

YANAL ÇİZGİ ORGANLARININ YAPISI VE FONKSİYONU (*)

Doç. Dr. Neclâ ÖZETİ

Ege Üniversitesi Sistematik Zooloji Kürsüsü

I — GİRİŞ

Bütün ilksel sucul omurgalılar (siklostom, balık ve amfibiler) derilerinde yanıl çizgi organları diye bilinen özel mekanoreseptör'lere maliktirler. Sistemin esas ünitesini «nöromast» adı verilen duyu organları teşkil eder. Bu his organları, embriyoda «lateral plakod» denen temporal bölgenin bir ektodermal kalınlaşmasından başlayarak hayvanların baş ve gövdelerinde belli çizgiler boyunca gelişirler. Aynı plakod'un merkezi kısmından labirintin his organları hasıl olur. Her i kişinin bu müşterek orijini ve iç kulak nihayetindeki (labirent içindeki) organların ve tam gelişmiş nöromast'ların çeşitli esas yapısal benzerlikleri bunların *akustiko-lateralis sistem* olarak kabul edilmesini icap ettirir. Diğer taraftan sürüngen, kuş ve memeliler gibi yüksek omurgalılarda yanıl çizgi organları tamamen kaybolmuş tur; çünkü bunların fonksiyonu sucul ortama inhisar eder. Bu hayvanlarda labirent içindeki his organlarının farklı biyolojik vazifeleri vardır.

Yanal çizgi organları, birçok biyologların özel ilgisini çekmiş olan organlardır. Gelişme ve yapı bakımından fazla çeşitlilik gösteren, kendine has özellikleri olan bu his organları çok sayıda morfolojik ve histolojik araştırmalara konu olmuştur. Ayrıca, organların yüzeysel veya hiç değilse yüzeye yakın bulunmaları ve sinirlerin kolay bulunabilme imkânından dolayı bu sistem fizyolojik araştırmalara da konu teşkil etmiştir.

Önceleri yanıl çizgi sisteminin fonksiyonunun mukus sekresyonu olduğu zannedilmişti. Daha sonra titreşimleri, sudan sinire geçiren bir duyu organı olduğu ileri sürüldü. Histolojik çalışmalardan sonra sistem hakkında daha fazla malûmat edinilmeğe başlandı. 1960 tan sonraki deneysel araştırmalar daha geniş olmuş ve bunlar neticesinde, aralarında fizyolojik ve anatomik bakımlardan farkları olduğu tesbit edilen iki grup yanıl çizgi organları oldukları anlaşılmıştır. Bir tarafta «basit yanıl çizgi organları» ile diğer tarafta daha özelleşmiş bir organ grubu olan ampul şeklindeki yanıl çizgi organlarıdır.

(*) Bu makale, Dijkstraaf (1963)'in derlemesi esas alınarak hazırlanmıştır.

Birinci grup; bütün *Siklostom*'larda, bazı balık ve sucul amfibi'lerde görülen serbest yüzeysel nöromast'lar ve pekçok balıklarda bulunan kanal organları'ndan ibarettir.

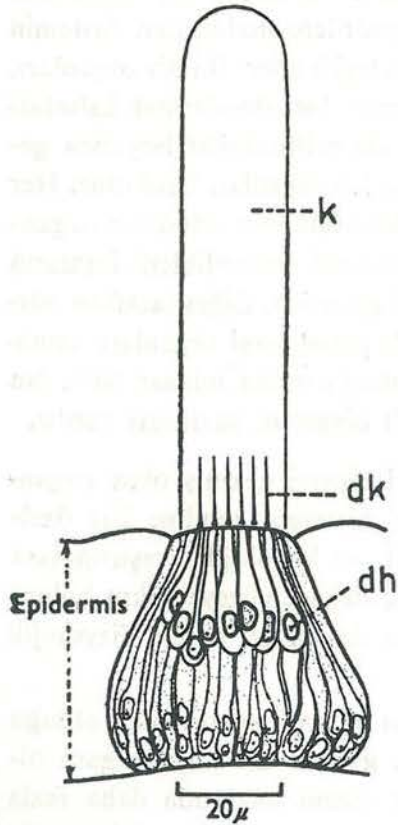
İkinci grup *elasmobranch*'ların başındaki Lorenzini ampulleri, *mormirid*'lerin mormiromast'ları, silurid'lerin küçük pit-organları'nı içine alır.

