1995; Ketten, 2012).

Naast gehoorverlies kan akoestische pollutie ook leiden tot fysische effecten. Een bekende bron van antropogene geluiden die fysische effecten induceert bij zeezoogdieren is *Sound Navigation and Ranging* (SONAR). Het detecteert en lokaliseert objecten onder water door de terugkaatsing van golven (Launer, 2006). Het zijn vooral de *low frequency active SONAR* (LFAS) en *mid-frequency active SONAR* (MFAS), gebruikt bij militaire toepassingen, i.e. het opsporen van onderzeeërs, die voor problemen kunnen zorgen (Van IJsselmuiden et al., 2004; Simonis et al., 2020). In de literatuur worden luchtembolieën of *gas bubble associated lesions* en vetemolieën als gevolg van sonaractiviteiten beschreven. Die letsels komen vooral voor bij diep duikende soorten, zoals de spitsnuitdolfijn (*Ziphiidae*) (Tyack et al., 2006). De etiologie van deze letsels is nog niet volledig bekend. Vermoedelijk veroorzaakt SONAR veranderingen in het duikgedrag,

waardoor zeezoogdieren hun duiktijd wijzigen (Jepson et al., 2003; Fernandez et al., 2005; Tyack et al., 2006). Het al dan niet ontstaan van embolieën is ook afhankelijk van de saturatie van weefsels (Ruckenstein et al., 1980; Crum et al., 1996; Houser et al., 2001). Verder onderzoek is nodig om de oorzaken, het mechanisme en de gevolgen van gas- en vetembolieën op te helderen. Verschillende *mass stranding events* (MSE) van onder andere spitsnuitdolfijnen (*Ziphiidae*), konden reeds in verband gebracht worden met het gebruik van MFAS. Sinds het stopzetten van MFAS-activiteiten op de Canarische Eilanden komen MSE daar veel minder voor (Bernaldo de Quiros et al., 2019).

Akoestisch trauma heeft op diverse vlakken gevolgen voor zeezoogdieren. Gehoorverlies kan bijvoorbeeld een impact hebben op de navigatie of leiden tot problemen bij het foerageren. Daarnaast missen ze mogelijk paringsgroepen waardoor de kans om zich voor te planten vermindert (Nabi et al., 2018). Akoestische pollutie kan bovendien cruciale signalen maskeren, waardoor dieren niet meer in staat zijn tot de detectie en interpretatie van die geluiden (Nabi et al., 2018; Kastelein et al., 2023). Verder heeft akoestische pollutie ook een effect op de moeder-jongrelatie en kan het leiden tot abortus. Door akoestische pollutie beschikken dieren over onvoldoende energie voor de dracht en lactatie, maar ook voor de pubertijd, de gametogenese, de kwaliteit en vitaliteit van de gameten en de ovulatie (Reeves et al., 2001; New et al., 2013).

In bepaalde gevallen, bijvoorbeeld bij de Indische zeekoe, kan akoestische pollutie leiden tot het lokaal uitsterven van een soort. Antropogene geluidspollutie heeft dus een invloed op verscheidene factoren (Nabi et al., 2018) (Figuur 1).

AANVARINGEN

Een aanvaring wordt gedefinieerd als een botsing tussen een individu en een vaartuig. Aanvaringen heb-



Figuur 1. Overzicht van de effecten van akoestische pollutie (naar: Nabi et al., 2018).

ben nadelige gevolgen voor het individuele dier, en voor bepaalde soorten zelfs voor een ganse populatie of de soort zelf (Moore et al., 2013). Propellers of schroeven liggen vaak aan de basis van het trauma veroorzaakt door aanvaringen. Aanvaringen kunnen leiden tot zowel scherp als stomp trauma (Rommel et al., 2007). Scherp trauma is vaak het gevolg van direct contact met de propeller. Propellers of schroeven bestaan meestal uit niet-afgeschermd metalen bladen die op hoge snelheid roteren (Byard et al., 2012). Stomp trauma omvat vooral abrasies, laceraties, kneuzingen en breuken (Campbell-Malone et al., 2007; Moore et al., 2013). Die letsels zijn niet altijd uitwendig zichtbaar. Soms is enkel een indeuking van de huid zichtbaar. In andere gevallen worden er hemorragieën waargenomen (Lightsey et al., 2006). Stomp trauma ontstaat vooral door de andere delen van het schip, zoals de bulk, terwijl scherp trauma vooral het directe gevolg is van de schroef (Rommel et al., 2007).

