

White-nose syndrome - Ett dödligt hot mot Europas och Skandinavians fladdermuspopulationer?

Introduktion

I några grottor utanför Albany, New York, fann biologer under tidig vår 2007 till sin stora häpnad tusentals och åter tusentals döda fladdermöss av ett flertal arter under grott-taken vid sina övervintringsplatser. På ett par av dessa platser uppskattades fränfallet vara nära nog samtliga individer som där gått i vinterdvala. Frågan om vad som hade hänt kom snabbt i fokus. Alan Hicks vid New York State Department of Environmental Conservation, var den förste att uppmärksamma den nya farsot som möjligen kunde vara kopplad till massdöden. Hicks identifierade en vit påväxt på de döda fladdermössen på nos, öron och vingar, och man fann snart en lågtemperaturgynnad sporsäckssvamp, nu namngiven till *Pseudogymnoascus destructans* (*Pd*), som den bakomliggande och mycket virulenta patogen som direkt eller indirekt förorsakat den höga mortaliteten. White-nose syndrome (WNS) blev snart ett vedertaget begrepp. Ett år senare räknade man dödstalen i hundratusental. Sjukdomen spred sig sedan mycket snabbt över de östra delarna av den nordamerikanska kontinenten. Idag, åtta år efter upptäckten, räknar man med att det har dött i storleksordning 6 miljoner individer (Wibbelt et al, 2013), varav ett antal större populationer med i vissa fall kolonier med upp till 350 tusen individer, har minskat med 90 till 100 procent (USFWS, 2015). Av Nordamerikas totalt 47 arter, för vilka mer än hälften är beroende av övervintring, har tolv konstaterats infekterade (7 med WNS, 6 med bekräftad *Pd*). Flera av dessa arter har redan tidigare betecknats som allvarligt hotade (USGS, 2015/1). Idag har sjukdomen observerats i 26 delstater och fem provinser. Från Georgia USA i söder, till Quebec Kanada i norr (se fig 4. Hefferman, 2015), och nu sprids smittan vidare västerut. Inte minst är det flertal arter som redan tidigare ansetts hotade nu riskerar att helt utrotas. En dödlig epidemi och ekologisk katastrof vars storlek och hastighet mänskliga ögon sällan tidigare skådat drabba någon djurgrupp!

Syfte

Stor möda ägnas idag åt att undersöka spridningsvägar och det potentiella hot denna sjukdom utgör mot fladdermusarter och ekosystem. Dels för arternas fortlevnad, men även pga. den ekonomiska skada som förmodas bli en konsekvens av en ökad förekomst av insekter som skadar skördar i både jord- och skogsbruk på grund av utebliven furagering genom insektsätarna. Ekonomer har beräknat att dessa hittills har tagit skada för ett värde av ca. 23 miljarder \$ (Boyles et al, 2011).

Myndigheter, Universitet och större organisationer anstränger sig för att finna svar på hur situationen uppstått, och vad för åtgärder det möjligen finns att tillgå. Efter utbrottet i Nordamerika har man även börjat undersöka förekomsten av WNS i många europeiska länder på den eurasiska kontinenten, varpå man funnit stort antal övervintrande fladdermuskolonier vara infekterade med svampen, och då framförallt i Mellaneuropa. Döda fladdermöss med symptom av WNS har konstaterats i ett flertal länder, men någon massdöd i paritet med den i Nordamerika har ännu inte påvisats (Leopardi et al, 2015). Tolv arter har befunnits ha symptom av WNS, och ytterligare två har konstaterats bära *P. destructans* (whitenosesyndrome.org, 2015). Finns det då risk för att denna patogen kan skapa utbrott av WNS även i de europeiska populationerna och drabba på liknande sätt? Då *P. destructans* har visat sig inte drabba artspecifikt, med några få undantag, utan snarare tycks vara en generalist i val av värddjursart (Zukal et al, 2014), har risken för spridning diskuterats utifrån hypotesen att kolonier som aggregerar sig tätt vid övervintringsplatser och ofta

hyser ett flertal arter snarare än homogena populationer möjligen kan utgöra en smitt-vektor med stor spridningspotential. Då både mellan individer och arter. Hur ser situationen i dag ut för de skandinaviska fladdermössen för eventuella symptom av WNS? Har man även här kunnat konstatera infektion av *Pd* hos fladdermöss? Dessa kalla fakta och heta frågor leder osökt vidare till om det är möjligt att finna några bevarandebiologiska åtgärder att vidta både lokalt och regionalt för att undvika och förebygga detta potentiella hot om ytterligare katastrof.

I detta arbete ämnar jag ge en bild av hur WNS har kunnat slå så hårt mot denna djurgrupp, och samtidigt undersöka förutsättningarna för att genom forskning och eventuella försiktighetsåtgärder kunna finna vägar att begränsa denna epidemi och massdöd. Ambitionen är att utröna möjligheterna att eventuellt kunna påverka utvecklingen inom en nära framtid, och jag presenterar i korthet vad man för närvarande vet om sjukdomen, dess nuvarande spridning och virulens, samt tänkbara bevarandeåtgärder som kan stödjas av dagsaktuella hypoteser och studier.

