

VESTİBÜLER SİSTEMİN FONKSİYONEL ANATOMİSİ

Prof. Dr. Salih Murat Akkın

Başın konumu ve hareketleri ile ilgili bilgileri taşıyan uyarılar iç kulakta yer alan vestibüler organın kompleks yapıdaki mekanoreseptörlerinde ortaya çıkar. Vestibüler sinirin merkezi uzantıları aracılığıyla beyin sapına taşınır ve genel olarak buradaki vestibüler çekirdek kompleksine gelirler. Vestibüler çekirdeklerin kurduğu bağlantılarla da santral sinir sisteminin çeşitli düzeylerinde görme, dokunma, basınç gibi eksteroseptif bilgiler ve muskuloskeletal proprioseptif uyarılarla entegre edilirler. Böylece beyin sapı ve beyincikte karmaşık bir konum (pozisyon) duygusu ortaya çıkar. İşte bu süreçte yer alan anatomik yapıların oluşturduğu bütüne vestibüler sistem adını veriyoruz.

Vestibüler sistem postürün kontrolü, gövdenin, başın ve göz küresi hareketlerinin koordinasyonu ile vizüel fiksasyon gibi önemli yaşamsal işlevlerin sürekliliğine katkıda bulunarak denge adını verdiğimiz duyunun oluşması ve korunmasını sağlar.

Bu işlevsel bütünü anatomik açıdan dört başlık altında inceleyebiliriz:

1. Vestibüler organ
2. Vestibüler sinir
3. Vestibüler çekirdek kompleksi
4. Sekonder vestibüler bağlantılar

VESTİBÜLER ORGAN

Vestibüler organ genel olarak iç kulağın zar labirentinin belli bölümleri tarafından oluşturulur. Her bir tarafın zar labirentinde değişik lokalizasyonlardaki 5 adet reseptör yapı başın ortamdaki konum ve hareketleri ile ilgili bilgileri içeren uyarıları ortaya çıkarır. Bunlardan ikisi, utriculus ve sacculus adlı keseciklerde, birbirlerine dikey yöneltelerde (horizontal ve vertikal düzlemlerde) konumlanmış olan *macula utriculi* ve *macula sacculi*'dir. Her iki yapı da

başın doğrusal hareketleri (örn. öne-arkaya hızlanma, yer çekimi etkisi) ile ilgili uyarılar üretirler. Bu nedenle de utriculus ve sacculus işlevsel açıdan statik labirent olarak adlandırılmaktadır.

Diğer üç reseptör yapı, yine birbirine dikey yöneltelerde bulunan üç zar yarım daire kanalının ampulla adı verilen genişlemelerinde yer alır ve *crista ampullaris* adı verilen bir çıkıntı şeklindedir. Bu yapı için asıl uyarıcı etken ise genel olarak başın açısal (örn. rotasyon) hareketleridir. Bu nedenle zar labirentin yarım daire kanallarının oluşturduğu işlevsel birim de aynı zamanda kinetik labirent olarak adlandırılır.

Vestibüler organın reseptör yapıları olan macula utriculi ve macula sacculi ile *crista ampullaris*'in fonksiyonel anatomik özelliklerine geçmeden önce, bu oluşumların yer aldığı anatomik yapıları genel olarak gözden geçirmek yararlı olacaktır.

Kemik labirent (Labyrinthus osseus)

Kemik labirent temporal kemiğin petroz parçası içinde yer alır ve zar labirenti çok sert bir zırh biçiminde sarar. Zar labirent, kemik labirentten daha küçüktür ve bu nedenle de kemik labirenti bütünüyle doldurmaz. Aralarında kalan aralık perilenfa adı verilen bir sıvı ve bağ dokusu trabeküller içerir. Kemik labirent birbirleriyle devamlılık gösteren üç parçaya ayrılır: 1. Vestibulum, 2. Canalis semicircularis osseus'lar, 3. Cochlea. Bu kemik yapılardan yalnız ilk ikisi vestibüler organın yerleşim yerleridir.