Burada sadece birinci grubu teşkil eden basit yanal çizgi organlarından bahsedilecektir.

II — YAPISI

Serbest nöromastlar :

Sistemin esas ünitesi, armut biçimindeki duyu hücreleri kümesinden ibaret olan yüzeysel nöromast'lardır (Şekil : 1). Bu duyu organı umumiyetle epidermiste

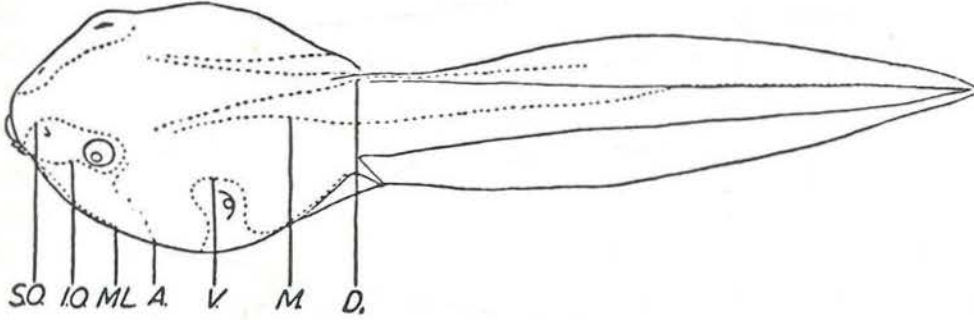


Şekil 1 : *Phoxinus*'ta süperfisiyel bir neuromast şeması. dh: duyu hücreleri; dk: duyu kılları; k: kupula. (Dijkgraaf'dan).

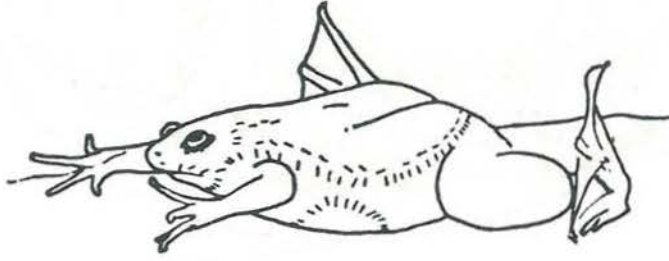
bulunur, bazan da kısmen dermis içine gömülüdür. Fakat hepsinde de organ hücrelerinin ince yapısı aynıdır. Farklı formlarda yapı bakımından çok az varyasyon görülür, esas hep aynıdır. Organın duyu hücreleri adeta birer topuz şeklinde olup kaidede geniş ve serbest, yüzeye doğru gittikçe incelik ve ince bir çıkıntı (duyu kıllı) ile nihayetlenir. Bu duyu hücreleri nöromast'ın merkezinde olup etraflarında destek hücreleriyle desteklenir. Duyu kılları, jelatinimsi bir madde olan kupa içinde bulunurlar.

Bu çeşit duyu organları (serbest nöromast'lar) baş ve gövdedeki çeşitli çizgiler boyunca belli bir düzende dağılmışlardır. *Siklostom*'lar, bazı kemikli balıklar ve bütün sucul amfibi'ler sadece bu çeşit serbest nöromast'lara maliktirler. (Şekil :2) de bu çeşit duyu organlarının bir amfibi larvasında dağılışı görülüyor. Ergin amfibi'de de aynı şekilde belli sıralar boyunca olup gövdedekiler gövdenin uzunlamasına eksenine ya paralel veya eğridir (Şekil : 3). Şekilde görülen küçük kısa çizgiler 10-12 nöromast'ın bir araya gelmesiyle meydana gelmiş sıralardır, fakat yine bu kısa sıralar da muntazam bir çizgi boyunca düzenlenmişlerdir. Bir balıkta ise nöromast'ların teşkil ettiği küçük sıralar çok ilginç olup birbirine dik açı yapacak

