

BÖLÜM 1

DUYU SİSTEMİNE GENEL BAKIŞ

Gül Şahika GÖKDEMİR¹

1. GİRİŞ

Duyusal sistem, çevreden gelen girdileri işlemekten sorumlu sinir sisteminin kısmıdır. Uyaranların merkezi sinir sistemine aktarılması yoluyla algılama ile başlayarak, periferik sinirler ve bunlarla ilişkili alıcılar hızla bilgi iletir. Periferik sinir sistemi, somatosensoriyel sinir sistemi ve otonom sinir sisteminden oluşur. Somatosensoriyel sistemin duyu yolu, dış çevre ile ilgili bilgileri omuriliğe ileten omurilik sinirlerini içerir. Otonom sinir sistemi, iç ortamı izlemekten ve homeostazi sürdürmek için efektör organlarda uygun değişiklikleri ortaya çıkarmaktan sorumlu olan viseral duyu nöronlarına sahiptir.

2. DUYULAR

İnsanlar çeşitli duyumları algılayabilir ve bu bilgilerle motor hareketimiz belirler. Duyum olasılığı, kimyasal veya fiziksel bir değişiklik, duyu nöronlarının alıcı uçlarını uyardığında ve duyu yollarındaki dürtü akışını değiştirdiğinde başlar. Duyum yoluyla dünyanın farkına varırız. Duygular, örneğin çevresel soğuk veya sıcak ve ağırlı iğne batması gibi belirtilerle vücut için koruyucu olabilir. Duyusal yollardaki dürtüler daha sonra acı, dokunma veya görme gibi duyu dediğimiz bir deneyime yol açar. Çocuğun yumuşak dokunuşundan bir boksörün acı veren yumruğuna kadar, tüm günlük aktiviteler duyumlarla çağrışımlar taşır (1).

Duyusal sinir sistemi, sinir sisteminde duyu bilgilerin işlenmesinden sorumlu olan parçasıdır. Duyu sistemi, duyu reseptörlerinden, duyu nöronlardan, nöral yollardan ve beynin duyu algıyla ilgili bölümlerinden oluşur. Yaygın olarak tanınan duyular, görme, işitme, dokunma, tat alma, koku alma ve denge duyularıdır. Organizmamız homeostaziyi sürdürmek; faaliyetleri zamanlamak ya da senkronize etmek, çevresel tehditleri algılamak ve yanıt vermek için bilgiye ihtiyaç duyar. Fiziksel dünyadan ve vücudun bütün hücrelerinin iç şartlarındaki değişimler hakkındaki bilgilerin iletildiği, yorumladığı ve çevremizdeki dünyaya ilişkin algımızı yarattığımız zihin alanına dönüştürücü sistemler duyu sistemleridir (2).

¹ Dr., Diyarbakır Çocuk Hastalıkları Hastanesi, Fizyoloji Bölümü, gulsahikagokdemir@gmail.com

Dokunma, hafif dokunuş veya derin dokunuş şeklinde olabilir; buradaki ayırt edici faktör, dokunma ile uyarılan reseptörün farklılığıdır. Uzun süreli oturma veya herhangi bir vücut parçası üzerinde baskı, baskı hissi olarak adlandırılabilir. Yüksek frekanslı titreşimlerin vücudumuz tarafından algılanması yürüyebilme-miz ve ince hareketler yapabilmemize olanak sağlar. Sıcak veya soğuk yerlere gi-rildiğinde veya ortam sıcaklığı değiştikçe termoreseptörler sayesinde sıcaklık kay-dedilir. Böylece çok yüksek veya çok düşük sıcaklıklara karşı koruma sağlanarak bu süre zarfında sinir sisteminin ağrıyı kaydetmesine olanak sağlanır. Yürümek veya hareket etmek için beyin, propriyosepsiyon yoluyla algılanan farklı eklem ve kasların konumunu bilmek zorundadır. Hepimiz acı hissinin farkındayız. Her ne kadar “olumsuz” bir algı olsa da hayati derecede önemlidir; ancak zararlı tepki-nin farkına vararak başlatıcı uyarıcıyı ortadan kaldırabilmemizde duyu sistemi ile mümkündür. Tüm bu duyular deri reseptörleri ile başlar ve omurilik nöronları aracılığıyla beyne iletilir (3).

Duyu sistemi tarafından işlenen bilgiler, uyarının bilinçli ya da bilinçsiz olarak algılanmasını sağlar. Herhangi bir uyarın, farkında olunsun ya da olunmasın duy-sal bilgidir. Visseral duyular vücudunun iç düzenlemesinde bilinçsiz olarak görev alırken uzayda ekstremitelerin pozisyonunun algılanmasında hem bilinçli hem de bilinçsiz komponentler yer alır. Duyular bilinçli olarak posterior kolon, bilinçsiz olarak da spinoserebellar yollar aracılığıyla taşınır. Bilinçli olarak taşınan ince ve kaba dokunma olarak ikiye ayrılır. İnce ayırt edici dokunma sistemi (pozisyon ve vibrasyon) medial lemniskal sistem üzerinden taşınırken kaba ayırt edici duyular-da (ağrı ve ısı) tractus spinothalamicus lateralisten taşınır (4,5).