Letsels na aanvaringen

Hakwonden na aanvaring komen vaak voor en worden veroorzaakt door een combinatie van scherp en stomp trauma (Smith-Blackmore en Robinson, 2018). Het wondpatroon en de ernst van de verwondingen na aanvaringen zijn afhankelijk van de diersoort, de spiercontractie, de lichaamsvorm, de aard en het gedrag van het slachtoffer en de hoek van de inslag (Rommel et al., 2007; Byard et al., 2012). Door de herhaalde roterende bewegingen van de schroef, hebben de dieren vaak multipele symmetrische en evenwijdige wonden op korte afstand (Mendez-Fernandez, 1998; Kutarski, 2009; Byard et al., 2012). Ze zijn vaak dieper in het midden dan aan de randen (Campbell-Malone et al., 2008).

De meest voorkomende letsels na aanvaringen zijn cutane laceraties met spiertrauma, de expositie van abdominale en thoracale organen met evisceratie, amputaties, multipele breuken en embolieën. Verder worden hemothorax, pneumothorax en hemoabdomen ook gesignaleerd (Diaz-Delgado et al., 2018). Grote vaartuigen zouden kunnen leiden tot het splitsen van een dier (Pugliares et al., 2007). Amputaties en schade aan de grote bloedvaten met verbloeding tot gevolg komen frequent voor (Byard et al., 2012).

Stomp trauma ontstaat door een mechanische kracht op een lichaam. De kracht vervormt het elastisch weefsel tot een niet-herstelbaar weefsel (Campbell-Malone et al., 2008). Stomp trauma omvat vooral abrasies, laceraties, kneuzingen en fracturen (Campbell-Malone et al., 2007; Moore et al., 2013). Vaak leidt stomp trauma tot belangrijke interne hematomen en fracturen, zonder merkbare externe letsels (Lightsey et al., 2006). Het is van belang om te benadrukken dat ook stomp trauma kan leiden tot sterfte. Meer dan de helft van letale trauma's bij zeekoeien zijn namelijk te wijten aan stomp trauma (Lightsey et al., 2006) (Figuur 2).

Pre- of postmortale aanvaringen

Het is van belang om een onderscheid te maken tussen pre- en postmortale aanvaringen. Volgens Knowlton en Kraus (2001) zijn er vier kenmerken die helpen om een onderscheid te maken tussen pre- en postmortale aanvaringen: (1) de locatie van de wonden veroorzaakt door een schroef, (2) het tijdsinterval tussen het tijdstip van sterfte en het tijdstip waarop het dier gevonden werd, (3) de aanwezigheid van hematomen en (4) de aanwezigheid van infecties.

Locatie van de wonden

De locatie van de wonden kan helpen om een onderscheid te maken tussen premortale en postmortale aanvaringen. Een gestorven walvis drijft bijvoorbeeld typisch op de rug. De postmortemschade wordt dan vooral op de ventrale zijde van het lichaam aangericht. Als een zeezoogdier dorsale wonden heeft, wijst dat bijgevolg eerder op een premortemaanvaring (Knowlton en Kraus, 2001).

Interval tussen het doodstijdstip en het tijdstip waarop het dier gevonden wordt

Als een zeezoogdier recent gestorven is en tekenen vertoont van een aanvaring en niet van een andere oorzaak, dan is de kans groot dat de doodsoorzaak de aanvaring is.

Aanwezigheid van hematomen

Wanneer bloedingen in de weke delen aangetroffen worden, kan ervan uitgegaan worden dat de aanvaring pre-mortem of peri-mortem heeft plaats gevonden. Echter, als er geen bloedingen gevonden worden in de weke delen, sluit dit een premortale aanvaring niet uit (DiMaio, 2001).

Aanwezigheid van infectie

De evaluatie van infectie is het meest uitdagend. In het geval van heel verse kadavers kan infrarode thermografie gebruikt worden om inflammatie te detecteren. Inflammatie en wondheling wijzen op premortale wonden, terwijl er bij perimortale en postmortale wonden geen inflammatie of wondheling aanwezig is (Moore et al., 2013).

VERSTRIKKINGEN

Een tweede veelvoorkomende oorzaak van antropogeen trauma is verstriking. Bij verstrikingen komen zeezoogdieren vast te zitten in vissersmateriaal of ander materiaal zoals afval. Deze kunnen leiden tot verschillende letsels met een variabele uitkomst. In



Figuur 2. Aanvaring van een gewone vinvis (*Balaenoptera physalus*) op een boeg van een schip in de haven van Gent, 2015 (Foto: Jan Haelters/KBIN).

sommige gevallen kunnen verstrikingen resulteren in de dood van een dier. Moore et al. (2005) stelden in een studie dat bij ongeveer 30% van karkassen van de noordkarper (*Eubalaena glacialis*) verstrikingen (en bijvangst) als doodsoorzaak worden aangeduid op autopsie. Vooral bij kleine zeezoogdieren zijn verstrikingen van belang (Moore et al., 2005).