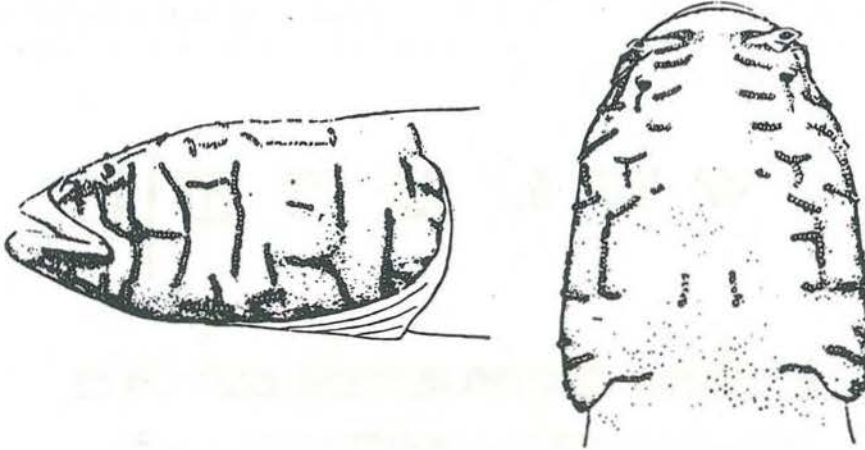
şekildedirler (Şekil : 4). Bazılarında da hem kanal organları hem de serbest nöromast'lar bir arada bulunur (Şekil : 5).



Şekil 2 : Bir kurbağa larvasında yanıl çizgi organlarının dağılımını gösteren şema. A: angular; D: dorsal; IO: infra-orbital; M: median; ML: mandibular; SQ: supra-orbital; V: ventral çizgi. (Wright'tan)

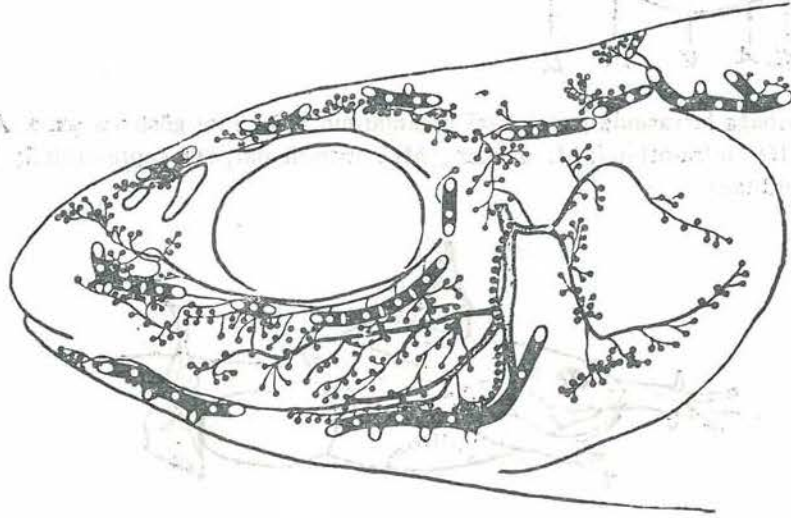
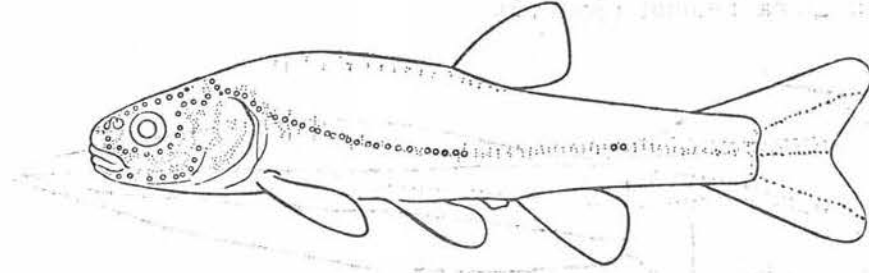


Şekil 3 : *Xenopus levis*'de yanıl çizgi organlarının tertibi. Her bir kısa çizgi 10-12 serbest nöromastı temsil eder. (Kramer'e göre; Dijkgraaf'dan).