Patogenen och dess effekter

Den hittills oupptäckta svampen *Pseudogymnoascus destructans*, och dess dödliga symptom, nu namngiven till White-Nose Syndrome (i Sverige numera allm. vitnossjuka), blir genom dess hyfer och konidier synlig som vita puderartade fläckar på nos, öron och/eller vingmembran hos fladdermöss. Svampen är psykrofil, dvs. gynnad av låga temperaturer, och har ett möjligt tillväxtintervall mellan 0 och 19,8° C med en optimal tillväxttemperatur mellan 12,5 och 13,8° C. Den förökar sig dock endast om temperaturen ligger under 12° C (Verant et al, 2012). Den har en känd nära släkting i stammen *Geomyces* (-spp.) som man vanligtvis finner i Arktis, men har även andra närbesläktade arter som kan orsaka hudinfektioner hos människan. Nyligen publicerad forskning har även visat att svampen kan överleva länge på substrat i grottor och liknande lokaler utan värdjur (Lorch et al, 2013), vilket visar på stor tålighet. Detta kan förmodligen påverka effekten även på lång sikt, och därmed också öka risken för fortsatt hög dödlighet och stor spridning.



Fig 1. Greg Turner, biolog. Döda fladdermöss utanför en övergiven kolgruva. Foto - Kevin Wenner, Pennsylvania Game Commission 2009

De relativt låga och konstanta temperaturer där *P. destructans* trivs, är typiska förutsättningar i en grotta eller annan underjordisk lokal som även är lämpad för övervintrande insektsätande fladdermöss på de drabbade breddgraderna. Fladdermöss i de aktuella tempererade klimatzonerna är i behov av vinterlokaler där temperaturen är jämn, och då gärna mellan 5 och 10° C för sin övervintring. En lämplig lokal bör därför inte variera nämnvärt i förhållande till de mer oregelbundna och större svängningar som råder utomhus (Richardson, 2011). Detta för att djuren ska kunna gå i djup dvala och sänka metabolismen och därmed också energiförbrukningen under vintermånaderna då det inte finns flygande insekter att jaga. Som däggdjursgrupp är de unika genom sin förmåga att reglera kroppstemperaturen under dvalan till att nära nog följa omgivningens temperatur.

Genom migration, som för vissa fladdermusarter kan vara mycket vidsträckt, utgör de en potentiell spridningsvektor och kan infektera grottor och andra vinterkvarter mycket snabbt. Exempelvis kan

den större brunfladdermusen, *Nyctalus noctula*, flytta mer än 1500 km. (fig 7. Dietz et al, 2011). De insektsätande fladdermössen har en mycket lång livscykel jämfört med andra däggdjursgrupper av samma storlek (upp till 41 år, men inte sällan 25-30 år. Dietz et al, 2011), vilket återspeglas i en något icke traditionell frekvens av avkomma. Oftast föder honorna endast en unge per år, vilket gör denna djurgrupp mycket känslig för stokastiska processer och pandemiska utbrott med hög mortalitet.

Symptom

Kända karaktärsdrag typiska för fladdermöss med symptom av WNS eller smittade med *Pd* under vinterdvalan är:

- Avsaknad av eller minskat fettförråd av både vitt och brunt fett
- Udda beteenden, t ex att djuren vaknar mer frekvent än normalt under vinterperioden
- Minskad förmåga att vakna ur djup dvala
- Oförmåga att återgå i djup dvala
- Såriga och ärriga vingmembran
- Förändrad aktivitet i immunförsvar

(White-Nose Syndrome, Science strategy meeting, Albany, NY, 2008)



Fig 2. Fladdermus med synlig påväxt av *P. destructans*. Foto - Alan Hicks, New York Department of Environmental Conservation



Fig 3. Fladdermöss infekterade av WNS. Foto - Bat Conservation Trust, UK

Det har framlagts flera hypoteser till varför infektionen kan vara dödlig, och den ena utesluter inte den andra. Dehydrering: Svampen skapar obalans i djurets vätskebalans, vilket väcker det ur dvala mer frekvent än normalt. Det kan eventuellt då vara svårt att hitta vatten för att återställa kroppens vätskebalans, eller möjligen vara en direkt dödsorsak. Sjukdomssymptomen väcker fladdermusen ur dvala, som därefter eventuellt börjar flyga när den normalt inte skulle gjort så och förbrukar därmed en del av den lagrade och livsviktiga energin i sitt fettförråd. Förhöjd kroppstemperatur och ökad metabolism under de extra vakenperioderna kräver ytterligare energiresurser (Verant et al, 2014). Det finns under denna period ingen eller mycket lite föda att tillgå för att kompensera denna energiförlust. Om den drabbade individen inte har kunnat lagra tillräckligt med fett för att bemästra de extra fysiologiska påfrestningarna av en infektion med *P. destructans*, och den därmed