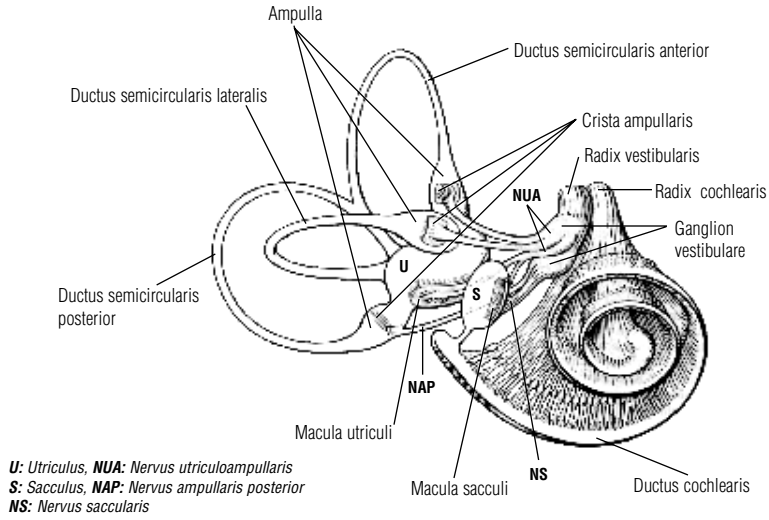
Zar labirent (Labyrinthus membranaceus)

Kemik labirentin içinde yer alan zar labirent trabeküller aracılığıyla belli noktalarda kemik labirente tutunur. Yine kemik labirente uygun olarak, bunun vestibüler bölümünde utriculus ve sacculus adlı 2 kesecik, canalis semicircularis'lerde ductus semicircularis adı verilen üç (zar) yarım daire kanalı ile cochlea'daki ductus cochlearis'ten oluşur (Şekil 1). Ductus cochlearis işitme duyusu ile ilgili olduğundan bu yazının kapsamında ayrıntısından söz edilmeyecektir.

Zar labirentin içi *endolenfa* adı verilen bir sıvı ile doludur. Perilenfa ile bir bağlantısı yoktur ve bileşim açısından da farklıdır (Tablo 1). Vestibüler işlevde yukarıda sözü edilen 5 değişik lokalizasyondaki reseptörler kadar endolenfanın da önemi vardır. Bu reseptörlerdeki duysal hücrelerin depolarizasyonu endolenfanın fiziksel özelliği ile ilişkili olup akış yönüne bağlıdır.

Utriculus: Kemik vestibülün iç duvarının üst arka bölümünde yer alan recessus ellipticus'ta yerleşmiştir. Utriculus'un tabanının dış yarımında, (kafa

VESTİBÜLER SİSTEMİN FONKSİYONEL ANATOMİSİ



Şekil 1
Zar labirent ve vestibülokoklear sinirin parçaları ⁶

tabanına koştur bir yöneltide) horizontal düzlemde yaklaşık 3 mm² boyutunda bir alan kalınlaşarak *macula utriculi*'yi oluşturur. Utriculus'un arka bölümüne 5 delik halinde ductus semicircularis'ler açılır. Ön-iç bölümünden çıkan ductus utriculosaccularis ile de utriculus hem sacculus hem de ductus endolymphaticus ile bağlantı kurar.

Tablo 1
Endolenfa bileşiminin diğer sıvılar ile karşılaştırılması ³

	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	mV*
Perilenfa	150.0	4.0	125.0	0
Endolenfa	1.0	160.0	130.0	+80
Tüylü hücre ⁺	5.0	130.0	40.0	-75
Neron ⁺	15.0	138.0	6.6	
BOS ⁺	149.0	3.0	125.0	
Serum	141.0	4.5	102.0	

* Perilenfaya göre potansiyel

⁺ Hücre içi değer

Sacculus: Kemik vestibülde iç duvarın ön tarafında recessus sphericus adlı yuvarlak çukurda yer alır. Utriculus ile kıyaslandığında daha çok küreye benzeyen bu kesecik arkaya ve aşağıya doğru koni biçiminde bir uzantı verir. Buradan ayrılan ve ductus reuniens adı verilen ince bir kanal aracılığıyla ductus cochlearis ile birleşir. Sacculus'un ön duvarındaki küçük bir kalınlaşma boyut olarak macula utriculi'ye benzer ancak ona dik bir yönde (sagittal düzlemde) bulunur. Bu yapı da *macula sacculi*'yi oluşturur. Sacculus'un arka duvarından ductus endolymphaticus adı verilen ince bir kanal çıkar. Kemik labirent içinde içe ve aşağıya doğru uzanan bu kanal aqueductus vestibuli adlı kemik kanal içinde seyreder ve pyramis'in arka yüzüne yakın olarak saccus endolymphaticus adı verilen kör bir genişleme ile sonlanır. Saccus endolymphaticus kemik ile periost arasında yer alan bir cep içindedir ve dura mater ile yakın komşuluk gösterir.