Oorzaken van verstrikingen

De hoeveelheid en de aard van verstrikingen en bijvangst zijn afhankelijk van een combinatie van twee factoren: (1) het materiaal en (2) het gedrag van zeezoogdieren (Northridge, 2018).

Er wordt een onderscheid tussen twee types basisvissersmateriaal gemaakt (Pugliares et al., 2007). Het eerste type is een lijn; dit is een multifilament met een brede diameter en wordt bijvoorbeeld gebruikt om vaartuigen aan te leggen aan de kade. Lijnen zijn vooral een probleem bij grotere walvissen wanneer ze rond de mond of de borst- of staartvin komen vast te zitten. Ze zijn een belangrijke oorzaak van sterfte en verzwakking bij onder meer noordkapers. Het tweede type basismateriaal is een twijn. Dit materiaal heeft een smallere diameter en kan zowel uit multi- als monofilament bestaan. Twijn uit monofilament bestaat uit één nylon streng, wat één enkele rechte smalle afdruk of laceratie geeft bij een verstriking van een zeezoogdier. Een multifilament is een twijn of lijn waarbij de vezels om elkaar gevlochten zijn. Multifilamenten leiden tot één of meerdere parallel hoekige strepen of ovalen. Als multifilamenten stevig om lichamen gebonden worden, kan dit leiden tot abrasies (Pugliares et al., 2007). Mono- en multifilamenttwijn wordt vaak gebruikt bij staande visnetten, die op de bodem verankerd worden. Zeezoogdieren die langs de bodem foerageren, kunnen erin vast komen te zitten en sterven. In Figuur 3 worden verschillende afdrucken weergegeven die gezien worden bij verstriking op zeezoogdieren.

De grootte van de mazen kan gemeten worden door de maximum diagonale lengte. Dit wordt de 'stretch

maasgrootte' genoemd (Pugliares et al., 2007) (Figuur 4).

Naast vissersmateriaal kan spookvisserij zorgen voor verstrikking. Bij spookvisserij zitten vis en zeedieren in verloren of achtergelaten netten gevangen zonder dat dit de bedoeling is. Spookvisserij kan sterfte tot gevolg hebben (Gregory, 2009). Verloren vissersmateriaal leidt niet alleen tot spookvisserij, het draagt tevens bij tot marien afval waarin zeezoogdieren eveneens kunnen komen vast te zitten (Butterworth et al., 2016).

Letsels door verstrikkingen

Vaak worden zeezoogdieren omcirkeld door lijnen of visnetten. Deze worden vooral aangetroffen rondom hun kop, staartvin, borstvinnen en rugvin (Andersen et al., 2007). Johnson et al. (2005) stellen dat de staartvin in minstens 53% van de verstrikkingen betrokken is bij de bultrug (Johnson et al., 2005). Vissersmateriaal rondom vinnen kan insnijden in de blubber, de spieren of de beenderen of kan de bloedsomloop verhinderen. De volgende letsels zijn geassocieerd met bijvangst (Diaz-Delgado et al. (2018): (1) evenwijdige superficiële cutane erosies en laceraties rondom het rostrum en de gingiva, (2) stomp trauma met subcutane en cranio-encefalische contusies en (3) uitzonderlijk multipale cutane penetrerende wonden met longperforaties en hemothorax (Figuur 5).

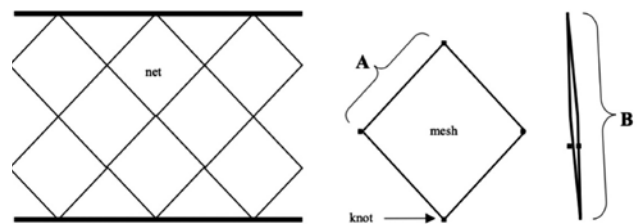
Tandwalvissen zijn het meest kwetsbaar voor verstrikkingen in staand water. Hun echolocatiesysteem is zeer gericht. Daardoor merken ze bij het foerageren dichtbij de bodem mogelijk het fijne garen van een net pas heel laat of kunnen ze mogelijke consequenties niet inschatten (Northridge, 2018).