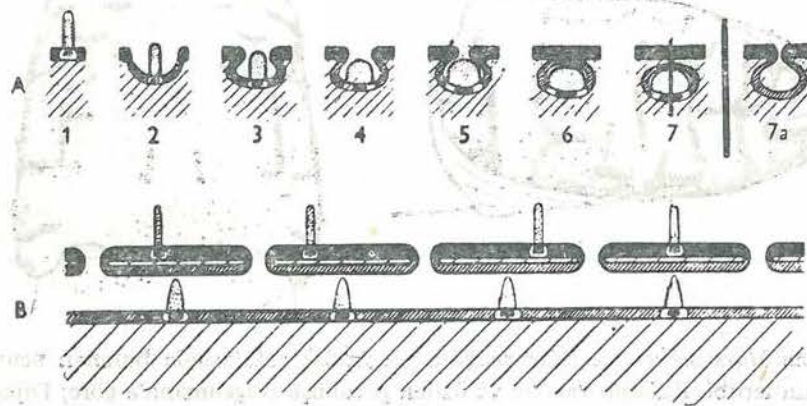


Şekil 4 : *Typhlichthys osborni*'de (Kör mağara balığında) kafatasında bulunan neuromast kabartmalarının tertibi. Kafanın yandan ve üstten görünüşü (Eigenmann'a göre; Dijkgraaf'dan).

Organın yüzeyi her zaman kendini çeviren deri ile aynı seviyede olmayıp az derin olan bir çukurluğun dibinde de olabilir. Fakat bu durumda da organ fonksiyonel bakımdan yüzeysel kalıp kupula suya açık olan tarafa uzanır.



Şekil 5 : *Phoxinus phoxinus*'da yanıl çizgi kanallarının redüksiyonu. Üstteki şekilde kanal porlarının tertibi (o) ile serbest neuromastlar (o); ve gövdedeki kanalın tam olmadığı görülüyor. Altta: büyütülmüş baş bölgesinde siyah kısımlar kanal kesitlerini, beyaz oval şekilli porlar ile beraber işaret ediyor; beyaz daireler kanal neuromastlarını, siyah yuvarlaklar serbest yanıl his organlarını gösteriyor. (Dijkgraaf'dan).



Şekil 6 : A-(1-7): Serbest neuromast'ın kanal organına geçişini gösteren şema; 7a: iki his organı arasındaki kanal kesitinde dışı açılan por görülüyor. B: 7 numarada işaret edildiği plânda uzunlamasına kanal kesiti (siyah yerler: epidermis; geniş çizgili kısım: sub-epidermal doku; noktali kısım: kupula). (Dijkgraaf'dan).

Kanal organları :

Balıkların çoğunda belli bir miktar serbest nöromast, kanalların içine geçer (Şekil : 6). Bu resimde yüzeysel nöromast'ın kanal organına geçişi görülüyor. Balıkların çoğunda yanal çizgi organları fasılalarla yüzeye açılan kapalı kanallar içindedir. Esas yapı yine aynıdır (kupula ve duyu kılları taşıyan duyu hücreleri kümesi ve destek hücrelerinden ibarettir, yalnız şekli biraz farklıdır). İlk defa *Lepidoleprus*'un kanal organlarındaki kupula nitelendirildi; bunu takip eden histolojik ve fizyolojik çalışmalarla kanal organları iyice incelenmiştir. Bazı türlerde başta bulunan kanallar ve onların duyu organları çok büyüktür. Örneğin *Acerina*'da olduğu gibi. Deri kaldırılırsa kemik içindeki geniş lateral kanallar görülür. Alt çenedeki kanal şöyledir: En dışta kemik bir duvar ve adeta oluk gibi bir kanal. Bu kanal, birbirlerinden dar kemik köprülerle ayrılan büyük yuvarlak bir serî pencere ihtiva eder. Her bir kemik köprünün altında oval şekilli kanal organı bulunur. Organın kupulası sivri olup köprünün altında kanal duvarına erişir. Derinin ince elastiki kısmı ile porlar örtülüdür.

Kanal içindeki organ sayısı ile kanalın dış ortamla irtibatını temin eden porların sayısı umumiyetle bir uygunluk gösterir. Fakat bazan kanal nöromast'ları çok daha fazla olabilir. *Lota lota* denen bir tatlı su balığında sistemin ekstrem uçları (kafa ve kuyruğa yakın yerdeki uçları) hariç kanallar tamamen kapalıdır.

