

KÖPEKBALIKLARINDA ELEKTRİKSEL ALGILAMA

Var olduğundan bu yana en fazla ilgi çeken hayvanlar grubunda olan köpekbalıkları günümüzde de bu özelliklerini devam ettiriyorlar. Torpidoya benzeyen vücut yapıları, parçalamaya uygun dişleri ve ağız yapısı, tarih öncesi bir canlı görünümü, bu ilginin nedenlerinden bazıları. Yeryüzünde 350 milyon yıldan bu yana yaşamlarını devam ettiriyorlar. Soylarını günümüze kadar devam ettirebilmelerinin nedeni belki de avlanma becerileri. Bu becerileri eskiden bu yana biliminsanlarının dikkatini çekti ve hâlâ da çekmeye devam ediyor...

Geçtiğimiz aylarda Scientific American dergisinde, köpekbalıklarının elektriksel algılamalarıyla ilgili bir araştırma yazısı yayımlandı. Ulusal Sağlık Enstitüsü'nde (ABD) Nörobiyolog olarak çalışan Dr. R. Douglas Fields ve Melanie Fields tarafından yapılan araştırmada köpekbalıklarının elektriksel algılamalarının biyolojik temelleri ayrıntılı olarak ortaya çıkarıldı. Ancak, araştırmacılar daha önce yapılan araştırmalarla birlikte bu araştırmanın da köpekbalıklarının yaşamsal

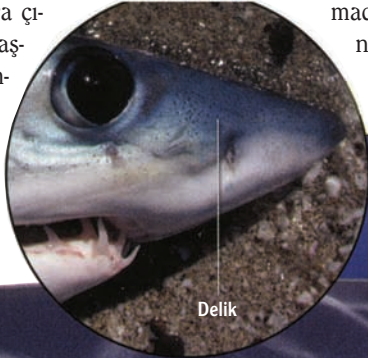
özelliklerini belirlemek için başlangıç olduğunu özellikle belirtiyorlar.

Biliminsanları, 1970'lere kadar köpekbalıklarının zayıf elektrik alanlarını algılayabildiklerini bile tahmin etmiyorlardı. Bugünse, böyle bir elektriksel algılamayla köpekbalıklarının besinlerini kolayca buldukları biliniyor. Hatta beş duyunun hepsinin birden kullanılmadığı karanlık bölgelerde, bulanık yerlerde ve bir av kumun altına sakladığında, bu duyu

işe yarayabiliyor. Bundan dolayı da araştırmacılar tarafından bu özellik "6. his" olarak da adlandırılıyor.