Naast wonden kunnen verstrikkingen aanleiding geven tot gedragsveranderingen, een verhoogde energiebehoefte of hebben ze een demografisch effect (Feldkamp et al., 1988; Moore et al., 2005; Read et al., 2005; Andersen et al., 2007; Karamandlidis et al., 2008; Cassoff et al., 2011; Butterworth et al., 2016). De capaciteit van zeezoogdieren om te kunnen omgaan met verstrikkingen is enerzijds afhankelijk van de ernst van de restrictie en anderzijds van de aanwezigheid van wonden (Butterworth et al., 2016).

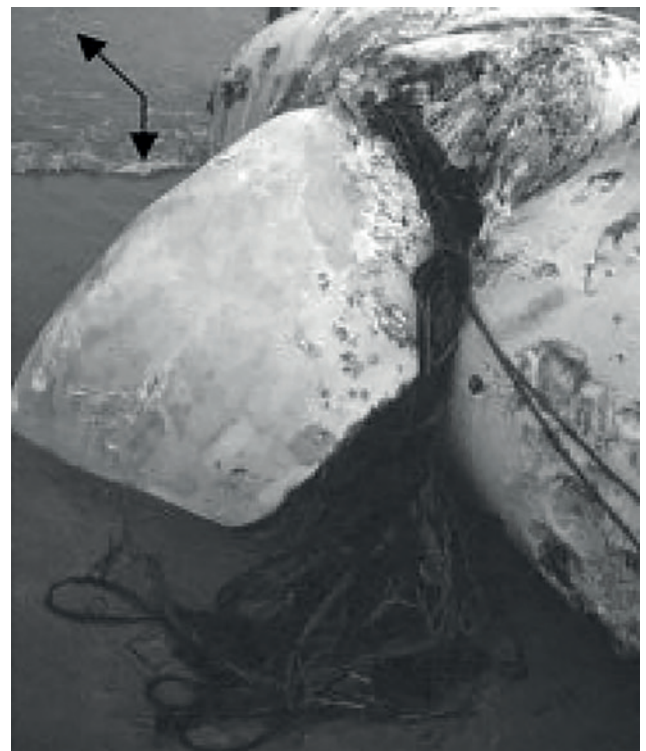
Het demografisch effect van verstrikkingen is een daling van de soort wegens de dood door verdrinking. Verdrinking wordt gedefinieerd als het proces van ademhalingsstoornissen ten gevolge van onderdompeling in een vloeistof (DiMaio, 2001). Volgens Moore et al. (2012) zijn er vaak weinig veranderingen zichtbaar op autopsie na verstrikking met acute dood tot gevolg. Soms is er slijm of schuim in de trachea, maar in de meeste gevallen is er geen ingeademd water aanwezig. De afwezigheid van ingeademd water komt overeen met asfyxie (Moore et al., 2012). Het mechanisme van overlijden bij acute verdrinking, is irreversibele cerebrale anoxie. In de humane geneeskunde wordt de diagnose van verdrinking gesteld op



Figuur 3. Afdrukken door (A) monofilament, (B) multifilamenttwijn en (C) multifilamentlijn die zichtbaar kunnen zijn op zeezoogdieren bij verstrikking (Uit: Pugliares et al., 2007). Lijnen en twijnen vormen samen een net. Netafdrukken bestaan uit een kriskras patroon, waarbij soms afdrukken van de knopen zichtbaar zijn.



Figuur 4. Typische netontwerpen die gebruikt worden in de visserij. Bij netten worden de diepte en lengte van de mazen tussen de boven- en onderzijde van de netten gemeten. De grootte van de mazen wordt gemeten van knoop tot knoop (A). Dit wordt de square of 'bar maasgrootte' genoemd. (B) toont de stretch maasgrootte.



Figuur 5. Multipale wentelingen van een lijn met 1 cm diameter rondom de rechterflipper van een noordkaper (*Eubalaena glacialis*). Caudaal zicht, dorsale ligging. Lange pijl wijst in craniale richting, korte pijl wijst in dorsale richting (Uit: Moore et al., 2005).

basis van exclusie aangezien er geen pathognomonisch beeld is op autopsie (DiMaio, 2001).

DISCUSSIE

Antropogeen trauma veroorzaakt door verstrikking in lijnen en door aanvaringen is goed gedocumenteerd in de literatuur. Voor andere vormen van trauma veroorzaakt door de mens is verder onderzoek noodzakelijk, bijvoorbeeld naar chronische en acute schade door onderwatergeluid. Zeezoogdieren zijn beschermde diersoorten en niet veel soorten kunnen in gevangenschap gehouden worden. Daardoor dient veel onderzoek in het water plaats te vinden, waar men met grote uitdagingen geconfronteerd wordt (Gulland en Hall, 2007).