3. DUYULARIN SINIFLANDIRMASI

1. Aristoteles beş temel duyuyu tanımlamıştır:
 - a. Görme
 - b. Duyma
 - c. Koku
 - d. Tat
 - e. Dokunma
2. Geleneksel tanımlamada özel ve genel duyular olarak sınıflandırılır. Özel du-yular görme, ses, tat, koku ve denge/dikeylidir. Gerisi genel duyumlardır. Du-yum ayrıca somatik veya visseral olarak sınıflandırılabilir.
3. Charles Sherrington (1857–1952), uyarının kaynağına ve aksonların reseptör uçlarının konumuna bağlı olarak, duyuları dış algılama, propriyosepsiyon ve iç algılama olarak sınıflandırmıştır.

a. Ekstroseptif: Aksonal uçları, dış vücut yüzeylerinin yakınında bulunur. Vücudun dış yüzeylerine çarpan uyarılara tepki verirler. Alıcı alan, bir alıcı organın ve alıcı hücrelerin yanıt verdiği vücut veya çevre alanıdır. Bu uyarılar görme, ses, koku, tat ve yüzeysel deri hissi üretir. Ekstroseptifduyumlar şunları içerir:

- i. Dokunmak
- ii. Yüzeysel ağrı
- iii. Hava sıcaklığı
- iv. Kaşıntı, gıdıklama ve ıslaklık

b. Proprioseptif: Aksonal uçlar vücut yüzeylerinin altında bulunur. Dermisin derinliklerinde, kaslarda, tendonlarda, bağlarda ve vestibüler labirentte bulunan reseptörlerden kaynaklanan uyarılara yanıt verirler. Büyük ölçüde, vücudun kendi üzerindeki hareketlerini ve yerçekimine yönelimini kaydederler. Proprioseptif duyumlar şunları içerir:

- i. Pozisyon
- ii. Hareket
- iii. Titreşim
- iv. Basınç, ağırlık veya gerginlik
- v. Derin ağrı (bazen proprioepsiyona dahildir)
- vi. Denge ve dikeylik (vestibüler yollar ve dorsal kolonlar aracılığıyla)

c. İnteroseptif: İç organlarda ve damarlarda bulunan interoseptör aksonal uçları, iç organların iç yüzeyleri üzerinde hareket eden veya iç organ duvarlarından kaynaklanan uyarılara yanıt verir:

- i. Viseral ve vasküler ağrı
- ii. İç organlarda dolgunluk veya şişkinlik hissi

4. Sherrington'ın sınıflandırması dışında çeşitli duysal sınıflandırmalarda duyu dört farklı şekilde tanımlanmıştır.

- i. Yüzeysel duyumlar: hafif dokunma, yüzeysel ağrı, ısı, yüzeysel basınç
- ii. Derin duyumlar: proprioepsiyon ve kinestezik duyumlar, eklem ve kas pozisyon hissi, derin basınç, derin ağrı;
- iii. Mix duyumlar: stereognazi, grafiestezi, barognazi iki nokta diskriminasyonu, vibrasyon, parmak tanıma, duysal lokalizasyon
- iv. Visseral duyumlar: iç organlardan yayılan ağrı, açlık, bulantı gibi duyumlardır (6-9).

4. DUYU RESEPTÖRLERİ

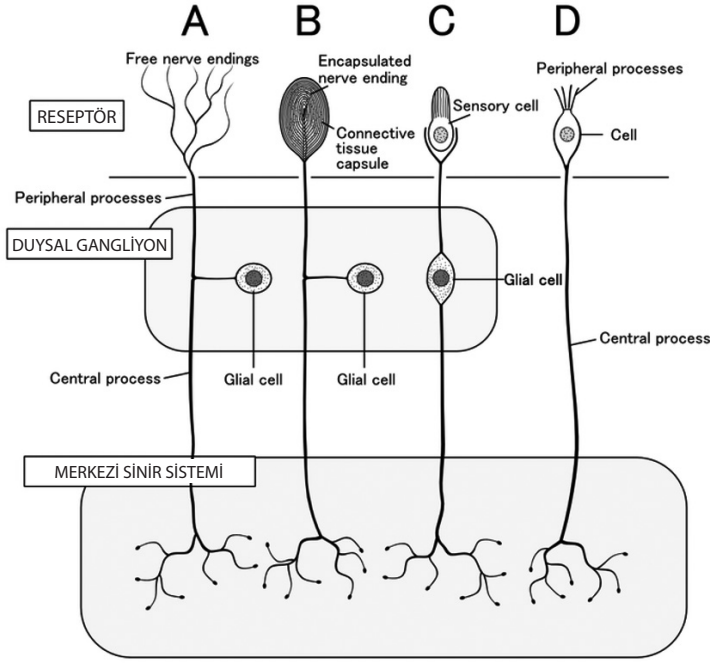
Duyusal reseptörler, gözler, kulaklar, burun ve ağız gibi özel organlarda ve ayrıca iç organlarda bulunurlar. Duyusal reseptörler vücudumuzda görme, işitme, tat alma, dokunma ve daha fazlasına aracılık eden sayısız işlevi yerine getirir. Şekil 1'de gösterildiği gibi her reseptör tipi, sonunda tek bir algısal çerçeveye entegre olmak için farklı bir duyu modalite taşır. Bu bilgi, enerjinin özel mekanizmalar tarafından elektrik sinyaline dönüştürülmesiyle elde edilir (10). Reseptörlerden gelen tüm uyarılar sinir sinyalleri olarak iletilir ve nihayetinde uyarıyı nasıl algıladığımızı belirleyen şey, sinir lifinin merkezi sinir sisteminde sonlandığı yerdir. Bir kişinin algıladığı şeyin alıcıya ve yolun başlangıcından sonuna kadar meydana gelen herhangi bir hasara bağlı olduğunu anlamak önemlidir (10,11).