Gizli Duyunun Öyküsü

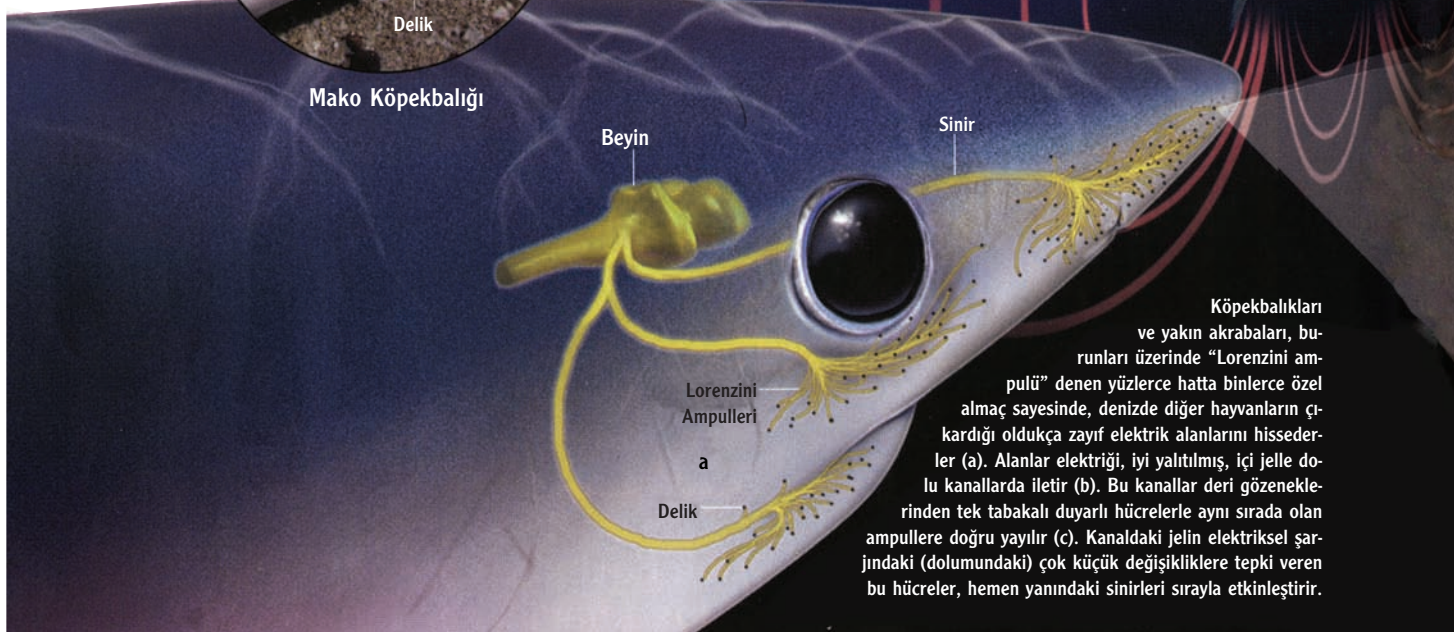
Elektriksel algılamamanın öyküsü 1678'de, İtalyan anatomist Stefano Lorenzini'nin köpekbalıkları ve vatozların başlarının ön kısmındaki beneksi delikleri açıklamasıyla başladı. Lorenzini, bu deliklerin köpekbalığının ağız çevresinde yoğunlaştığını ve kristalsi ve je-



Delik

Mako Köpekbalığı

Etkinlik Sırasındaki Elektriksel Algı



Köpekbalıkları ve yakın akrabaları, burnları üzerinde "Lorenzini ampulü" denen yüzlerce hatta binlerce özel almaç sayesinde, denizde diğer hayvanların çıkardığı oldukça zayıf elektrik alanlarını hissederler (a). Alanlar elektriği, iyi yalıtılmış, içi jelle dolu kanallarda iletir (b). Bu kanallar deri gözeneklerinden tek tabakalı duyarlı hücrelerle aynı sırada olan ampullere doğru yayılır (c). Kanaldaki jelin elektriksel şarjındaki (dolumundaki) çok küçük değişikliklere tepki veren bu hücreler, hemen yanındaki sinirleri sırayla etkinleştirir.

limsi bir maddeyle dolu, uzun saydam bir tüpe doğru açıldığını buldu. Tüplerin bazıları küçük ve hassas, bazıları da bir çubuk makarna kalınlığında ve birkaç santimetre uzunluğunda. Lorenzini, başın iç kısımlarında bu tüplerin denizanası büyüklüğünde bir kitlede birleştiğini buldu. Önce bu deliklerin balığın vücudundaki sümüksü yapının kaynağı olduğunu tahmin eden araştırmacı, sonra bu deliklerin farklı bir görevi olabileceğini öne sürdü. Yine de, yüzyıllarca bu deliklerin asıl işlevi açıklanamadı.

Deliklerin işlevi, 19. yüzyılın ortalarında balıklarda bulunan yanal çizginin görevleriyle ilgili bilgiler toplanmaya başlanınca açıklık kazanmaya başladı. Balıklarda bulunan yanal çizgi, solungaçlardan kuyruğa kadar uzanan ve bazı türlerde dışarıdan bakıldığında görülebilen bir organ olup, sudaki değişimlerin algılanmasını sağlayarak bulanık sularda yön bulunmasını sağlar. 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde köpekbalığının burundaki deliklerin ve onların altında yer alan yapıların bir tür algılayıcı organ olduğu bulundu. Köpekbalıklarının baş kısmındaki saydam tüplerden bahsetmiştik. Bu tüpler, ampule benzeyen bir organa bağlı durumda. Bu organdan da beyne giden sinirler var. Bu kadar bilgiye ulaşılmasına karşın araştırmacılar hala bu organların tam görevini tanımlamıyorlardı.