De fysiologische kennis over bijvoorbeeld audiogrammen en de oorzaken van gehoorschade bij zeezoogdieren is vaak nog onvoldoende en dient uitgediept te worden (Ketten, 2012; Pacini en Nachtigall, 2016). Verder kan de respons op akoestische pollutie veranderen door de tijd. Er kan herstel optreden of een zeedier kan wennen aan bepaalde geluiden (Radford et al., 2016). Het is bovendien sterk aangewezen om bepaalde gebieden te beschermen tegen akoestische pollutie. De Azoren en Nieuw-Zeeland hebben hierin de eerste stap gezet door diepzeemijnbouw te verbieden in bepaalde gebieden (IWC, 2023).

Bijkomend zijn de cijfers niet steeds representatief. Zo komt vermoedelijk slechts een fractie van de aanvaringen aan het licht (Campbell-Malone et al., 2008). Karkassen worden niet steeds gevonden en premortale letsels zijn bovendien moeilijk te onderscheiden van postmortale letsels (Knowlton en Kraus, 2001). Er worden inspanningen geleverd om meer data te verzamelen over een zo groot mogelijk gebied. Zo bestaat binnen de International Whaling Commission (IWC) het initiatief om aanvaringen te registreren en worden handleidingen opgesteld en voortdurend bijgewerkt om doodsoorzaken te kunnen vaststellen.

Daarnaast bestaat het Europees project Seadetect waarbij een netwerk van hydrofoons ontwikkeld wordt om informatie omtrent de positie van walvissen te detecteren en deze te delen met andere schepen (IWC, 2023).

De beste manier om bijvangst vast te stellen, is het registreren ervan aan boord van vissersvaartuigen en te extrapoleren naar de totale vloot of de totale visserij-inspanning. Bij het onderzoek van gestrande dieren in het kader van bijvangst hebben verschillende factoren, zoals de locatie, het weer en het aantal waarnemers, een invloed op het onderzoek (Moore et al., 2005; Bogomolni et al., 2010; Butterworth et al., 2016; Northridge, 2018; Moore et al., 2020).

Het Bycatch Mitigation Initiative (BMI) en Coordinated Development and Implementation of Best Practice in Bycatch Reduction in the North Atlantic, Baltic and Mediterranean Regions (CIBBRINA) zijn

projecten die tot doel hebben bijvangst te documenteren en waar mogelijk mitigatie voor te stellen. Visvangst met staande netten komt overal ter wereld voor maar er wordt sterk aanbevolen om in alternatief vistuig te investeren (IWC, 2023). Omdat verstrikkingen bovendien veroorzaakt kunnen worden door marien afval, worden ook de hoeveelheid en distributie van afval door verschillende organisaties onderzocht en in kaart gebracht (IWC, 2023).

CONCLUSIE

De literatuur over antropogeen trauma bij zeezoogdieren is divers en uitgebreid. Autopsie is het belangrijkste middel om de doodsoorzaak te achterhalen, maar ook een eenvoudig uitwendig onderzoek kan veel informatie opleveren, bijvoorbeeld door netindrukken, verstrikking. De belangrijkste oorzaken van antropogeen trauma zijn bijvangst, verstrikking, akoestische pollutie en aanvaringen. Meer onderzoek naar manieren om antropogeen trauma te voorkomen en onderzoek naar contribuerende factoren van antropogeen trauma zijn nodig. Het is bovendien noodzakelijk om de doodsoorzaken verder in beeld te brengen, daarbij data uit verschillende landen samen te brengen en waar nodig maatregelen te ontwikkelen en toe te passen die antropogeen trauma zoveel mogelijk beperken.