inte har de nödvändiga energireserverna, kan det få följden att den inte överlever ideperioden ut. Andra symptom som uppmärksammats är: Skadade vingar och förhöjd energiförbrukning pga immunförsvarsåtgärder. Förhöjd metabolism pga rubbad elektrolytisk, cirkulatorisk och hydrolytisk balans, vilket kan skapa metabolisk instabilitet och därmed vara både direkt och indirekt dödlig (Cryan et al, 2010, 2013). Ytterligare har man kunnat observera smittade fladdermöss som flyger dagtid. Då ofta med erratiskt flygbeteende och uppvisande av lokaliseringsproblem, samt hårbärgerande onormalt nära öppningen i sina övervintringsgrottor (USGS, 2015/2).

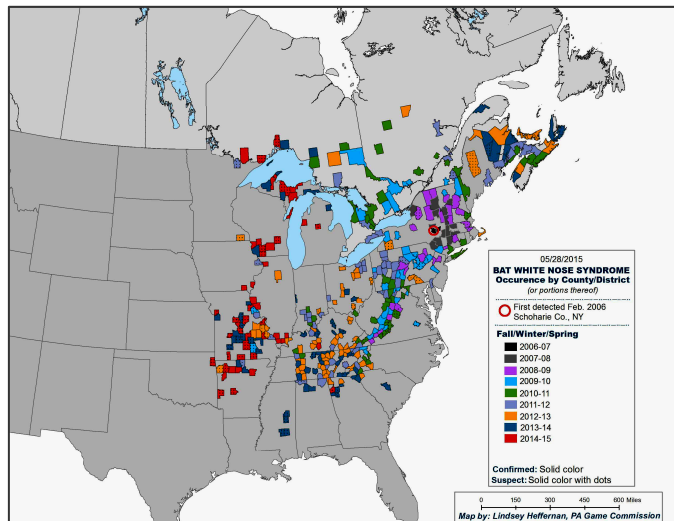


Fig 4. Utbredning av WNS i Nordamerika. 2015-05-28.
Heffernan L. PA Game Commission.

Spridning

Patogenet har idag ett oklart ursprung, men förmodas ha spridit sig mellan den nordamerikanska och europeiska kontinenten då genetiska studier har visat stor likhet, om än inte helt identiska strukturer, mellan olika prover av *P. destructans* från de två kontinenterna (Leopardi et al, 2015). Vilken kontinent som varit den första att drabbas av denna svamp är ännu inte klarlagt, men det spekuleras över hur den kunnat färdas över ett så stort avstånd och slå så hårt i Nordamerika på så kort tid. Visserligen migrerar insektsätande fladdermöss i hög grad för att nå sina vinterkvarter, men man utgår ifrån att de inte har kapacitet att flytta mellan Europa och Nordamerika då de geografiska avstånden och ekologiska barriärerna är alltför stora.

Detta betyder i så fall att migration inte bör ha varit den bakomliggande orsaken till introduktionen på den Nordamerikanska kontinenten. En allmänt vedertagen hypotes numera är därför att smittan spridits via mänskliga aktiviteter mellan kontinenterna, och då eventuellt genom grottforskning, jordbruksaktiviteter eller via fladdermusinventarer. Att så skulle vara fallet kommer förmodligen aldrig att helt kunna beläggas, men många forskare och institutioner verkar stödja en sådan hypotes. Den globala rörligheten som ökat genom handel och transporter, samt att utbredning av mänsklig aktivitet ökat kraftigt de senaste decennierna, ses som en trolig förklaring till att sjukdomar nu färdas över stora avstånd och kan spridas i nya miljöer. Störningar i ekosystem genom antropogen påverkan har med säkerhet tidigare konstaterats, och bedöms ytterligare kunna påverka den globala biodiversiteten i framtiden (Daszak et al, 2000). Oavsett den ursprungliga orsaken kan man nu i princip betrakta svampen *Pseudogymnoascus destructans* som en invasionsart som introducerats i Nordamerika (Lorch et al, 2013). Myndigheter har framlagt två olika hypoteser angående ursprung i kombination med förmodad immunitet:

- 1) Patogenet är olika för de två kontinenterna, därav olika virulens.
- 2) Patogenet är densamma, men immunitet har utvecklats i Europa då något kraftigt utbrott här inte kunnat iakttagas.

Följdfrågor har dock kommit i dagen från vissa forskare som menar att den kraftiga virulensen möjligen skulle kunna ha orsakats av mutation av svampen i Nordamerika (Coghlan, 2011). Detta implicerar då att patogenet funnits där redan tidigare, men då i betydligt mindre harmfullt tillstånd likt det som tycks råda i Europa. Frågor som vidare ställs är hur virulensen på de olika kontinenterna skiljer sig åt, och hur spridningshastigheten kan vara så väsensskilda. För att kunna förstå hur eventuell resistens kunnat utvecklas hos de europeiska fladdermössen enligt hypotes 2 (se ovan) blir det av stor vikt att klarlägga hur länge smittan faktiskt funnits här. Alternativt är patogenets effekter för närvarande bara i ett förstadie till att skapa utbrott med hög mortalitet i Europa. Genom att lägga till nyfunna viktiga bitar i detta kronologiska pussel skulle man kunna utnyttja denna kunskap till att förhoppningsvis finna möjliga bevarandeåtgärder.