Kanal içindeki nöromast'lar, kıvamı su gibi olan kanal endolenfi ile çevrilir.

Baş bölgesindeki yanal çizgi organlarının çoğu, beyin içine bir kök gibi giren VII. beyin sinir lifleriyle, diğer organlar (gövdedekiler) ise X. sinir lifleriyle mücehhezdir. Her iki kökün fibrilleri iç kulak labirent siniri olan VIII. sinir fibrilleriyle beyinde *medulla oblongata*'nın dorsolateral duvarında akustik tuber küllü denen müşterek bir merkezde birleşirler.

III — FONKSİYONLARI

Sistemin fonksiyonlarının ortaya konması farklı deneysel çalışmalarla olmuştur. Bunun için başlıca iki metod kullanılmış ve her ikisinde de mekanik ve termal uyarılar tatbik edilmiştir.

1. Davranış tecrübeleri: Şartlı yahut şartsız refleksler kullanılır, yani hayvanın reaksiyonları merkezi sinir sistemi yoluyla anlaşılır. Bu metod, lateral çizgilerin kısmen veya total eliminasyonudur; hangi uyarana karşı hayvanın bu his organı vasıtasıyla reaksiyon verebildiğini gösterir.

2. Elektrofizyolojik tecrübeler : Burada, ya sinir hücrelerinden gelen lokal gerilimler ile veya afferent sinir fibrilleri boyunca olan impulslar ile daha direkt çalışılır. Bu metod, reseptör organın fonksiyon tarzı üzerinde daha tesirli bir analize müsaade eder; fakat neticeler, tatbik edilen uyarının hayvanın reaktif davranışında hayvan tarafından kullanılıp kullanılmıyacağı hakkında herhangi bir delil vermeğe muktedir değildirler.

1. Davranış tecrübeleri

a. **M e k a n i k u y a r a n l a r :** Mikroskop altında suyun çok hafif hareketiyle kupulanın kımıldayıp, eğildiği ve kıvrıldığı görülerek yanal çizgi organlarının hayvanın vücuduna karşı olan su hareketleriyle ve ses dalgaları gibi su içinde yayılmış alçak frekanslı titreşimler ile uyartılmış olduğu neticesine varılmıştır.

Lokal su akıntıları :

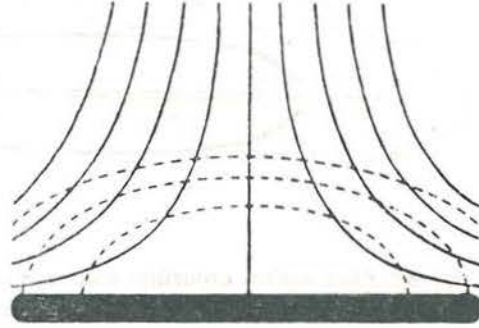
Esox lucius'ta gövde ve başa lokal olarak zayıf su akıntıları çarptığı zaman karakteristik yüzgeç hareketleri müşahede edilmiştir. Ramus lateralis vagi'nin tek taraflı izolasyonu ile gövdenin o tarafı hissiz olduğu halde diğer dokunulmamış tarafı önceden olduğu gibi hisli idi (karakteristik yüzgeç hareketlerini yapıyordu). Benzer neticeler, baştaki kanal organlarının tek taraflı katarizasyonu ile de elde edilmiştir. *Esox lucius*, gövde üzerinde yanal çizgi kanalı ihtiva etmeyip sadece serbest his organlarına malik olduğundan tecrübeler ile, hem kanal organlarının ve hem de yüzeysel serbest nöromast'ların akıntıya hassas reseptörler olduğu ispat edilmiştir. Nihayet körleştirilmiş *Esox lucius*'un bir tüp içinde yüzerken tübün duvarlarına dokunmadan yüzmesine devam ettiği müşahede edildi. Hayvanın yoluna 4 cm mesafeden bir cetvel tutulduğunda onu aşağı yukarı 0,5 — 1 cm mesafeden hissetmiştir. Baştaki kanal organları eğer katarize edilirse bu gibi sakınma ve korunmaları da yok olmuştur. Böylece, balığın mesafeyi lateral çizgilerle hissetmeğe muktedir olduğu neticesine varılmıştır.