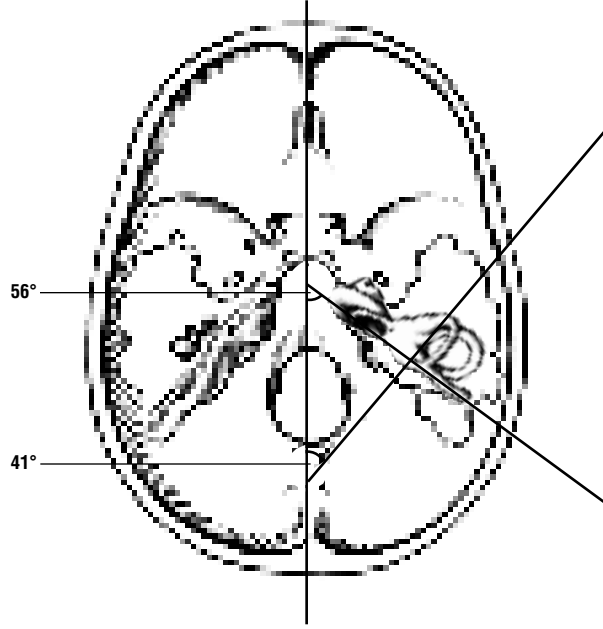
Ductus semicirculares: Utriculus'tan başlayıp yine utriculus'a dönüp bağlanan ve her biri yaklaşık olarak 2/3 daire kadar olan bu kanallar üç farklı düzlemde yer alırlar (Şekil 2). *Ductus semicircularis anterior* pyramis'in uzun eksenine koşut eksende oluşan bir daire düzleminde. Öne ve içe bakar ve medyan düzlemle 41°'lik bir açı oluşturur. Karşı tarafın ductus semicircularis posterior'una hemen hemen koşuttur. *Ductus semicircularis posterior*, bir önce tanımlanan ductus semicircularis anterior'a dik bir eksende, medyan düzlemle 56°'lik bir açı oluşturacak şekilde yerleşmiştir. Arkaya içe bakar ve hemen hemen pyramis'in arka yüzüne koşut bir konumdadır. *Ductus semicircularis lateralis*, eğer baş 25° öne eğilirse, karşı taraftaki eşikle birlikte horizontal düzlemde bulunur. Başın bu konumunda diğer iki yarım daire kanalı vertikal düzlemdir.

Ductus semicircularis'ler, yaklaşık 0.8 mm çapındaki kemik labirent yarım daire kanallarının ancak 1/4'ünü doldurur. Ampulla bölümünde ise yaklaşık 1.5 mm civarında bir çap gösterirler.

Her üç yarım daire kanalının bir uçları *ampulla membranacea* adı verilen genişlemeler gösterir. Böylece ortaya çıkan 3 zar ampulla'nın her birinin duvarında, kemik ampulla'ya yapıştığı yerde, ampulla boşluğuna doğru uzanan ve *crista ampullaris* adını alan çıkıntılar bulunmaktadır. Crista ampullaris her bir yarım daire kanalının merkezinden geçen eksene dik bir konum gösterir.

Vestibüler reseptör yapılar

Gerek macula utriculi ve macula sacculi, gerekse crista ampullaris labirent duvarındaki ektodermal kalınlaşma şeklinde ortaya çıkar. Her iki tip yapı da asıl reseptör hücre olan titretilmiş tüylü nöroepitel hücreleri (*cellula sensoria pi-*