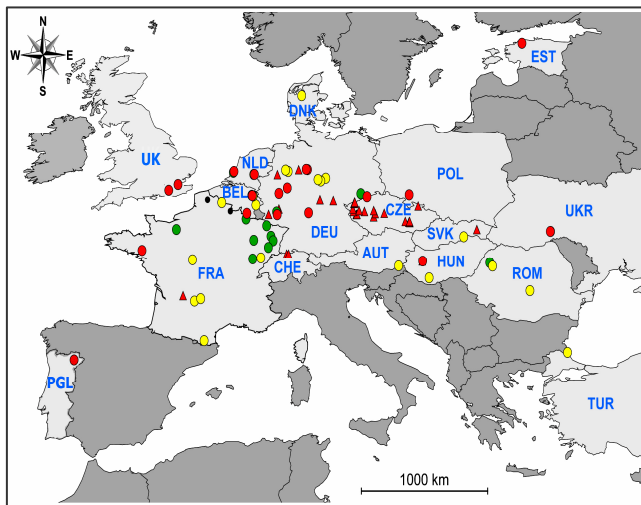


Fig 5. Utbredning av bekräftad infektion av *P. destructans* i Europa. Eft. Puechmaille S. et al. 2011. Bearbetad och uppdaterad av förf. 2015-04-25.

patogenet mycket väl kan ha sitt ursprung i Europa då den tycks ha funnits här en längre tid (Puechmaille, 2011). I en mikrobiell studie då man tagit prover från fladdermöss med symptom har man kunnat påvisa åtta varianter av *Pd*, vilket skulle stödja idén om ett äldre europeiskt ursprung då evolutionärt tryck ofta driver förändringar i en stam eller hos en art av mikrober på liknande sätt (Leopardi et al, 2015). Detta skulle då implicera att fladdermössen i Europa kunnat utveckla resistens i någon form. Hur länge *Pd* har existerat här är dock ännu ovisst. Mer forskning är därför nödvändig för att kunna göra en prognos för utvecklingen av virulens/immunitet och vidare spridning.

Europa

I Europa har man sedan upptäckten 2007 i Nord-Amerika kunnat konstatera *P. destructans* och WNS i länderna: Storbritannien, Portugal, Frankrike, Belgien, Luxemburg, Österrike, Schweiz, Danmark, Tyskland, Polen, Tjeckien, Rumänien, Slovakien, Estland, Ukraina och Turkiet. Detta indikerar en spridning i Mellaneuropa i östvästlig riktning (se fig 5). Att spridningen ser så ut kan möjligen bero på temperaturzonens egenskaper, eller lokalisering av större övervintringsplatser. En annan tänkbar parameter är hur man i olika länder har valt att bedriva efterforskningar av infektionen.

Nyligen utförda undersökningar har visat att

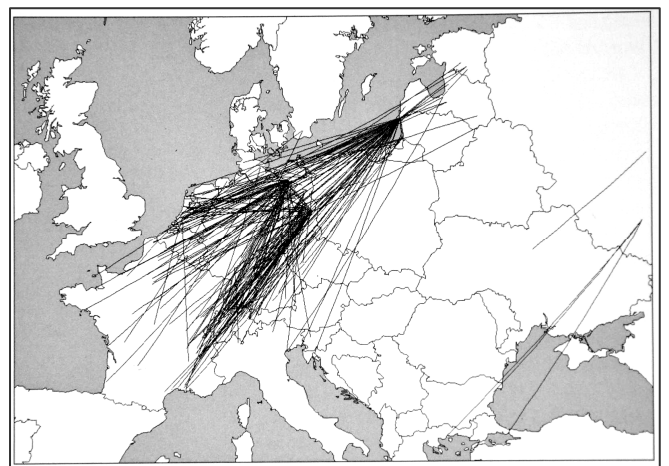


Fig 6. Migrationsmönster i Europa av den långflyttande fladdermusen Trollpipistrell, *Pipistrellus nathusii*, genom ringmärkning. Eft. Hutterer R. et al. 2005

Skandinavien

I Skandinavien har man hittills endast konstaterat ett fåtal fall av WNS, och då i Danmark. Man har ej heller ännu hittat några fladdermöss som varit infekterade med Pd i övriga Norden. Huruvida patogenet kommer att kunna sprida sig vidare till Sverige, Norge, och Finland är i dagsläget mycket oklart då ursprunget av Pd och dess spridningsvägar i de europeiska populationerna ännu inte fastställts. Att fladdermöss migrerar mellan norra Skandinavien och den europeiska

kontinenten är sedan länge känt, men att smittan därmed kan komma att sprida sig och drabba även längre norrut är för närvarande på spekulationsstadiet. Fladdermusforskare och kännare är dock väl medvetna om hotet mot Skandinavien, och prover från misstänkta fynd skickas nu för analys.