Gözleri kör edilmiş balıklarda tecrübeler, ya besin ile veya herhangi bir şekilde ceza vermek suretiyle alıştıırılarak yapılır. Su içinde elle tutulan uygun şekildeki cam çubukların ucuna diskler tesbit edilir. Diskler kısa bir mesafede balığa yavaşça yaklaştırıldığında, eğer balığa daha önce besin ile bir alıştıırma yapılmış ise, hayvan diske doğru döner ve sanki yiyecek varmış gibi ağzını açma reaksiyonu gösterir; cezalanmağa alışmış bir balık ise diskten kaçma reaksiyonu verir. Reaksiyon mesafesi, kendine yaklaşan objenin büyüklüğüne ve balığa doğru olan su hareketinin hızına bağlı olduğu yine çeşitli tecrübelerden anlaşılmıştır.

Bir mesafeyle herhangi bir objenin karşısında bulunan bir balığın yanal çizgi organlarını ne çeşit mekanik bir etkenin uyarttığı suali ortaya çıkar. Su içinde hareketli olan her obje, kendi orijinal istikametinde akmayı muhafaza etmeğe meyli olan çalkantılı bir akıntı meydana getirir. Böyle akıntıların da hayvana ulaşır ulaşmaz yanal çizgileri uyaracağı aşikârdır. Hareketli bir obje, meselâ bir disk önünde iki olay müşahede edilir: Objenin anî hız değiştirmesiyle başlayan ses hızlı ile yayılmış basınç dalgaları (tatlı suda aşağı yukarı 1450 m/sn) ve hidrodinamik akım çizgileri.

Şekil 7 de, su içinde yukarı doğru hareket eden bir disk görülüyor. Bu diskin ön tarafında bir basınç artışı, arkasında da basınç eksikliği olur. Noktalı çizgiler

dışık önünde meydana gelen basınç dalgalarını, devamlı siyah çizgiler de merkezden yanlara doğru yayılan hidrodinamik akım çizgilerini verir. Burada biyolojik manada uyaran (hayvanda reaksiyon meydana getiren) bu akım çizgilerinin meydana getirdiği lokal su akıntıları (su-yer değişimleri) dir. Burada hareket eden objenin önündeki partiküller obje için bir yer yapmak zorunda kalacaklar ve aynı zamanda hareket eden obje ile, ileri doğru itilmiş olacaklardır. Bu şekilde meydana gelen su-yer değişiminin miktarı ve devam etmesi, objenin şekli, hızı ve büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin ince uzun bir cisim, yassı ve su yüzüne dik olan bir cisimden daha az su-yer değişimine sebep olur, yani daha zayıf bir su ceryanı meydana getirir.



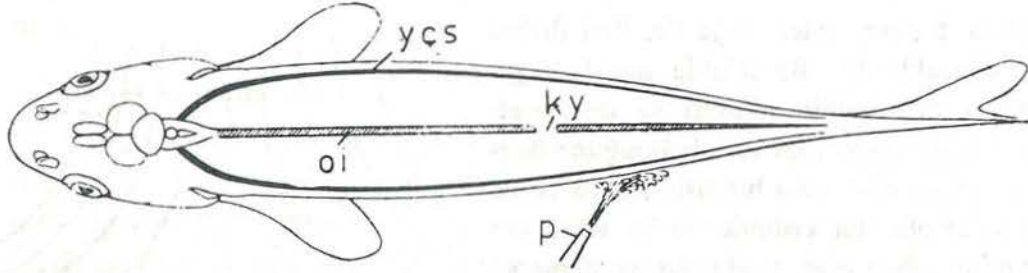
Şekil 7 : Su içinde yukarı doğru hareket eden bir disk ve önünde meydana gelen su-yer değişimlerini gösteren şema. (Prandtl'a göre Dijkgraaf'dan).