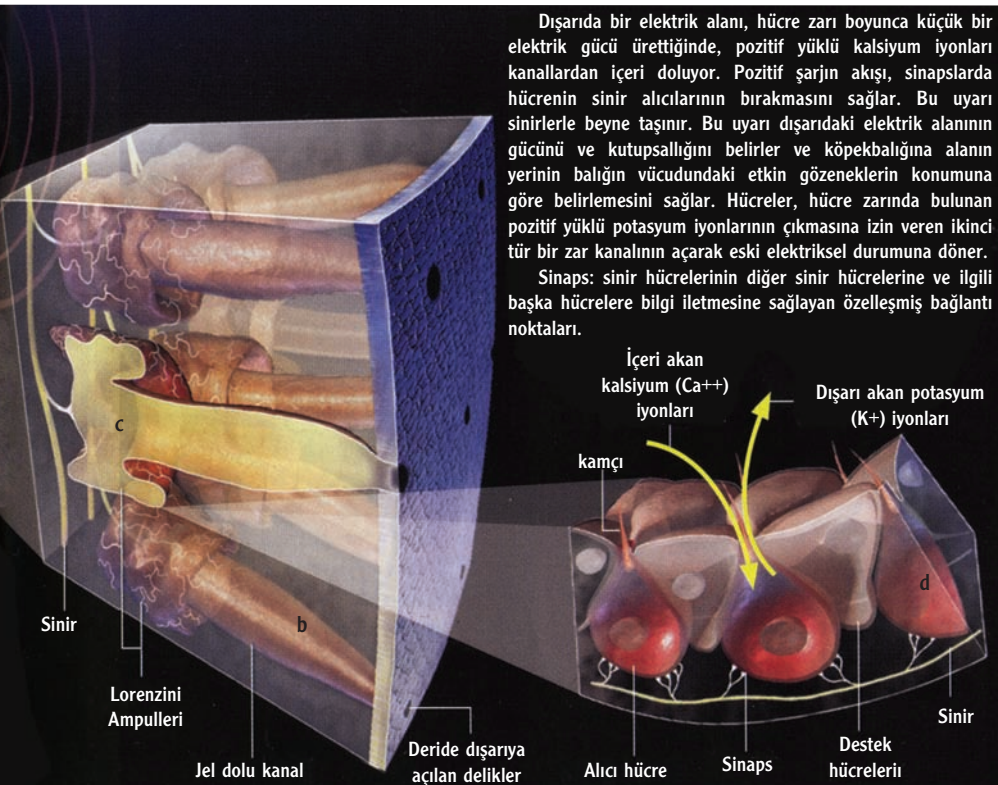


Denizde bir santimetrelilik mesafede bir voltun milyonda biri bir köpekbalığı tarafından fark edilebilir. Bu, bir kutbu Long Island Sound'a (New York), diğer kutbu da Fla, Jacksonville (Florida) (yaklaşık 2000 km) sularına batırılan 1.5 voltluk bir AA bataryaya bağlanarak denizde üretilen voltaj eğiminin yoğunluğuna eşittir.

Elektriksel Algının Doğrulanması

1909'da Harvard Üniversitesi'nden biyolog G. H. Parker, dokunma duyularını ayırmak için bir kedibalığının (bir köpekbalığı türü) derisini ampulümsü yapılardan ayırdı. Geride kalan tüplere yumuşakça dokunduğunda balığın hiçbir şekilde tepki vermediğini gördü. Bu