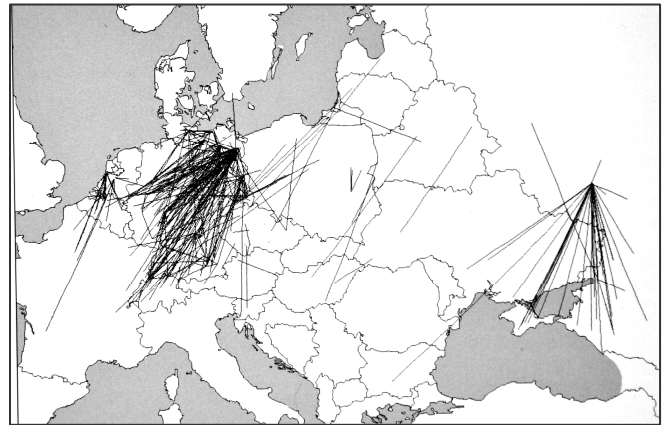


Fig 7. Migrationsmönster i Europa av Större brunfladdermus, *Nyctalus noctula*, genom ringmärkning. Eft. Hutterer R. et al. 2005

Bevarandeåtgärder

Förebyggande åtgärder för oavsiktlig spridning

Det finns idag ett antal dokument publicerade där man gått ut med rekommendationer av försiktighetsåtgärder att vidtagas för dem som har anknytning till övervintringsplatser. Framförallt för de som arbetar i grott- och gruvmiljö, och för dem som jobbar med fladdermusforskning. Det handlar bland annat om att försöka minska risken för spridning via mänsklig hand genom sterilisering av kläder och utrustning före och efter besök på övervintringsplatser, samt rapportering för snabb kartläggning och eventuell begränsning av tillgängligheten för besökare.

Bat Conservation Trust, UK, (2009/10) rekommenderar:

- Inte röra döda eller misstänkt smittade fladdermöss
- Rapportera snarast misstänkta fall till nationell nivå
- Anmäla onormalt beteende till myndigheter
- Undvika att vistas vid eller på övervintringsplatser
- Rengöring av all utrustning, kläder o dyl inkl transportmedel som kan ha kommit i kontakt med patogenet (enl t ex USFWS rekommendationer för sterilisering/dekontaminering).

Medicinering

Vissa läkemedel mot Pd-liknande svamppatogener har prövats, men de kemoterapeutiska medel som hittills testats har inte visat någon signifikant minskning av den totala mortaliteten. Medicinering har visserligen påvisat positiva effekter mot dödligheten orsakade av svampen, men ett antal bieffekter man kunnat konstatera har i stället i sin tur orsakat dödsfall, vilket gjort att summan av antalet döda individer i försöken än så länge har blivit närmast plus minus noll mot hur WNS beräknats drabba. Mer forskning är dock att förvänta inom detta fält.

Möjligheter att använda nya biotekniker

Man vet att bakterier och andra mikrober förekommer i stor mängd på däggdjurs hud där de interagerar med varandra och med värddjuret och kan syntetisera både skadliga och patogenhämmande ämnen. Tidigare forskning på detta område har framförallt fokuserat på de negativa effekterna på värden. I modernare studier har man nu i stället försökt undersöka möjligheterna att använda de positiva egenskaper bakterier visat kunna tillföra (sk. Probiotiska bakterier). I en lovande amerikansk nyligen presenterad undersökning där man isolerat ett antal bakterier ur familjen *Pseudomonas*, som förekommer naturligt hos flera fladdermusarter, har man i laboratorie kunnat se att flera av dessa bakterier haft en tydligt hämmande effekt på tillväxten av *Pseudogymnoascus destructans* (Hoyt et al, 2015). Man menar i studien att närvaron av dessa bakterier mycket väl kan påverka sjukdomsförloppet positivt för såväl individer, populationer som arter av fladdermöss. Fältförsök med besprutning på infekterade lokaler för att öka koncentrationen av dessa förmodade probiotiska bakterier hos övervintrande fladdermöss kommer att utföras inom en snar framtid.