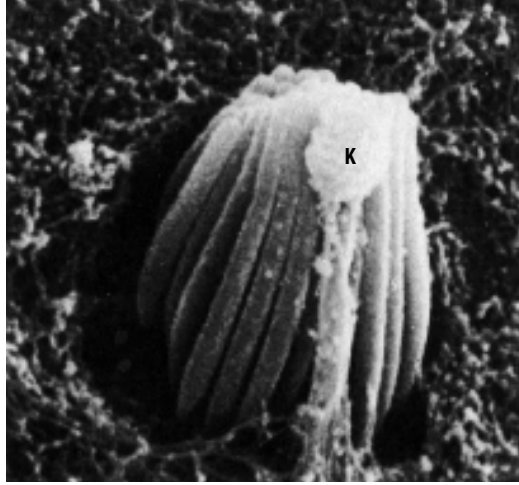


Şekil 2

Zar yarım daire kanallarının kafa tabanındaki konumu

losa) ile destek hücrelerini içerir. Nöroepitel hücreleri iki tipe ayrılır. Tip I hücre (*epiteliocytus piriformis*) armut ya da kadeh görünümünde, tip II hücre (*epiteliocytus columnaris*) sütun ya da silindir biçimindedir. Filogenetik açıdan daha yeni olan tip I hücreler daha duyarlı ve gelişmiş hücrelerdir. Her iki tip hücrenin serbest yüzeylerinde 40-100 adet mikrovillus şeklinde uzantılar bulunur. *Stereocilia* adı verilen bu uzantı grubu içinde bir tanesi diğerlerinden daha uzundur ve *kinocilium* (gerçek silyum) adını alır (Resim 1). *Stereocilia* grubu içinde *kinocilium* diğer uzantılara göre fleksibldır ve reseptör hücrede polarizasyonun yönünü asıl belirleyen unsurdur. Endolenfanın akım yönüne bağlı olarak *stereocilia*'nın *kinocilium* yönündeki hareketi, normalde dinlenme anında bile deşarj üreten reseptör hücrede depolarizasyonu yani uyarı artışını, tersi ise inhibisyonu sağlar.

Macula utriculi ve macula sacculi: Utriculus ve sacculus'daki makülalarda lümeneye doğru uzanan *stereocilia*, endolenfa içinde bulunan ve otolitik zar (*membrana statoconorium*) adı verilen bir kütle içine gömülüdür. Bu yapı



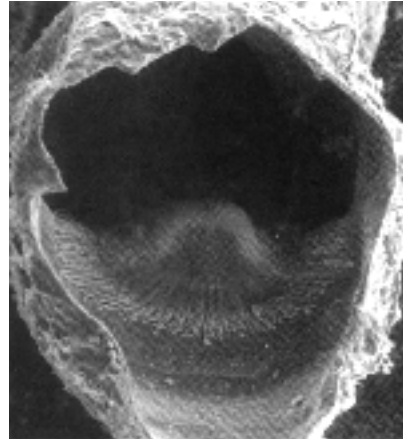
Resim 1

Stereocilia ve kinocilium'un elektron mikroskopik görüntüsü ¹⁶
K: Kinocilium

etmesi gerekir. Oysa aynı makülada vertikal hızlanma sırasında otolitik zarın yeri genel anlamda değişmez. Baş dikey konumda iken sakküler maküla vertikal yerleşimli olduğu için de, aynı mekanizma ile en iyi yanıtı vertikal yöndeki hızlanmaya verir.

Crista ampullaris: Zar yarım daire kanalları ampullalarında yer alan kristada maküladan farklı olarak stereocilia, kupula (*cupula gelatinosa*) adı verilen kubbe biçimindeki jelatinöz yüksekti içine uzanır (Resim 2). Kupula, keratin bir ağ içinde yerleşmiş mukopolisakkarit bir küttedir ve bu yapı endolenfa akımı için lümenin bir bölümünü kaplayan bir bariyer oluşturur. Lateral zar yarım daire kanalının ampullasındaki kristada kinocilium, utriculus'a yakın konumda (*utrikülopetal*) bir yerleşim gösterirken, anterior ve posterior kanalların ampullasındaki