gözlem sonucu organların su hareketini ya da su basıncını algılayabileceğini düşündü; ama emin olamadı. 1938'de Plymouth Deniz Biyolojisi Araştırma Kurumu'nda (İngiltere) araştırmacı Alexander Sand, Lorenzini'nin beyne giden ampullerinden yola çıkarak sinirsel uyarıları kaydetmeyi başardı. Sand de, Parker gibi, organların dokunma ya da basınca tepki verdiğini kaydetti. Ayrıca, ampulün sıcaklık değişimlerine karşı da çok duyarlı olduğunu, 0.2 °C kadar küçük değişiklikleri bile algılayabildiğini ortaya koydular. 1960'ların başında Birmingham Üniversitesi'nden (İngiltere) biyolog R. W. Murray, Sand'in deneylerini modern elektro-fizyolojik araçlarla tekrarladı ve ampulün ısı değişikliklerine, basınç değişikliklerine ve dokunmaya olan tepkileri doğruladı. Ek olarak organların tuzluluk oranındaki küçük değişikliklere karşı da duyarlı olduklarını gözlemledi. Üstelik ampule bağlı olan tüpün açıklığı yakınındaki bir elektrik alanının, ölçme aletlerinde görülen atım sayısını (impuls) değiştirdiğini gördü. Ayrıca, bu alanın yoğunluğu ve kutbuna göre de atım sayısı değişiyordu. Alanın + (artı) kutbu ampulün açıklığına yaklaştırıldığında atım sayısı azalmakta; - (eksi) kutup yaklaştırıldığında artmaktaydı. Murray, organların deniz suyunun bir santimetre üzerine uygulanan, bir voltun milyonda biri kadar zayıf alanlara da tepki verebildiğini buldu. Bu etki, bir kutbu neredeyse ABD'nin



Dışarıda bir elektrik alanı, hücre zarı boyunca küçük bir elektrik gücü ürettiğinde, pozitif yüklü kalsiyum iyonları kanallardan içeri doluyor. Pozitif şarjın akışı, sinapslarda hücrenin sinir alıcılarının bırakmasını sağlar. Bu uyarı sinirlerle beyne taşınır. Bu uyarı dışarıdaki elektrik alanının gücünü ve kutupsallığını belirler ve köpekbalığına alanın yerinin balığın vücudundaki etkin gözeneklerin konumuna göre belirlemesini sağlar. Hücreler, hücre zarında bulunan pozitif yüklü potasyum iyonlarının çıkmasına izin veren ikinci tür bir zar kanalının açarak eski elektriksel durumuna döner. Sinaps: sinir hücrelerinin diğer sinir hücrelerine ve ilgili başka hücelere bilgi ilemesine sağlayan özelleşmiş bağlantı noktaları.

kuzeydoğu ucuna, bir kutbu da güneydeki Florida açıklarına (2000 km kadar) batırılan 1.5 voltluk bir kalem pile bağlanarak denizde üretilen voltajın şiddetine eşitti. Kuramsal olarak bu noktalar arasında yüzen bir köpekbalığı devrenin ne zaman açılıp kapandığını kolayca anlayabilir (Beyin tepkilerine ilişkin sonraki ölçümler köpekbalıklarının bir voltun 15 milyarda birini fark edebildiğini gösterdi). Başka hiçbir doku, organ ya da hayvanda elektriğe karşı böylesine hassas bir algılama yok. Doğrusu mühendisleri teknoloji ekipmanları kullanırsa bile bu kadar zayıf alanları ölçmede zorlanırlar.

Zayıf elektriksel alanları algılama yeteneği, balıklara doğal yaşamda çeşitli kazanımlar sağlar. Elektriksel algılama dışında elektrik üreten (biyoelektrik) balıklar da var. Bu türler, elektriği avlanmada ya da düşmandan korunmada kullanıyorlar. Amazon nehrinde yaşayan elektrikli yılanbalıkları en güçlü elektriği üretebilen bir tür. Ülkemizde de bulunan Torpedo'lar da elektrik üretebiliyorlar.