I dagarna uppmärksammades en annan studie där man använt bakterien *Rhodococcus rhodochrous* som indirekt inhibitor för svampinfektion av *Pd*. En bakterie som för närvarande används i människans tjänst vid fruktleverans då dess sekundära verkningar kan hämma svamptillväxt på bl.a. bananer. Mekanismen bakom denna effekt ligger i den förmåga bakterien har att producera ett lättflyktigt kolväte, (VOC, *volatile organic compound*) med vilket man exponerade ett antal fladdermöss under vinterdvala. I detta försök prövade man behandling av individer av arten *Myotis lucifugus* (little brown bat) med bekräftad WNS, och fick dem enligt uppgift symptomfria. Ett lyckat försök enligt forskarna där nu 75 kurerade individer rapporteras ha släppts tillbaka i Missouri, USA. Man säger dock att detta inte är ett bot, utan snarare en möjlighet att inhibera tillväxt och minska sjukdomsbildning och därmed fördröja effekterna av *Pd* (Cornelison et al, 2014; Miller, 2015).

Många svampinducerade sjukdomar är idag svårbemästrade, och medicinen har länge sökt vägar att kunna skapa vaccin för människor mot dessa ibland mycket allvarliga infektioner då detta länge varit ett stort problem. I ett samarbete mellan ett flertal Universitet i USA, visar man i en nyligen utförd studie på goda möjligheter att kunna skapa ett vaccin då man lyckats manipulera immunförsvaret hos laboratoriemöss att producera antigener genom att inducera ett ER-protein, *calnexin*, som hjälper T-celler att känna igen svamppatogener. Vid infektion börjar sedan värddjuret producera dessa specifika T-celler i stor mängd som kan bekämpa patogenet, och därmed skapa immunitet (Wüthrich et al, 2015). I studien prövade man bland annat effekten av proteinet som tillförts mössen mot infektion av *P. destructans* med mycket goda resultat.

Diskussion

Att patogenet *Pseudogymnoascus destructans* spridit sig till Nordamerika med ursprung i eller via Europa verkar nu vara en etablerad uppfattning och att det är människan som överfört smittan. Enligt Leopardi et al. (2015) verkar det i dagsläget rimligt att det kan finnas en immunitet hos de europeiska fladdermössen. Ett nära förestående hot mot skandinaviska populationer verkar därmed inte föreligga. Mer kunskap i frågan är dock önskvärd för att slutligen kunna fastställa detta förhållande och därmed skapa en bättre förståelse för sjukdomens vidare spridning och virulens.

De försiktighetsåtgärder som myndigheter presenterat för att minska risken för ytterligare spridning genom människans hand är viktiga, både i lokalt och regionalt hänseende. Det blir också därmed angeläget att nå ut med kunskap om dessa förhållningssätt till andra berörda myndigheter, men också till allmänheten. Detta ökar möjligheterna att undvika ytterligare introduktioner av patogenet. I Nordamerika där skadan redan skett, sprider djuren genom sin årliga migration nu på egen hand infektionen vidare över stora områden. Detta bör ge oss förståelse för hur även till synes ett fåtal men fatala antropogena aktiviteter kan få förödande konsekvenser.

De möjliga åtgärder som i dagsläget står till buds i form av nya biotekniker verkar lovande för att finna ett sätt att bromsa effekterna av WNS. Metoderna att genom probiotika hämma eller bota djuren från infektion kan förhoppningsvis vara en väg framåt. Om, eller hur snabbt, man kan sätta in dessa är dock inte avgjort då ytterligare forskning krävs. Innan man går vidare med att genomföra dessa insatser bör man överväga vilken effekt introducerandet av bakterier kan få för andra berörda organismer som sekundärt kan drabbas med eventuella följdverkningar för ekosystemen. Samtidigt är tiden en kritisk faktor, vilket också måste vägas in.

Ett möjligt vaccin för att skapa immunitet låter bra, men är en inte helt oproblematisk metod. Om man eventuellt kan skapa ett sådant mot infektionen är det definitivt ett steg framåt, men då det krävs att man hanterar och behandlar varje individ var för sig är metoden förmodligen inte ett effektivt sätt att stoppa sjukdomen i någon högre utsträckning. Möjligen skulle man kunna använda en sådan metod för en specifikt känslig eller hotad art, ett mindre antal individer eller extra utsatta populationer/kolonier till hjälp för överlevnad om hot om akut utrotning föreligger. Att risken för ett sådant scenario kan vara nära förestående är dock överhängande. I vilken omfattning de nya biotekniker man nu forskar på kommer att kunna användas i större skala återstår att se.

Om tillräckliga resurser ägnas kan forskningen ibland ta snabba kliv framåt för att genom ökad kunskap också finna bot mot sjukdomar. I detta fall är det dock en strid om tiden då WNS har potential att kunna fortsätta slå ut enorma mängder individer och därmed även kunna utrota både populationer och ett antal arter i en närstående framtid. Här finns nu en möjlighet att se om det genom riktade insatser går att utmanövrera och bromsa den ekologiska katastrof som försvinnandet av flera fladdermusarter skulle innebära. Hotet mot överlevnaden måste också sättas in i ett större sammanhang. Det pågår idag ett globalt massutdöende som anses vara orsakat av mänsklig aktivitet (Keesing, 2010). För att på sikt kunna rädda fladdermössen behöver människans agerande i stort förändras på ett flertal sätt. Av Rockström (2009) kallade för fundamentala resilienta systemgränser. Om vi besitter förmågan och viljan blir en fråga för den närmaste framtiden.