Duyusal reseptörler, reseptörde bir yanıt oluşturan uyarın tipine göre sınıflandırılabilir. Genel olarak, duyu reseptörler dört birincil uyarandan birine yanıt verir:

- i. Kimyasallar (kemoreseptörler)
- ii. Sıcaklık (termoreseptörler)
- iii. Basınç (mekanoreseptörler)
- iv. Işık (fotoreseptörler)

Tüm duyu reseptörleri, ortamdaki değişiklikleri algılamak için bu dört uyarandan birini algılar, ancak belirli bir duyu işlevi gerçekleştirmek için her birinin belirli özelliklerini algılamak üzere ayarlanabilirler. Bazı durumlarda, bir reseptörün etki mekanizması açık değildir. Örneğin, nemdeki değişikliklere yanıt veren higroreseptörler ve sıvıların ozmolaritesine yanıt veren ozmoreseptörler bunu mekanik duyu bir mekanizma yoluyla yapabilir veya ortamın kimyasal bir özelliğini algılayabilir (12).

Duyusal reseptörler vücudumuzda sayısız işlevi yerine getirir. Görme sırasında çubuk ve koni fotoreseptörleri ışık yoğunluğuna ve renge tepki verir. İşitme sırasında, iç kulağın tüy hücrelerindeki mekanoreseptörler kulak zarından iletilen titreşimleri algılar. Tat alma sırasında, tat tomurcuklarımızdaki duyu nöronları, tatlılık, acılık, ekşilik, tuzluluk ve umami gibi gıdalarımızın kimyasal özelliklerini algılar. Koku alma sırasında, olfaktör alıcılar, yayılan kokuların moleküler özelliklerini tanıyabilir. Dokunma sırasında, derideki ve diğer dokulardaki mekanoreseptörler, basınçtaki değişikliklere tepki verirler (13). Özetle çevreden gelen uyarılar ile duyu sinir sistemi arasındaki ara yüzeyi duyu reseptörleri oluşturur.



Şekil 1. Duyusal reseptör sınıflarının bir şeması: Duyusal reseptör hücreleri, morfoloji, konum ve uyarın açısından farklılık gösterir (14).

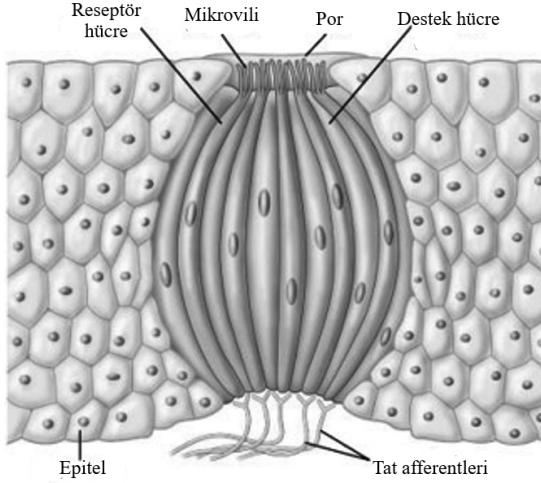
4.1. Kemoreseptörler

Kemosensör olarak da bilinen kemoreseptörler, biyolojik bir sinyal oluşturmak için kimyasal bir maddeyi ileten özel bir duyuşal reseptör hücresidir. Tat, koku ve nefes alma dahil olmak üzere farklı süreçleri kontrol etmeye yardımcı olan vücuda yayılmış birçok kemoreseptör türü vardır (15).

4.1.1. Tat Reseptörleri

Dildeki ve orofarenkadaki tat tomurcukları, yediklerimizden zevk almamıza ve bunları ayırt etmemize yardımcı olur. Farklı tatlar arasında tatlı, tuzlu, acı, umami ve ekşi bulunur. Bir tat tomurcuğı, uyarınların girebileceğı bir gözenek oluşturmak için bir uçta uzayan bir tat hücreleri topluluğudur. Şekil 2'de gösterildiğı gibi bu uzamalar boyunca ağız lümenine doğru çıkıntı yapan mikrovilluslar bulunur. Tat hücrelerinin diğere tarafında, kimyasal tat mesajını beyne iletecek olan sinir lifleri vardır (Şekil 2) (16).

TAT RESEPTÖR HÜCRESİ



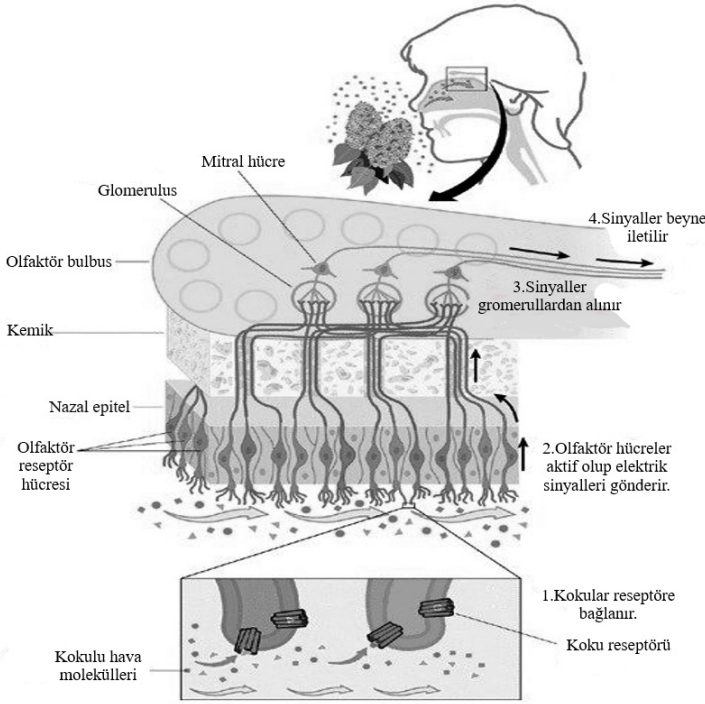
Şekil 2. Tat reseptör hücresi. İnsan ağız boşluğunda (dil, farinks, epiglot, özofagus) yaklaşık 4000 tat tomurcuğu bulunur (17).