REFERENTIES

- Andersen, M.S., Forney, K.A., Cole, T.V.N., Eagle, T., Angliss, R., Long, K., Barre, L., Van Atta, L., Borggaard, D., Rowles, T. (2007). Differentiating serious and non-serious injury of marine mammals: report of the serious injury technical workshop. United States Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Seattle Washington, USA, p. 15-62.
- Berlando de Quiros, Y., Fernandez, A., Baird, R.W., Brownell, R.L., Aguilar de Soto, N., Allen, D., Arbelo, M., Arregui, M., Costidis, A., Fahlman, A., Frantzis, A., Gulland, F.M.D., Iniguez, M., Johnson, M., Komnenou, A., Koopman, H., Pabst, D.A., Roe, W.D., Sierra, E., Tejedor, M., Schorr, G. (2019). Advances in research on the impacts of anti-submarine sonar on beaked whales. Workshop, Fuerteventura, Canary Islands, Spain.
- Bogomolni, A.L., Pugliares, K.R., Sharp, S.M., Patchett, K., Harry, C.T., LaRocque, J.M., Touhey, K.M., Moore, M. (2010). Mortality trends of stranded marine mammals on Cape Cod and southeastern Massachusetts, USA, 2000 to 2006. *Disease of Aquatic Organisms* 88, 143-155.
- Butterworth, A. (2016). A review of the welfare impact on pinnipeds of plastic marine debris. *Frontiers in Marine Science* 3, 149.
- Byard, R.W., Winskog, C., Machado, A., Boardman, W. (2012). The assessment of lethal propeller strike in sea mammals. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 19, 158-161
- Campbell-Malone, R., Barco, S.G., Daoust, P., Knowl-