Tecrübeler göstermiştir ki ancak su içinde meydana gelen bu çeşit bir etken (lokal su ceryanları) yanal çizgi organlarını uyartabilir. Halbuki hareketli bir objenin meydana getirdiği ses dalgaları olarak kabul edilen alçak frekanslı titreşimler bu organları uyartmazlar. Bazı yazarlar yanal çizgilerin bu çeşit basınç dalgalarını hissetmede rolü olduklarını söylerlerse de farazyeleri kat'î delillere dayanmaz.

Yanal çizgi organlarının titreşim reseptorları veya işitme sisteminin daha basit bir şekli olarak gösterilmesinin uygun olmadığı delillerle gösterilmiştir. Normal bir *Fundulus*, titreşimleri saniyede 100-128 olan bir diyapozona reaksiyon gösterir. Balığın yanal çizgileri tamamen elimine edildiğinde yine bu diyapozona reaksiyon gösterir, hassasiyetinde hiç bir değişiklik olmaz. Halbuki yanal çizgileri sağlam olan bir *Fundulus*'un iki labirenti katarize edilir veya VIII. sinir bilateral olarak kesilirse reaksiyon olmaz. Yanal çizgiler sağlam olduğu halde diyapozona reaksiyon göstermemesi bu his organlarının işitme ile ilgili olmadığını gösterir.

b. T e r m a l u y a r a n l a r : Bazı yazarlar çeşitli ısılarla karşı balıkların hassasiyetini araştırdılar ve yanal çizgilerin ısı ayırımında rolü olduğunu ileri sürdüler. Halbuki diğer birçokları da bu his organlarının ısı ile bir ilişkisi olmadığını ispat ettiler. Bunu aydınlatan tecrübelerden biri şöyledir : Araştırmacı, körleştirilmiş *Phoxinus*'ların soğuk ve sıcak pipet fısıkiyelerini tefrik ettiğini gözledi. Öyle ki gövdeye doğru yöneltmiş bir sıcak su akıntısı balıkta «ağız açma reaksiyonu», soğuk su akıntısı ise «kaçma» reaksiyonu meydana getirdi. Şekil 8 de görüldüğü gibi omuriliğin anal açıklık seviyesinde enine kesilmesinden sonra, kesilme yerinin anterior bölgesindeki bir uyarma önce söylediğimiz cevaplara (sıcağa karşı ağız açma, soğuğa karşı kaçma reaksiyonlarına) sebep oldu; halbuki kesilme yerinin posteriorundaki bir uyarımda hiçbir cevap yoktu. Bunu şöyle

izah edebiliriz: Yanal çizgi ve onların sinirleri burada sağlamdır, o halde kesilme yerinin gerisindeki uyarılara neden cevap yok? Demek ki temperaturün hissedilmesi ve tefriki yanal çizgi reseptorlarına bağlı değil, spinal sinirlerin «kutaneus» uçlarına bağlıdır.



Şekil 8 : *Phoxinus*'un omuriliği anal açıklık hizasında kesilmiş ve yanal çizgi sinirlerine dokunulmamış durumunu üstten gösteren şema. ky: omuriliğin kesinti yeri; oi: omurilik; p: pipet (sıcak veya soğuk su fişkırtılan); yçs: yanal çizgi siniri. (Dijkgraaf'dan).

2. Elektrofizyolojik tecrübeler

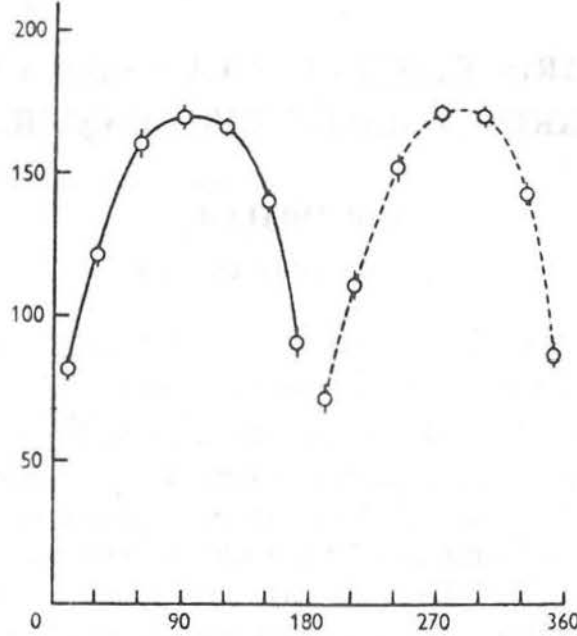
Yanal çizgi organlarının fonksiyonu, bu organların sinirlerindeki impuls'lar esasına göre de araştırılmıştır. *Amiurus*'un gövde yanal çizgi sinirinin devamlı spontan bir aktivite fazında olduğu gözlemlendi (Spontan terimi, herhangi bir dış tesir olmadan impulsların meydana geldiğini ifade eder). Dışardan yapılan bir etki ile spontan deşarjın hızı değiştirilir, ya artar veya azalır yahut tamamen inhibe edilir. Kupula içindeki duyu kıllarının devamlı çarpması ile duyu hücreleri uyarılır ve böylece sinirde müşahade edilen devamlı spontan deşarjdan bu duyu kılları sorumludurlar.