Referenser:

(kronologisk ordning)

Wibbelt, Gudrun, Puechmaille, Sebastien J., Ohlendorf, Ohlendorf Bernd, Mühldorfer Kristin, Thijs Bosch, Görföl Tamás, Passior Karsten, Kurth Andreas, Lacreman Daniel, Forget Frédéric. *Skin Lesions in European Hibernating Bats Associated with Geomyces destructans, the Etiologic Agent of White-Nose Syndrome*. PLoS One. Vol. 8, 2013

United States Fish and Wildlife Service, *White-Nose Syndrome*.

<http://www.fws.gov/southwest/es/arizona/Documents/SpeciesDocs/LLNB/WhiteNoseSyndrome.pdf> [hämtad 2015-06-09]

United States Geological Survey. *White-Nose Syndrome Threatens the Survival of Hibernating Bats in North America*. <https://www.fort.usgs.gov/science-feature/123> [hämtad 2015-06-07]

Hefferman Lindsey, Butchkoski Cal. 2015.

<https://www.whitenosesyndrome.org/resources/map> [hämtad 2015-06-01]

Boyles Justin G., Cryan Paul M., McCracken Gary F., Kunz Thomas H. *Economic Importance of Bats in Agriculture*. Science, April 2011: Vol. 332 nr. 6025 sid. 41-42

Leopardi Stefania, Blake Damer; Puechmaille Sebastien J. *White-Nose Syndrome fungus introduced from Europe to North America*. Current Biology Volume: 25 Issue:6. 2015

Whitenosesyndrome.org

<https://www.whitenosesyndrome.org/about/bats-affected-wns> [hämtad 2015-06-07]

Zukal Jan, Bandouchova Hana, Bartonicka Tomas, Berkova Hana, Brack Virgil, Brichta Jiri, Dolinay Matej., Jaron Kamil S, Kovacova Veronika, Kovarik Miroslav, Martinkova Natália, Ondracek Karel, Rehak Zdenek., Turner Gregory G, Jiri Pikula. *White-Nose Syndrome Fungus: A Generalist Pathogen of Hibernating Bats*. Plos One, 2014

Verant Michelle L., Boyles Justin G., Waldrep William Jr., Wibbelt Gudrun, Blehert David S. *Temperature-Dependent Growth of Geomyces destructans, the Fungus That Causes Bat White-Nose Syndrome*. Plos One, 2012.

Lorch Jeffrey M., Muller Laura K., Russell Robin E., O'Connor Michael, Lindner Daniel L., Blehert David S. *Distribution and Environmental Persistence of the Causative Agent of White-Nose Syndrome, Geomyces destructans, in Bat Hibernacula of the Eastern United States*. Applied and Environmental Microbiology February 2013: Vol. 79 nr. 4 sid. 1293–1301

Richardson Phil. *Bats*. Natural History Museum, London, 2011.

Dietz Christian, Helversen Otto, Nill Dietmar. *Bats of Britain, Europe & Northwest Africa*. A&C Black Publishers Ltd, London, 2011.

White-Nose Syndrome, Science strategy meeting, Albany, New York. *Questions, Observations, Hypotheses, Predictions, and Research Needs for Addressing Effects of White-Nose Syndrome (WNS) in Hibernating Bats*. <https://www.batcon.org/pdfs/WNSMtgRptFinal2.pdf> [hämtad 2015-06-01]

Bat Conservation Trust, United Kingdom, 2009/10. *White-nose Syndrome: Guidelines for Bat Workers and Cavers*.

http://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/news/WNS/UK_Guidance_for_bat_workers_and_cavers_2009_10.pdf [hämtad 2015-04-25]

Verant Michelle L., Meteyer Carol U., Speakman John R., Cryan Paul M., Lorch Jeffrey M. Blehert David S. *White-nose syndrome initiates a cascade of physiologic disturbances in the hibernating bat host*. BMC Physiology, 2014; 14:10

Cryan Paul M., Meteyer Carol U., Boyles Justin G., Blehert David S. *Wing pathology of white-nose syndrome in bats suggests life-threatening disruption of physiology*. BMC Biology, 2010. 8:135

Cryan Paul M., Meteyer Carol Blehert, Uphoff, David S., Lorch Jeffrey M., Reeder DeeAnn M., Turner Gregory G., Webb Julie, Behr Melissa, Verant Michelle, Russell Robin E., Castle Kevin T. *Electrolyte Depletion in White-nose Syndrome Bats*. Journal of Wildlife Diseases, 49(2), 2013: Sid. 398–402

United States Geological Survey; National Wildlife Health Center. *Winter 2014/2015 Bat Submission Reference Chart*. http://www.nwhc.usgs.gov/disease_information/white-nose_syndrome/USGS_NWHC_Bat_WNS_submission_protocol.pdf [hämtad 2015-06-09]