- ton, A.R., McLellan, W.A., Rotstein, D.S., Moore, M.J. (2008). Gross and histologic evidence of sharp and blunt trauma in North Atlantic Right Whales (*Eubalaena glacialis*) killed by vessels. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 38, 37-55.
- Cassoff, R.M., Moore, K.M., McLellan, W.A., Barco, S.G., Rotstein, D.S., Moore, M.J. (2011). Lethal entanglement in baleen whales. *Disease of Aquatic Organisms* 96, 175-185.
- Crum, L.A., Mao, Y. (1996). Acoustically enhanced bubble growth at low frequencies and its implications for human diver and marine mammal safety. *Journal of Acoustical Society of America* 99, 2898-2907.
- Diaz-Delgado, J., Fernandez, A., Sierra, E., Sacchini, S., Andrada, M., Vela, A.I., Quesada-Canales, O., Paz, Y., Zucca, D., Groch, K. (2018). Pathologic findings and causes of death of stranded cetaceans in the Canary Islands (2006-2012). *PLoS One* 13, doi: 10.1371/journal.pone.0204444.
- DiMaio, V.J., DiMaio, D. (2001). Death caused by motor vehicle accidents. In: DiMaio, V.J., DiMaio, D. (editors). *Forensic Pathology*. Second edition, CRC Press, London, UK, p. 279-317.
- Doom, M., Cornillie, P., Gielen, I., Haelters, J. (2013). De invloed van geluidspollutie op zeezoogdieren. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift* 82, 265-272.
- Evans, P.G.H. (2018). Habitat pressure. In: Evans, P.G.H. (editor). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third edition, Academic Press, London, UK, p. 441-446.
- Feldkamp, S.D., Costa, D.P., DeKrey, G.K. (1988). Energetic and behavioral effects of net entanglement on juvenile Northern Fur Seals, *Callorhinus ursinus*. *Fishery Bulletin* 87, 85-94.
- Fernandez, A., Edwards, J.F., Rodriguez, F., Espinosa de los Monteros, A., Herraes, P., Castro, P., Jaber, J.R., Martin, V., Arbelo, M. (2005). "Gas and fat embolic syndrome" involving a mass stranding of beaked whales (family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals. *Veterinary Pathology* 42, 446-457.
- Hildebrand, J.A., (2005). Impacts of anthropogenic sound. In: Hildebrand, J.A. (editor). *Marine Mammal Research: Conservation beyond Crisis*. First edition, the Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA, p. 101-124.
- Houser, D.S., Howard, R., Ridgway, S. (2001). Can diving-induced tissue nitrogen supersaturation increase the chance of acoustically driven bubble growth in marine mammals? *Journal of Theoretical Biology* 213, 183-195.
- Houser, D.S., Martin, S.W., Finneran, J.J. (2016). Risk functions of dolphins and sea lions exposed to sonar signals. In: Popper, A.N., Hawkins, A. (editors). *The effects of Noise on Aquatic Life II*. First edition, Springer, London, UK, p. 473-478.
- Ijsseldijk, L.L., Brownlow, A.C., Mazzariol, S. (2019). Best practice on cetacean post-mortem investigation and tissue sampling. Joint ACCOBAMS and ASCOBANS document, Istanbul, Republic of Turkey, p. 11-46.
- Ijsseldijk, L.L., Van Schalkwijk, L., Kik, M.J., Gröne, A. (2020). Onderzoeksresultaten gestrande walvisachtigen 2020. Pathologie, life history en dieet onderzoek. *Rapport Universiteit Utrecht*. Departement Biomoleculaire Health Sciences, Faculteit Diergeneeskunde, Universiteit Utrecht, Nederland.
- Ijsseldijk, L.L., van Schalkwijk, L., van de Berg, A., ten Doeschate, M.T.I., Everaarts, E., Keijl, G.O., Kuijpers, N., Bravo Rebolledo, E.L., Veraa, S., Kik, M.J.L. (2020). Fatal attraction: The death of solitary- sociable bottlenose dolphin due to anthropogenic trauma in the Netherlands. *Lutra* 63, 17-32.
- International Whaling Commission (IWC) (2023). Report of the Scientific Committee 2023. *Journal of Cetacean Research and Management* 25, 1-93.
- Jepson, P.D., Arbelo, M., Deaville, R., Patterson, I.A.P., Castro, P., Baker, J.R., Degollada, E., Ross, H.M., Herraes, P., Pocknell, A.M., et al. (2003). Gas-bubble lesions in stranded cetaceans. *Nature* 425, 575-576.
- Johnson, A., Salvador, G., Kenny, J., Rohbins J., Kraus, S., Landry, S., Clapham, P. (2005). Fishing Gear involved in Entanglements of Right and Humpback Whales. *Marine Mammal Science* 21, 635-645.
- Gulland, F.M., Hall, A.J. (2007). Is marine mammal Health deteriorating? Trends in the global reporting of marine mammal disease. *EcoHealth* 4, 145-150.
- Kastelein, R.A., Helder-Hoek, L., Defiliet, L.N., Terhune, J.M., Beutelmann, R., Klump, G.M. (2023). Masking release at 4 and 32 kHz in harbor seals associated with sinusoidal amplitude-modulated masking noise. *Journal of Acoustical Society of America* 154, 81-94.
- Karamanlidis, A.A., Androukaki, E., Adamantopoulou, S., Chatzistryrou, A., Johnson, W.M., Kotomatas, S., Papadopulos, A., Paravas, V., Paximadis, G., Pires, R., et al. (2008). Assessing accidental entanglement as a threat to the Mediterranean monk seal *Monachus monachus*. *Endangered Species Research* 5, 205-221.
- Ketten, R.C. (1995). Estimates of blast injury and acoustic trauma zones for marine mammals from underwater explosions. In: Kastelein, R.A., Thomas, J.A., Nachtigall, P.E. (editors). *Sensory Systems of Aquatic Mammals*. First edition, De Spil Publishers, Woerden, the Netherlands, p. 391-408.
- Ketten, D.R. (2012). Marine mammal auditory system noise impacts: evidence and incidence. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 730, 207-212.
- Knowlton, A.R., Kraus, S.D. (2001). Mortality and serious injury of northern right whales (*Eubalaena glacialis*) in the western North Atlantic Ocean. *Journal of Cetacean Research and Management (Special Issue)* 2, 193-208.
- Kutarski, P.W. (1989). Outboard motor propeller injuries. *Injury* 20, 87-91.
- Launer, D. (2006). SONAR. In: *Dictionary of Nautical Acronyms and Abbreviations*. First edition, Sheridan House, Dobbs Ferry, NY, USA, pp. 104.
- Lightsey J.D., Rommel, S.A., Costidis, A.M., Pitchford, T.D. (2006). Methods used during gross necropsy to determine watercraft-related mortality in the Florida Manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 37, 262-275.
- Mendez-Fernandez, M.A. (1998). Motorboat propeller injuries. *Annals of Plastic Surgery* 41, 113-118.
- Moore, M.J., Knowlton, A.R., Kraus, S.D., McLellan, W.A., Bonde, R.K. (2005). Morphometry, gross morphology and available histopathology in North Atlantic right whale (*Eubalaena glacialis*) mortalities. *Journal of Cetacean Research and Management* 6, 1-16.
- Moore, M.J., Van der Hoop, J., Barco, S.G., Costidis, A.M., Gulland, F.M., Jepson, P.D., Moore, K.T., Raverty, S., McLellan, W.A. (2013). Criteria and case definitions for serious injury and death of pinnipeds and cetaceans caused by anthropogenic trauma. *Disease of Aquatic Organisms* 103, 229-264.