Çoğu sinir dokusunda olduğu gibi, uyarıların reseptöre bağlanmasıyla, reseptör depolarize olur ve postsinaptik hücrenin mesajı alması ve ilemesi için bir nörotransmitter bırakır. İlginç bir şekilde, daha yüksek konsantrasyonlar daha yüksek aksiyon potansiyelleri yaratır. Her bir reseptöre bağlanan uyarı, her zevke göre değişir. Tatlı, umami ve acı tatlar, G-protein kenetli reseptörler tarafından algılanır. Bu reseptörler, reseptör kompleksi üzerindeki farklı alanlara bağlanarak çok çeşitli maddeleri tanıyabilir ve ayırtabilir. Hem sakkaritler hem de proteinler tatlı hisleri tetikler. İnsanlarda mono sodyum glutamat ve aspartat çoğunlukla umami tatlarını tetikler. Acı tatların çoğunun toksik çevresel bileşiklerden geldiği düşünüldüğünden, bu alıcılar çok çeşitli uyarıların tanıyabilir. Sodyum tuzlu tat için uyarıcıdır ve protonlar ekşi tatlar için uyarıcıdır. Bu uyarıların iyon kanallarının açılmasına neden olarak depolarizasyona ve sinir sinyallerine yol açar. Her tat tomurcuğu çeşitli tipte tat hücrelerine sahiptir ve hangi tadın daha güçlü algılandığını belirlemek konsantrasyona bağlıdır. Alıcı bir sinyal ile ilk karşılaştığında, deşarjda keskin bir artış gösterir, ancak daha sonra uyarıya sürekli maruz kalma ile istikrarlı bir şekilde alışır. Ancak tükürük sürekli olarak uyarıların reseptörlerden uzaklaştırır. Bu sinyaller için son varış yeri, birincil tat alma korteksindedir (18).

4.1.2. Koku reseptörleri

Koku, koku moleküllerinin silia zarındaki reseptörlere bağlanmasıyla oluşur ve bu bilgiyi beyne gönderen bir aksiyon potansiyeline neden olur. Bu sistemler, adeni-

latsiklaz ile birlikte G-protein reseptörlerini kullanır. Başlangıçta bilim adamları, moleküllerin doğrudan reseptörlere bağlandığına ve her bir reseptörün potansiyel olarak belirli bir koku tipini tanımladığına inanıyorlardı. Hidrojen ve izotopunun tamamen farklı kokular olarak algılanması “molekül titreşim modeli” adı verilen bir varsayım ile ilişkilendirilir. Bir madde reseptörüne bağlandığında, substrat elektronların gradyanlarından aşağı inmesine izin verir ve spesifik titreşim enerjileri aracılığıyla bir kimyasal değişiklik akışına ve ardından beyne sinyal gönderilmesine neden olur (13).



Şekil 3. İnsan koku alma sistemi. Koku alıcıları, burun epitelinin üst kısmında küçük bir alanı kaplayan koku alma duyu nöronlarında lokalizedir. Her olfaktör reseptör hücreleri yalnızca bir koku reseptörü ifade eder. Aktivasyon üzerine, olfaktör reseptör hücrelerinden gelen sinyaller, olfaktör ampulün iyi tanımlanmış mikro bölgeleri olan glomerullarda iletilir. Aynı tipteki reseptör hücreler nazal mukozada rastgele dağılır ancak aynı glomerulusta birleşir. Glomerülde, alıcı sinir uçları, sinyali beynin daha yüksek bölgelerine ileten mitral hücreleri uyarır (19).

Olfaksiyon, ortamda aerosol haline gelen kokulu maddelerin algılanmasından kaynaklanan koku duyusudur. İnsanlar koku alma sisteminin bileşenleri aracılığıyla kokuları algılayabilirler. Bu sistem Şekil 3'te de gösterildiği gibi olfaktör epitel, olfaktör sinirler, olfaktör bulb ve trakt ve olfaktör korteksin çeşitli alanlarından oluşur. Koku alma siniri, korteksle doğrudan bağlantısı olması ve tala-

musu atlaması bakımından benzersizdir, diğer özel duyuyla ilgili aksonlar ise talamusta geçiş yapar. Koku alma sinirleri de olağandışıdır, çünkü yaşam boyunca sürekli olarak bazal kök hücrelerin farklılaşmasıyla değiştirilirler (20).

4.1.3. Periferik kemoreseptörler

Periferik kemoreseptörler, (karotis ve aortik cisimleri) kimyasal konsantrasyonlardaki değişiklikleri tespit ettikleri periferik sinir sisteminin kan damarlarına uzanan duyu uzantıları oldukları için bu şekilde adlandırılmıştır (21). Karotis ve aortik cisimler vücudun iç organlarındaki değişiklikleri tespit ettikleri için interseptör olarak da kabul edilirler (22).