Puechmaille Sébastien J., Wibbelt Gudrun, Korn Vanessa, Fuller Hubert, Forget Frédéric, Mühlendorfer Kristin, Kurth Andreas, Bogdanowicz Wieslaw, Borel Christophe, Bosch Thijs, Cherezy Thomas, Drebet Mikhail, Görföl Tamás, Haarsma Anne-Jifke, Herhaus Frank, Hallart Guénael, Hammer Matthias, Jungmann Christian, Le Bris Yann, Lutsar Lauri, Masing Matti, Mulkens Bart, Passior Karsten, Starrach Martin, Wojtaszewski Andrzej, Zöphel Ulrich, Teeling Emma C. *Pan-European Distribution of White-Nose Syndrome Fungus (Geomyces destructans) Not Associated with Mass Mortality*. Plos One, 2011

Leopardi Stefania, Blake Damer; Puechmaille Sebastien J. *White-Nose Syndrome fungus introduced from Europe to North America*. Current Biology, 2015: Vol. 25 nr. 6,

Daszak Peter, Cunningham Andrew A., Hyatt Alex D. *Emerging Infectious Diseases of Wildlife-- Threats to Biodiversity and Human Health*. Science, 2000: Vol. 287 nr. 5452 sid. 443-449

Coghlan Andy. *Is a mutated fungus killing American bats?* New Scientist, 2011.

Hoyt Joseph R. , Cheng Tina L., Langwig Kate E., Hee Mallory M., Frick Winifred F., Kilpatrick A. Marm. *Growth of Pseudogymnoascus destructans, the Causative Agent of White-Nose Syndrome*. Plos One, apr. 2015

Cornelison Christopher T., Keel M. Kevin, Gabriel Kyle T., Barlament Courtney K., Tucker Trudy A., Pierce George E., Crow Sidney A. Jr. *A preliminary report on the contact-independent antagonism of Pseudogymnoascus destructans by Rhodococcus rhodochrous strain DAP96253*. BMC Microbiology, 2014. 14:246

Miller Matt, 2015. *Bananas to Bats: The Science Behind the First Bats Successfully Treated for White-Nose Syndrome*. <http://blog.nature.org/science/2015/05/27/bananas-to-bats-the-science-behind-the-first-bats-successfully-treated-for-white-nose-syndrome> [hämtad 2015-06-09]

Wüthrich Marcel, Brandhorst Tristan T., Sullivan Thomas D., Filutowicz Hanna, Sterkel Alana, Stewart Douglas, Li Mengyi, Lerksuthirat Tassanee, LeBert Vanessa, Shen Zu Ting, Ostroff Gary, Deepe George S., Yu Hung Jr., Chiung, Cole Garry, Walter Jennifer A., Jenkins Bruce Marc K. *Calnexin Induces Expansion of Antigen-Specific CD4+ T Cells that Confer Immunity to Fungal Ascomycetes via Conserved Epitopes*. Cell Host & Microbe, 2015: Vol. 17, sid. 452–465,

Keesing Felicia, Belden Lisa K., Daszak Peter, Dobson Andrew, Harve C. Drew, Holt Robert D., Hudson Peter, Jolles Anna, Jones Kate E., Mitchell Charles E., Myers Samuel S., Bogich Tiffany, Ostfeld Richard S. *Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases*. Nature, 2010: Vol. 468

Rockström Johan, 2009

<http://www.stockholmresilience.org/download/18.1fe8f33123572b59ab800018152/Rapport+fr%C3%A5n+Johan+R> [Hämtad 2015-06-06]

Appendix

Bekräftat drabbade arter:

(I Sverige även förekommande arter inom parentes med svenskt namn)

Nordamerika

Drabbade av WNS:

- *Eptesicus fuscus*
- *Myotis leibii*
- *Myotis grisescens*
- *Myotis sodalis*
- *Myotis lucifugus*
- *Myotis septentrionalis*
- *Perimyotis subflavus*

Infekterade med *P. destructans* utan övriga symptom:

- *Lasiurus borealis*
- *Myotis austroriparius*
- *Lasionycteris noctivagans*
- *Corynorhinus rafinesquii*
- *Corynorhinus townsendii virginianus*

Europa

Drabbade av WNS:

- *Myotis myotis* (Större musöra)
- *Myotis daubentonii* (Vattenfladdermus)
- *Myotis bechsteinii* (Bechsteins fladdermus)
- *Myotis nattereri* (Fransfladdermus)
- *Myotis brandtii* (Taigafladdermus)
- *Myotis emarginatus*
- *Myotis dasycneme* (Dammfladdermus)
- *Eptesicus nilssonii* (Nordfladdermus)
- *Barbastellus barbastellus* (Barbastell)
- *Plecotus auritus* (Brunlångöra)
- *Rhinolophus hipposideros*

Infekterade med *P. destructans* utan övriga symptom:

- *Myotis mystacinus* (Mustaschfladdermus)
- *Myotis oxygnathus*