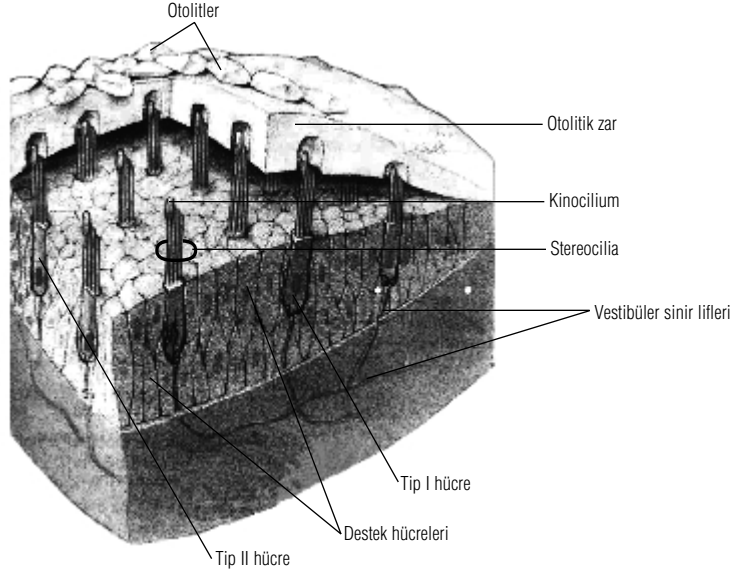
otolit denen kalsiyum karbonat kristalleri (*statoconium*) ile süslenmiş, zar görünümünde yassı, jelatinöz bir maddeden oluşur (Şekil 3). Özgül ağırlığı fazladır. Bu nedenle yerçekimi etkisine açıktır. Macula utriculi'de horizontal yerleşimlidir ve baş dikey konumda iken stereocilia otolitik zara dikey olarak girer. Buna karşılık utriküler maküla en iyi horizontal düzlemdeki hızlanmaya yanıt verir, çünkü reseptör hücrede depolarizasyonun gerçekleşmesi için stereocilia'nın kinocilium yönünde hareket



Resim 2

Ampulla lümeni ve krista ile birlikte kupulanın elektron mikroskopik görüntüsü ⁸

VESTİBÜLER SİSTEMİN FONKSİYONEL ANATOMİSİ



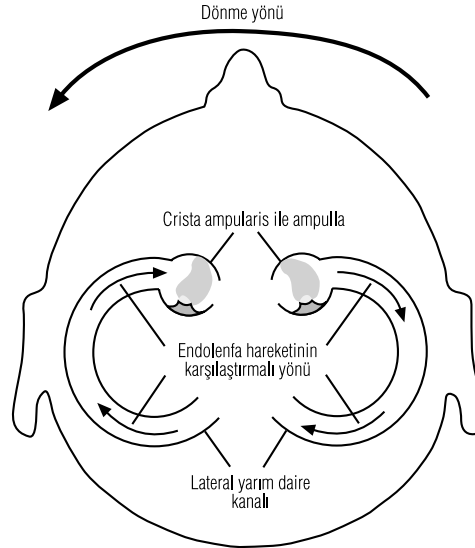
Şekil 3
Makülanın yapısı⁸

kristada tersi (*utrükülofugal*) bir yerleşim söz konusudur. Dolayısıyla ilgili kanallardaki endolenfa akımı da sırasıyla ampullopetal ve ampullofugal olduğunda reseptör hücrede depolarizasyona, dolayısıyla da uyarı artışına neden olur.

Kupula endolenfa ile aynı özgül ağırlığa sahiptir ve bu nedenle açılmal hareketler sırasında endolenfa akımı ile birlikte hareket eder. Zar yarım daire kanallarında doğrusal hareket sırasında endolenfa hareketi olmadığı için uyarı değişikliğine neden olacak bir kupula hareketi ortaya çıkmaz.

Ampuller krista ve kupula başın açılmal hızlanma ya da yavaşlama değişimlerine yanıt verir. Buradaki mekanizmalara etki eden yapısal özellikler yarım daire kanallarındaki taraf simetrisi ve ortogonal organizasyon ile kanal hareketleriyle endolenfa akımı arasındaki ivme farkıdır. Hızlanma sırasında kanalın hareket yönü ile endolenfanın kupulaya etki yönleri terstir. Her 3 kanalın ortogonal uyumu nedeniyle başın rotasyon yaptığı yöndeki krista uyarı oluştururken, karşı taraftaki uygun düzlemde yer alan zar yarım daire kanalının reseptör organlarında inhibisyon gelişir. Mekanizmayı daha iyi açıklayabilmek amacıyla, Şekil 4'te şematize edildiği gibi, lateral yarım daire kanallarının ro-