Ürettikleri bu elektrikle avlarını sersemletip avlıyorlar ya da kendilerine saldıran bir türe karşı kullanarak onun kafasının karışmasına neden olabiliyorlar. Cambridge Üniversitesi'nden zoolog H. W. Lissmann ve diğerleri 1950'lerde bu biyoelektriğin görevini araştırırken bunu üreten balığın kendi elektrik alanını da belirleyebildiğini keşfetti. Bunu sağlayan almaçlar (yumru elektrik algılayıcıları), Lorenzini ampullerinden çok farklıydı; uzun tüpler yoktu ve elektrik alanlarına o kadar hassas değildi. Yine de, o zaman için, araştırmacıların bu keşfi elektriksel algılamanın beş duyunun listesine eklenmesini sağladı. Zayıf elektrik organlarıyla beraber yumru elektrik algılayıcıları, çamurlu Amazon Nehri'nde dolaşmak ya da gece beslenmek gibi işlerde son derece yararlı olan radara benzer bir sistemin yayıcı ve alıcısını oluşturmakta. Nesnelere yayılmış elektrik alanının şeklini bozduğu için yumru elektrik algılayıcıları da değişikliği belirleyip bu nesnelere yerini bulabilmekte. Bununla birlikte köpekbalıkları ve vatozlar elektrik alanlarını yaymak için gereken organlardan yoksundurlar. Araştırmacılar, çok hassas olan Lorenzini ampulünün çevrede doğal olarak bulunan zayıf elektrik alanlarını belirleyen (gece görüş dürbünlerine benzeyen) pasif bir "radar" sistemi olarak çalışabileceğini ortaya çıkardı. Peki, bu hayvanlar başka neyi algıyordu?

Büyük olasılıkla beyin dalgaları ve kalp kasılmaları gibi çok kısa, zayıf biyoelektrik biçimleri hissediyorlardı. Ancak, köpekbalıkları sadece saniyenin birkaç binde biri kadar süren elektrik atışlarını bulmada Lorenzini ampulünü kullanabiliyor gibi görünmüyordu. Aksine, bu organlar sadece elektrokimyasal piller tarafından oluşturulan elektrik alanları gibi yavaş değişen alanları hissetmeye uygundu.

Bu belirleme, vücuttaki tüm biyolojik hücreler yapısı sonucu pil gibi işlev görür. Tipik bir pil, net elek-

Av Sırasında Köpekbalığının Duyuları

Köpekbalıkları avlanma ve beslenme sırasında tüm duyularını kullanır; fakat avlanmanın farklı evrelerinde farklı duyu organları öncelikli çalışır.

1-) Potansiyel av uzak mesafedeyken koku ve duyma duyuları devreye girer; yaralı balık kan kokusu izi bırakacaktır ve telaş içinde çevrede kaçıran ses de çıkıyor olabilir.

1

Kulak
Beyin
Burun

2-) Ava yaklaşırken görme duyusu, tatma duyusu ve hareketten kaynaklanan suda yerini bulma becerisi (yanal çizgi duyusu olarak da bilinir) daha önemli olur.