Periferik kemoreseptörler (karotis ve aortik cisimler) arteriyel kan oksijenindeki değişiklikleri tespit ederek ve kardiyorespiratuar sistemde homeostazın sürdürülmesi için önemli olan refleksleri başlatır (23). Bu periferik kemoreseptörler, düşük oksijen (hipoksi), yüksek karbon dioksit (hiperkapni) ve düşük glikoz (hipoglisemi) dahil olmak üzere bir dizi kan özelliğindeki değişikliklere yanıt verir (24). Hipoksi ve hiperkapni, periferik kemoreseptörler tarafından tespit edilen en yoğun olarak çalışılan ve anlaşılan durumlardır. Karotis cisimleri, insanlarda hipoksik solunum uyarımı ortaya çıkarmak için önemlidir. Karotis cisimlerinin yokluğunda, aortik cisimlerin ve diğer kemoreseptörlerin telafi edici yukarı regülasyonu, hipoksik solunum tepkisine katkıda bulunur. Periferik kemoreseptörler, yüksek irtifada havalandırma iklimlendirmesi için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, özellikle submaksimal ve ağır egzersizde, egzersize bağlı hiperventilasyona kısmen katkıda bulunurlar. Hamilelik sırasında, muhtemelen östrojen ve progesteronun kemoreseptörler üzerindeki etkileri nedeniyle hipoksik solunum duyarlılığı artar. Arttırılmış periferik kemoreseptörler, tekrarlayan apnelerin, konjestif kalp yetmezliğinin ve belirli hipertansiyon biçimlerinin erken evrelerinde rol oynar. Kemoreseptörlerin oksijen homeostazını sürdürme eğiliminde olması ve bu hastalıklarla ilişkili morbiditenin ilerlemesini önlemek için bir savunma mekanizması olarak hareket etmesi muhtemeldir. Afferent sinirler, karotis ve aort cisimlerinden gelen sinyalleri beyin sapına taşır ve buna göre yanıt verirler (örneğin, ventilasyonun artması) (22).

4.1.4. Santral Kemoreseptörler

9. ve 10. kranial sinirlerin çıkışının yakınında ventro lateral medüller yüzeyde bulunan merkezi sinir sisteminin kemoreseptörler pH seviyelerine duyarlıdır.

Bunlar, beyin dokuları için mevcut değişen oksijen veya karbondioksit konsantrasyonlarının göstergesi olan yakındaki beyin omurilik sıvısının (BOS) pH'ındaki değişiklikleri tespit etmek için hareket eder. Karbondioksitte bir artış,

genellikle CO₂ çıkışının azalmasından (hiperkapni) kaynaklanan arterlerin gerilimine neden olur. Karbondioksit kan-beyin bariyerini kolayca geçtiğinden, beyin omurilik sıvısı pH'ı plazma ile yakından karşılaştırılabilir.

Bununla birlikte, H⁺ kan-beyin bariyerini geçerek BOS'a geçemediğinden, plazma pH'ındaki bir değişiklik tek başına merkezi kemoreseptörleri uymayacaktır. Sadece CO₂ difüze olduğundan CO₂ seviyeleri merkezi kemoreseptörleri etkiler, H₂O ile reaksiyona girerek karbonik asit oluşturur ve böylece pH'ı düşürür.

Periferik kemoreseptörler (karotis ve aort gövdeleri) ve santral kemoreseptörler (medüller nöronlar) esas olarak solunum aktivitesini düzenleme işlevi görür. Bu, arteriyel kan pO₂, pCO₂ ve pH'ını uygun fizyolojik aralıklarda tutmak için önemli bir mekanizmadır. Örneğin, arteriyel pO₂'de (hipoksemi) bir düşüş veya arteriyel pCO₂'de (hiperkapni) bir artış, kemoreseptör refleksinin aktivasyonu yoluyla solunum hızında ve derinliğinde bir artışa yol açar. Bununla birlikte, kemoreseptör aktivitesi, aynı zamanda, doğrudan (medüller vazomotor merkezlerle etkileşime girerek) veya dolaylı olarak (değişmiş pulmoner gerilme reseptörü aktivitesi yoluyla) kardiyovasküler fonksiyonu da etkiler. Solunum durması ve dolaşım şoku (bu koşullar arteriyel pO₂ ve pH'ı düşürür ve arteriyel pCO₂'yi artırır), medulladaki vazomotor merkezin aktivasyonu yoluyla kalbe ve damar sistemine artan sempatik çıkışa yol açan kemoreseptör aktivitesini önemli ölçüde artırır (25).

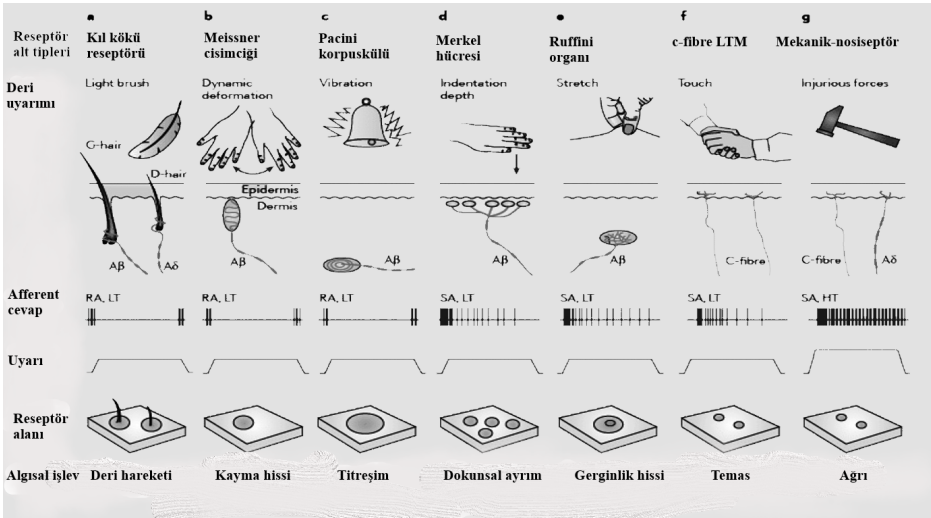
4.2. Termoreseptörler

Vücutta hem sıcak hem de soğuk termoreseptörler bulunur. Bu reseptörler, kendi özgül sıcaklıklarına sabit bir deşarj sergilerler ve zıt sıcaklık deneyimi meydana geldiğinde, reseptör deşarjının aniden kesilmesi olur.