- Morell, M., Lenoir M., Shedwick, R.E., Jauniaux, T., Dabin, W., Begeman, L., Ferreira, M., Maestre, I., Degollada, E., Hernandez-Milan, G. (2015). Ultrastructure of the Odontocete Organ of Corti : Scanning and transmission electron microscopy. *Journal of Comparative Neurology* 523, 431-448.
- Morell, M., Brownlow, A., McGovern, B., Raverty, S.A., Shadwick, R.E., André, M. (2017). Implementation of a method to visualize noise-induced hearing loss in mass stranded cetaceans. *Scientific Reports* 7, 418-448.
- Nabi, G., McLaughlin, R.W., Hao, Y., Wang, K., Zeng, X., Khan, S., Wang, D. (2018). The possible effects of anthropogenic acoustic pollution on marine mammals' reproduction: an emerging threat to animal extinction. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 19338-19345.
- New, L.F., Moretti, D.J., Hooker S.K., Costa, D.P., Simmons, S.E. (2013). Using energetic models to investigate the survival and reproduction of beaked whales (family Ziphiidae). *PLoS one* 8, doi:10.1371/journal.pone.0068725.
- Northridge, S. (2018). Bycaught. In: Wursig, B., The-wissen, J.G.M., Kovacs, K.M. (editors). *Encyclopedia of Marine Mammals*. Third edition, Academic Press, London, UK, p. 149-151.
- Pacini, A.F., Nachtigall, P.E. (2016). Hearing in whales and dolphins: relevance and limitations. In: Popper, A.N., Hawkins, A. (editors). *The effects of Noise on Aquatic Life II*. First Edition, Springer, London, UK p. 801-808.
- Poeta, G., Staffieri, E., Acosta, A.T.R., Battisti, C. (2017). Ecological effects of anthropogenic litter on marine mammals: A global review with a "black-list" of impacted taxa. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy* 28, 253-264.
- Pugliares, K.R., Bogomolni, A., Touhey, K.M., Herzig, S.M., Harry, C.T., Moore, M.J. (2007). *Marine Mammal Necropsy: an Introductory Guide for Stranding Responders and Field Biologists*. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA, USA, p. 112-126.
- Radford, A.N., Purser, J., Bruintjes, R., Voellmy, I.K., Everley, K.A., Wale, M.A., Holles, S., Simpson, (2016). Beyond a simple effect: variable and changing responses to anthropogenic noise. In: Popper A.N., Hawkins, A. (editors). *The Effects of Noise on Aquatic Life II*. First edition, Springer, London, UK p. 901-908.
- Read, A.J., Drinker, P., Northridge, S. (2006). Bycatch of Marine Mammals in U.S. and Global Fisheries. *Conservation Biology* 20, 163-169.
- Reeves, R.R., Rolland, R., Clapham, P.J. (2001). Causes of reproductive failure in North Atlantic Right Whales: New Avenues of Research. *Northeast Fisheries Science Center Reference Document 01-16*, Report of a Workshop Held 26-28 April 2000 Falmouth, Massachusetts, USA, p. 5-38.
- Rommel, S.A., Costidis, A.M., Pitchford, T.D., Lightsey, J.D., Snyder, R.H., Haubold, E.M. (2007). Forensic methods for characterizing watercraft from watercraft-induced wounds on the Florida Manatee (*Trichechus manatus latirostris*). *Marine Mammal Science* 23, 110-132.
- Ross, D. (1976). Propeller cavitation noise. In: Ross, D. (editor). *Mechanics of Underwater Noise*. First edition, Pergamon Press, Inc., Paris, France, p. 253-287.
- Ruckenstein, E., Krishnan, R. (1980). The equilibrium radius and the domain of existence of microemulsions. *Journal of Colloid and Interface Science* 76, 188-200.
- Simonis, A.E., Brownell Jr, R.L., Thayre ,B.J., Trickey, J.S., Oleson E.M., Huntington R., Baumann-Pickering, S. (2020). Co-occurrence of beaked whale strandings and naval sonar in the Mariana Islands, Western Pacific. In: *Proceedings of the Royal Society B* 287. 20200070. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.0070>
- Slabbekoorn, H., Bouton, N., Van Opzeeland, I., Coers, A., Ten Cate, C., Popper, A.N. (2010). A noisy spring: the impact of globally rising underwater sound levels on fish. *Trends in Ecology & Evolution* 25, 419-427.
- Southall, B. L., R. J. Schusterman, and D. Kastak. (2000). Masking in three pinnipeds: Underwater, low-frequency critical ratios. *Journal of the Acoustical Society of America* 108, 1322-1326.
- Tyack, P.L., Johnson, M., Soto, N.A., Sturlese, A., Madsen, P.T. (2006). Extreme diving of beaked whales. *Journal of Experimental Biology* 209, 4238-4253.
- Van IJsselmuide, S., Beerens, S. (2004). Detection and classification of marine mammals using an LFAS system. *Canadian Acoustics* 32, 93-106.
- Würsig, B. (2020). From science only to science for conservation: a personal journey. *Ethics in Science and Environmental Politics* 20, 25-32.