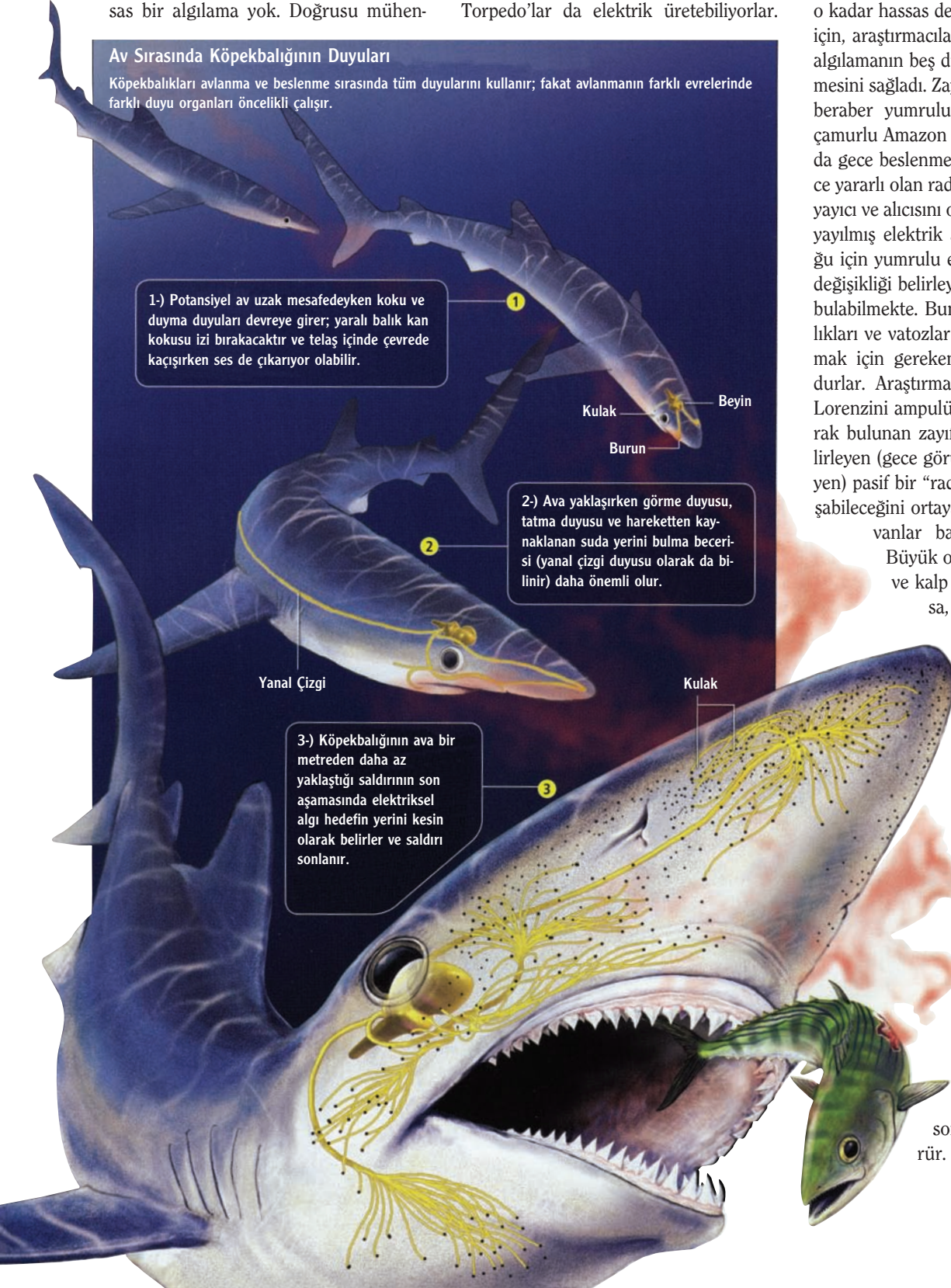
2

Yanal Çizgi

Kulak

3-) Köpekbalığının ava bir metreden daha az yaklaştığı saldırının son aşamasında elektriksel algı hedefin yerini kesin olarak belirler ve saldırı sonlanır.

3



Manyetik Uzaklaştırıcılar

(Amaç insanları değil, köpekbalıklarını kurtarmak)

Mucitler köpekbalıklarının elektriksel algılarını güçlü manyetiklerle şaşırtarak balık ağlarından ve belki yüzen insanlardan uzak tutma yönünde çalışmalar yapıyor. Araştırmacı ve girişimci olan Samuel Gruber, Eric Stroud ve Mike Herrmann bu fikrin, köpekbalığının manyetik alanından geçerken bir voltaj çıkararak onların elektriksel algılayıcılarını karıştırmayı amaçladığını

söylüyorlar. Gruber, "amaç insanları değil, köpekbalıklarını kurtarmak." diyor. Ayrıca, bu tür cihazların ağlara konulduğunda, bir gecede balıkçılar tarafından yakalanan 50 bin köpekbalığının kurtulabileceğini de belirtiyor. Araştırmacılar, WWF'nin (Dünya Vahşiyaşam fonu) desteğiyle, güçlü bir manyetiği olan bir balık kancası geliştiriyorlar. İlk testler olumlu. Ancak, bunların okyanusta köpekbalığının davranışını nasıl etkilediği bilinmiyor. Bununla birlikte, elektriksel algıları becerileri olmayan balıkların da farkında olmadan kancaya takılma olasılığı da var.

trik yükleri farklı olan iki ayrı tuz çözeltisi elektrokimyasal pil gözesi içinde ayrıştığında voltaj üretir. Zit kutuplar birbirini çeker ve bu çekim hareketinin sonucu olarak bir elektrik akımı meydana gelir. Benzer şekilde, canlı hücreler de deniz suyundan ayrılan bir tuz içerir ve bu iç yüzeyde artan bir voltaja neden olur. Sonuç olarak deniz suyundaki bir balığın vücudu, çevresine bir elektrik alanı yayan zayıf bir pil gibi işler. Burada üretilen elektrik alanı balık solungaçları yoluyla suyu ittikçe yavaşça değişir.