Bir termoreseptör, özellikle belirli aralıktaki sıcaklık değişiklikleri kodlayan, özel olmayan bir duyu reseptörü veya daha doğrusu bir duyu nöronunun alıcı kısmıdır. Periferik sinir sisteminde, sıcaklık reseptörlerinin miyelinsiz C lifleri (düşük iletim hızı) ile taşındığı düşünülürken, soğuğa tepki verenlerde hem C lifleri hem de ince miyelinli A delta lifleri (daha hızlı iletim hızı) ile taşınır. Sıcağı algılayan bir reseptör için yeterli uyarın ısınmadır, bu da aksiyon potansiyeli boşalma hızında bir artışa neden olur. Soğutma, sıcağı ileten reseptörün deşarj hızında bir azalmasına neden olur. Soğuğu algılayan reseptörler için ateşleme hızları soğutma sırasında artar ve ısınma sırasında azalır. Bazı soğuğu algılayan reseptörler ayrıca yüksek sıcaklıklara, yani tipik olarak 45 °C'nin üzerine kısa bir aksiyon potansiyeli deşarjı ile tepki verir ve bu, ısıya karşı paradoksal bir tepki olarak bilinir. Bu davranıştan sorumlu mekanizma belirlenmemiştir (26).

4.3. Mekanoreseptörler

Mekanoreseptörler, hücre dışı uyarıyı mekanik olarak kapılı iyon kanalları yoluyla hücre içi sinyal iletimine ileten bir tür somatosensoryel reseptördür. Dış uyaranlar genellikle dokunma, basınç, germe, ses dalgaları, hareket, titreşim ve esneme gibi fiziksel değişikliklerdir. Mekanoreseptörler hem yüzeysel hem de derinin derin tabakasında ve kemiğin yakınında bulunur. Bu reseptörler ya kapsüllü ya da kapsülsüzdür ve serbest sinir uçları genellikle kapsüllenmemiş dendrittir. Şekil 4'te de gösterildiği gibi altı ana dokunsal mekanoreseptör kategorisi vardır: Merkel'in diskleri, Meissner'in cisimcikleri, Ruffini sonları ve Pacinian cisimcikleri, saç köklerinin etrafındakiler ve C-lif LTM (düşük eşikli mekanoreseptörler) (27,28).



Şekil 4. Mekanoreseptörler, çok çeşitli duyu özelliklerinden sorumlu, çeşitli duyu sonlar sınıfıdır. Deride, sinir sistemi tarafından kaydedilebilen tüm harici dokunma girdilerini algılamaktan sorumlu olan birçok mekanoreseptör bulunur. Farklı duyumlar, diğer fiziksel özelliklerin yanı sıra, brüt anatomi ve cilt içindeki pozisyon açısından farklılık gösteren farklı reseptör tipleri tarafından kaydedilir (29).

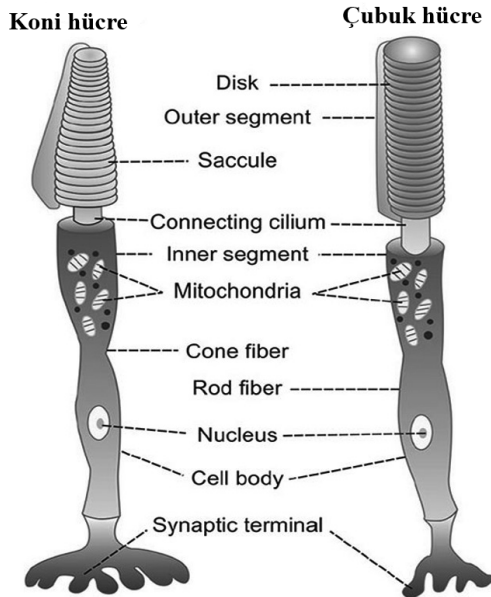
Saç kökleri hafif dokunuşu algılayabilir; dermal papilladaki Meissner cisimcikleri nesnelere girdintisini ve kaymasını algılar. Daha derin dermisteki Pacinian cisimcikleri titreşimi algılar. Bazal epidermisteki Merkel kompleksleri bir yapı ve doku anlayışı yaratır. Ruffini cisimcikleri esnemeyi algılar; C-fiber LTM'ler hoş, hafif dokunsal duyumları algılar (28). Kapsüllenmiş reseptörler Meissner cisimciği ve Pacinian cisimciği içerir. Gerilmeye yanıt veren reseptörlerde, sodyum akışı yoluyla depolarizasyona yol açan "gerilmeyle etkinleşen kanallar" vardır (30). Daha küçük alıcı alanlarla, uyaranların şekil, form ve dokusunun tespitinde daha fazla hassasiyet vardır.

Proprioseptörler aynı zamanda mekanoreseptörlerdir. Örnekler, sırasıyla kas kasılmasına/gevşemesine ve kas gerilmesine yanıt veren kas içciklerini ve Golgi tendon organını içerir (31).

4.4. Fotoresptörler

Bir fotoresptör hücresi, retinada bulunan ve görsel fototransdüksiyon yapabilen özel bir nöroepitelyal hücre türüdür. Fotoresptörler ışığı biyolojik süreçlerde kullanılacak olan uyaraabilen sinyallere dönüştürürler. Başka bir deyişle; hücredeki fotoresptör proteinler fotonları emerek hücrenin zar potansiyelinde bir değişikliği tetikler (32).