Davranış tecrübeleri gibi, elektrofizyolojik tecrübeler de lokal su akıntılarının yanal çizgi organlarını uyartan en etkili uyaranlar olduğunu göstermiştir. *Xenopus*'un yanal çizgi organları ile de benzer neticeler alınmıştır. Her bir nöromast kabartısı iki büyük lateralis fibril ile mücehhezdir. Her iki fibril de eşit hassasiyettedir. Bütün durumlarda, nöromast kabartısına dik istikametteki bir akış maksimal tesir hasil eder; halbuki paralel olan bir akıntının hiçbir tesiri yoktur (Şekil : 9).

Sistemin uyarılması

Hem serbest nöromast'larda hem de kanal organlarında uyarılma, kupulanın hareketi ile olur. Daha önce söylediğimiz gibi kupula su ile direkt olarak temastadır. Onun için hayvanın vücudunu çeviren suda meydana gelen herhangi bir su hareketi kupula kaidesi üzerinde, su akımının şiddetine uygun olarak, az veya çok bir kayma hareketi yapar. Böylece kupula içindeki kıllar ve dolayısıyla duyu hücreleri uyarılmış ve buraya gelen sinirlere de bu iş intikal etmiş olur.

Kanal organlarında da uyarılma aynı şekildedir. Fakat burada kupula indirekt yolla hareket eder. Önce dışardaki su hareketi porların cidarına bir basınç yapılarak kanal endolenfini hareket ettirmek zorundadır, hareket eden endolenf sayesinde de kupulalar kıvılcım olurlar.



Şekil 9 : *Xenopus*'un bir neuromast kabartısını innerve eden iki lateralis fibrilindeki cevapların (—ve---) aynı olduğunu gösteren bir grafik. Absis: neuromast'a gelen su akıntısının açısını, ordinat: saniyedeki impulsları verir. Her iki fibrilde de maksimal cevap 90° ve 270° (akıntı neuromast'a dik açı ile geldiğinde); minimal cevaplar ise 180° ve 360° lerde (su akıntısının paralel olduğunda) görülüyor. (Dijkgraaf'dan).

Gerek serbest nöromast'ta ve gerek kanal organlarında uyarılma, kupulanın kayması veya hareketi ile olduğu açıktır. Fakat kupulanın kayması veya hareketi ile duyu kıllarının ne şekilde deforme edildiği ve duyu kıllarının duyu hücrelerini nasıl uyararak üstlerinde depolarizasyon hasıl ettiği henüz bilinmemektedir.

ÖZET

Basit yanal çizgi organları bütün ilksel sucul omurgalılarda teşekkül eder. Davranış ve elektrofizyolojik tecrübeleriyle bu his organlarının faydası ve fonksiyonları tesbit edilmiştir. Kısa mesafeler dahilinde, su yer değişimleri gibi akıntılar ile uyarılarak, civarlarındaki hareket eden objeleri (örneğin: Düşman, sosyal eşler , av gibi) keşfetmek ve yerini tesbit etmek bu organların başlıca vazifeleridir.

BİBLİYOGRAFYA

1. DIJKGRAAF, S. (1963): The functioning and significance of the lateral-line organs. Biol. Rev. 38: 51-105.
2. WRIGHT, M. R. (1951): The lateral line system of sense organs. Quart. Rev. Biol. 26: 264-280.