1970'lerde Utrecht Üniversitesi'nde (Hollanda) biyolog Adrianus Kalmijn elektronik bir yükseltici kullanarak hayvanların denizde bioelektrik alanları ürettiğini gösterdi. Bu çok zayıf alanlar

zamanla biraz değişti (ya da hiç değişmedi) ve bu değişikliğin belirlenmesinde Lorenzini'nin elektrik ampulü etkili oldu. Kalmijn ayrıca tutsak bir köpekbalığının akvaryum kumuna saklanmış elektrotları, (eğer elektrotlar balığın tipik avının ürettiği gibi elektrik alanı yayıyorsa) bulup saldırdığını gösterdi.

Vahşi Yaşamda Elektriksel Algı

Vahşi yaşamda elektriksel algılamaya ilgili araştırma oldukça zor. Kontrolü laboratuvar koşullarında bile elektriksel uyarılara karşı nasıl tepki verdikleri, Lorenzini ampulünü kullanıp kul-

lanmadıklarını belirlemek zor. Herhangi bir nesneden bile köpekbalıklarının algılayabileceği bir elektriksel uyarı ortaya çıkabilir. Fields ve arkadaşları, köpekbalıklarının bu algı becerisini doğada nasıl kullandıklarını incelemişler. Araştırmayı da güvertesinde delik olan fiberglas (metal olmayan) bir teknede yapmışlar. Araştırma için T şeklinde elektrot aparatları da geliştirmişler. Elektrik alanı üretebilen bu aparatları güvertedeki delikten aşağıya sarkıtmışlar. Ayrıca bir de köpekbalığının yiyebileceği ölü bir balığı da elektrotların yanına koymuşlar. Bir kişi elektrotları rasgele etkinleştirirken, başka biri köpekbalıklarının davranışlarını gözlemlemiş. İlk gözlemlerinde köpekbalığı koku yayan yiyeceğe yönelmiş, sonra birden kokuyu önemsemeyerek elektrik yayan elektrotu ısırılmış. Yaz boyu yaptıkları gözlemlerde de köpekbalıklarının elektrik alanı üreten aktif olmayan elektrotlara ve yiyecek kokusu kaynağına oranla daha çok saldırdıklarını belirlemişler.

Köpekbalıklarının elektriksel algıya, tat ve kokudan daha fazla ilgi göstermesi köpekbalıklarının insanlara olan saldırılarını da açıklayabilir. Köpekbalığı saldırısına uğrayan bir kişi, kendisini kurtarmaya çalışan bir başka yüzücüyle ilgilenmeyen balığın art arda yeni saldırıların hedef olmuş. Kan suya karıştığında görüntüyü bulandırsa bile kanda tuzun elektriksel uyarıları artırması köpekbalığına bir anlamda yol göstermiş de olur.

Köpekbalıkları avlanırken tüm duyarlarını kullanır; ancak, her birinin özel avantajları ve farklı hassaslıkları var. Koklama ve duyma avın yerini uzak mesafelerden belirlemek için işe yarar olabilir. Görme, yanal çizgi duyarları ve tat alma daha yakın mesafelerde işe yarar. Saldırının son aşamasında, köpekbalığı avına bir metre kadar yaklaştığında, elektriksel algı avın tam yerini bulmaya yarar.

Fields ve arkadaşlarına göre köpekbalıklarındaki elektriksel algılama avlanma amacı dışında da kullanılıyor olabilir. Bunu belirlemek içinde daha çok zaman ve araştırmaya gereksinim olduğunu düşünüyorlar.

Bülent Gözcelioğlu

Kaynaklar:
Fields D. R., The Shark's Electric Sense., Scientific American Magazine - August, 2007
<http://science.howstuffworks.com/shark2.htm>



Çok hassas elektrik alanı belirleyicileri, köpekbalıklarına hedefi tam isabet vermeye yardım ediyor...