Şu anda memeli gözlerinde bilinen üç tip fotoresptör hücresi vardır: Şekil 5'te gösterilen çubuklar ile koniler ve özünde ışığa duyarlı retinal ganglion hücreleri. Çubuklar ile koniler, her biri görsel sistem tarafından görsel dünyanın, görmenin bir temsilini oluşturmak için kullanılan bilgilere katkıda bulunurlar. Çubuklar öncelikle gözün karanlığa uyması ve alışmasına (gece görüşü) katkıda bulunurken, koniler öncelikle iyi aydınlatılmış koşullar altında (gündüz görüşü) gözün vizyonuna katkıda bulunur, ancak her birinde fototransdüksiyonu destekleyen kimyasal süreçler benzerdir (32). 1990'lı yıllarda özünde ışığa duyarlı retina ganglion hücreleri adı verilen farklı bir fotoresptör hücresi keşfedildi. Bu fotoresptör hücresinin, sirkadiyen ritim ve pupiller refleksin sürüklenmesinde rol oynadığı fakat doğrudan görmeye katkısı bulunmadığı düşünülmektedir (33).



Şekil 5. Çubuk ve koni fotoresptör hücreleri(34)

Çubuk ve koni fotoreseptör hücreleri işlevsel olarak birbirlerinden oldukça farklıdırlar. Çubuklar çok hassas olmakla birlikte tek bir foton tarafından uyarılabilirler. Işık seviyeleri çok düşük olduğu zamanlarda görme sadece çubuk sinyalleriyle sağlanır (35,36).

Koni fotoreseptör hücrelerinin sinyal üretebilmesi için çok fazla sayıda foton tarafından uyarılması gerekir. İnsanlarda, farklı dalga boylarındaki ışığa tepki modelleriyle ayırt edilmiş olan üç farklı koni hücre türü bulunmaktadır. Renk deneyimi, belki de bir rakip işlem yoluyla, bu üç farklı sinyalden hesaplanır. Bu, koni fotoreseptör hücrelerinden ziyade yalnızca çubuk aktif olduğunda, düşük ışık seviyelerinde renklerin neden görülemeyeceğini açıklamaktadır. Üç tip koni hücresi (kabaca) kısa, orta ve uzun dalga boylarındaki ışığa tepki verir, bu nedenle sırasıyla S-konileri, M-konileri ve L-konileri olarak adlandırılabilirler (37).

İnsan retinasında yaklaşık 120 milyon çubuk fotoreseptör hücre ve 6 milyon koni fotoreseptör hücresi bulunur. İnsan görme sisteminde, bu fotoreseptörlere ek olarak ~ 2,4 ile 3 milyon retinal ganglion hücreleri vardır ve bunların %1 ila 2'si ışığa duyarlıdır. Ganglion hücrelerinin aksonları iki optik siniri oluşturmaktadır (38).

5. SONUÇ

Çevremizdeki dünya sürekli olarak duyularımızı uyarır. Bu uyarılar ışık, sesler, kokular, tatlar ve somatik duyular (dokunma, ağrı, basınç, titreşim, ısı, soğuk) gibi farklı çeşitlerde (modaliteler) gelir. Karşılık gelen duyularımız, belirli alıcıların yardımıyla dış dünyayı vücudumuzun içine iletir. Bunlar sinir sisteminin bir parçasıdır ve çevreyi beyne bağlar. Sinir sistemide, uyarlanabilir sinyaller ve davranışlar üreterek gelen bilgilere yanıt verebilir. Tüm organizmaların çevreden gelen uyarımları algılayabilmeleri ve daha sonra bu uyarımları duyuusal sistemlerimizin yardımıyla işleyebilmeleri ve bütünleştirebilmeleri esastır. İnsanlar homeostazı korumak ve organizmanın vücut işlevlerine ve çevreye uygun şekilde yanıt vermek için duyu sistemine ihtiyaç duyar. Vücudun duyuusal sistemini anlamak, tıp alanında kritik öneme sahiptir. Duyusal reseptörler ve mekanizmalarını keşfetmek, mevcut olan çeşitli bozuklukların patofizyolojisini anlayabilmemize olanak sağlar.

KAYNAKLAR

1. Abraira VE, Ginty DD. The sensory neurons of touch. *Neuron*. 2013 Aug 21;79(4):618-39.
2. Krantz J. "Experiencing Sensation and Perception - Chapter 1: What is Sensation and Perception?" (PDF). p. 1.6. Retrieved May 16, 2013.
3. Gadhvi M, Waseem M. *Physiology, Sensory System*. [Updated 2021 May 9]. In: Stat Pearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2022 Jan-.

4. Nosek Thomas M. "Section 8/8ch5/s8ch5_22". Essentials of Human Physiology. Archived from the original on 2016-03-24.
5. O'Sullivan SB, &Schmitz TJ. (2007). Physical Rehabilitation (5th Edition ed.). Philadelphia: F.A. Davis Company
6. Campbell WW. Dejong's The Neurologic Examination. p. 429-465. 6th ed. Güneş Tıp Kitabevleri, 2008.
7. Pınar L. Sinir ve Kas Fizyolojisi Temel Bilgiler. s. 151-226. 3. Edisyon. Akademisyen Tıp Kitabevi, 2015.
8. Widmaier EP, Raff H, Strang KT. Vander İnsan Fizyolojisi. s.211-254. 10.Edisyon. İzmir Güven Kitabevi, 2010.
9. Sherrington CS. The Integrative Action Of The Nervous System, 1st ed. New Haven, Yale University Press, 1906: 114-336.
10. Sotnikov OS. Sensory innervation of the brain (primary interoceptor neurons of the brain and their a synaptic dendrites). Neurosci Behav Physiol. 2006 Jun;36(5):453-62.
11. Tsay AJ, Giummarra MJ, Allen TJ, Proske U. The sensory origins of human position sense. J Physiol. 2016 Feb 15;594(4):1037-49
12. Campbell N. (1996). *Biology* (4th ed.).Benjamin/Cummings Pub. Co. p. 1028. ISBN 0805319409.
13. Yoshioka T, Sakakibara M. Physicalaspects of sensory transduction on seeing, hearing and smelling. Biophysics (Nagoya-shi). 2013;9:183-91.
14. <https://courses.lumenlearning.com/boundless-ap/chapter/sensory-receptors/> Erişim Tarihi: 9.02.2022
15. Prem K, Nanduri PR. (January 2012). "Peripheral Chemoreceptors: Function and Plasticity of the Carotid Body". Comprehensive Physiology. 2 (1): 141 219.
16. Lee AA, Owyang C. Sugars, Sweet Taste Receptors, and Brain Responses. Nutrients. 2017 Jun 24;9(7) [PMC freearticle] [PubMed]
17. <https://quizlet.com/323693560/12-taste-and-smell-flash-cards/>Erişim Tarihi: 9.02.2022
18. Chandrashekar J, Hoon MA, Ryba NJ, Zuker CS. The receptors and cells for mammalian taste. Nature. 2006 Nov 16;444(7117):288-94.
19. https://www.researchgate.net/figure/The-human-olfactory-system-The-odorant-receptors-a-re-localized-on-olfactory-sensory_fig3_6233174 Erişim Tarihi: 10.02.2022
20. Wooten C. Nervesand Nerve Injuries Vol 1: History, Embryology, Anatomy, Imaging, and Diagnostics Chapter 18-Anatomy of the Olfactory Nerves 2015, Pages 273-276
21. Gonzalez C, Almaraz L, Obeso A, Rigual R. (1994). "Carotid body chemoreceptors: from natural stimuli to sensory discharges " Physiological Reviews. American Physiological Society. 74 (4): 829-898.doi:10.1152/physrev.1994.74.4.829. ISSN 0031-9333. PMID 7938227.
22. "The Peripheral Nervous System" (PDF). Retrieved 2020-03-17.
23. Prabhakar NR, Ying-JiePeng YJ. Peripheral chemoreceptors in health and disease J App Physiol Vol: 96 01.January.2004 <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00809.2003>
24. Chris P, Christopher WN, Mark EA. (2010). "Mechanisms for acute oxygen sensing in the carotid body". Respiratory Physiology&Neurobiology. Elsevier BV. 174 (3): 292-298. doi:10.1016/j.resp.2010.08.010. ISSN 1569-9048.
25. Solomon IC, Edelman NH, Neubauer, JA. Pre-Bötzing complex functions as a central hypoxia chemosensor for respiration *in vivo*. J Neurophysiol. 83(5):2854-68, 2000.
26. Smith DI, Johnson KO, LaMotte C, et al.(1979). "Warm fibers innervating palmar and digital skin of the monkey: responses to thermal stimuli". *Journal of Neurophysiology*. 42 (5): 1297-1315. doi:10.1152/jn.1979.42.5.1297. PMID 114608
27. ParviziFard A, SalimiNezhad N, Amiri M., et al.' Sharpness recognition based on synergy between bioinspired nociceptors and tactile mechanoreceptors' *Scientific Reports* volume 11, Article number: 2109 (2021)

28. Delmas P, Hao J, Rodat-Despoix L. Molecular mechanisms of mechanotransduction in mammalian sensory neurons. *Nature reviews. Neuroscience*. 2011 Mar; [PubMed PMID: 21304548]
29. https://www.researchgate.net/figure/Mechanoreceptors-are-a-diverse-class-of-sensory-endings-responsible-for-a-wide-range-of_fig1_292449835Erişim Tarihi: 11.02.2022
30. Moll I, Roessler M, Brandner JM, et al. Human Merkel cells-aspects of cell biology, distribution and functions. *European journal of cell biology*. 2005 Mar; [PubMed PMID: 15819406]
31. Bewick GS, Banks RW. Mechanotransduction in the muscle spindle. *Pflugers Archiv : European journal of physiology*. 2015 Jan; [PubMed PMID: 24888691]
32. eye, human.” *Encyclopædia Britannica*. Encyclopædia Britannica Ultimate Reference Suite. Chicago: Encyclopædia Britannica, 2010.
33. Foster RG, Provencio I, Hudson D, et al. (1991). “Circadian photoreception in the retinally degenerate mouse (rd/rd)”. *Journal of Comparative Physiology A*. 169 (1): 39–50. doi:10.1007/BF00198171. PMID 1941717. S2CID 1124159.
34. <https://www.jaypeedigital.com/book/9789350259368/chapter/ch166>Erişim Tarihi: 11.02.2022
35. Hecht S, Shlar S, Pirenne MH. (1942). “Energy, Quanta, and Vision”. *Journal of General Physiology*. 25 (6): 819–840. doi:10.1085/jgp.25.6.819. PMC 2142545. PMID 19873316.
36. Baylor DA, Lamb TD, Yau KW. (1979). “Responses of retinal rods to single photons”. *The Journal of Physiology*. 288: 613–634. doi:10.1113/jphysiol.1979.sp012716 (inactive 31 October 2021). PMC 1281447. PMID 112243.
37. Hurvich L. (1981). *Color Vision*. Sinauer.
38. Schacter Daniel L. (2011). *Psychology Second Edition*. 41 Madison Avenue, New York, NY 10010: Worth Publishers. pp. 136-137. ISBN 978-1-4292-3719-2.