tasyon sırasındaki konum ve hareketlerini ele alırsak, başın 25° öne eğildiği konumda her iki lateral yarım daire kanalı horizontal düzlemedir. Başın sola rotasyonu ile her iki yarım daire kanalı da sola döner. Hızlanma sırasında endolenfa, yapı özelliğinden dolayı kanala oranla daha yavaş bir hızlanma gösterdiğinden, rölatif endolenfa hareketi rotasyonun tersi yönde olur. Bu durumda sol kanaldaki endolenfa akımı ampullopetaldir, yani kupula hareketi utrikülopetal yerleşmiş bulunan kinocilium yönündedir. Bu da sol crista ampullaris reseptör hücrelerinde depolarizasyon yaratır. Sağ tarafta ise endolenfa akımı ampullofugal olduğundan utrikülopetal yerleşimli kinocilium'un tersi yönde hareket eden kupula dolayısıyla ilgili reseptör hücrelerde hiperpolarizasyon, yani merkeze gönderilen uyarılarda yavaşlama ortaya çıkar. Hızlanma kesildiğinde ya da sabit bir hıza ulaşıldığında endolenfa kanal hareketinin hızına yetişir. Bu durumda kupulaya etki edecek bir akım yönü söz konusu değildir ve süren rotasyon, görme duyusunun yardımı olmaksızın algılanamaz. Yavaşlama sırasında ise hızlanmanın tersi olaylar gelişir. Örnek olarak sunulan mekanizma 3 çift yarım daire kanalinin hepsi için geçerlidir. Hareketlerin çoğu tek bir yarım daire kanalının düzleminde gerçekleşmediğinden, en-



Şekil 4

Başın 25° öne eğildiği konumdaki sola rotasyonu sırasında lateral yarım daire kanallarının ve endolenfa akımının durumu ³

dolenfa hareketi başın hareket ettiği asıl düzleme en yakın düzlemdeki bir çift kanalda en yüksek oranda, en uzak düzlemdeki çiftte ise en az oranda ortaya çıkacaktır. Burada dikkat edilmesi gereken, lateral yarım daire kanal çiftinden farklı olarak, anterior ve posterior yarım daire kanallarının karşı taraftaki çiftleriyle aynı düzlemde bulunmadığı, bir tarafın anterior yarım daire kanalının karşı tarafın posterior kanalı ile aynı düzlemi paylaştığıdır (Şekil 2).

VESTİBÜLER SİNİR

Vestibüler siniri oluşturan ve iç kulak yolu fundusunda bulunan ganglion vestibulare'de yer alan bipolar nöronların (vestibüler duyu iletim yolunun 1. nöronu) periferik uzantıları 5 dal şeklinde vestibüler reseptör yapılar olan maküla ve kristalara ulaşır (Şekil 1). Ganglionun üst parçasından çıkan n. utriculoampullaris adı verilen sinir n. utricularis, n. ampullaris superior ve n. ampullaris lateralis adlı dalları ile ilgili yapılara uzanırken, alt parça da n. saccularis ve n. ampullaris posterior adlı iki dalla sacculus ve posterior yarım daire kanalı ampullasında ortaya çıkan duyuları alır.

Vestibüler sinirin santral uzantıları dışyanda yer alan koklear sinir ile birlikte n. vestibulocochlearis adıyla, n. facialis ile yakın komşuluk göstererek iç kulak yolunu geçer ve bulbus ile pons arasındaki olukta beyin sapına bağlanır. Santral dalların büyük bölümü beyin sapındaki vestibüler çekirdek kompleksinde sonlanır.

Hayvan çalışmaları vestibüler sinir içinde afferent vestibüler liflerin yanı sıra primer efferent liflerin de varlığını ortaya koymuştur. Bilateral simetrik organizasyondaki bu liflerin formatio reticularis'ten kaynaklandığı saptanmıştır.

VESTİBÜLER ÇEKİRDEK KOMPLEKSİ

Dördüncü karıncık tabanındaki area vestibularis'te yer alan ve nucleus vestibularis superior, lateralis, medialis ve inferior adlarını alan 4 nöron grubu vestibüler çekirdek kompleksini oluşturur (Şekil 5). Büyük bölümü bulbus'ta, bir bölümü de pons'ta bulunmaktadır. Bunların dışında f, x, y ve z hücre grupları diye adlandırılan 4 çeşit yan nükleer oluşum yine bu bölgede fonksiyonel olarak yer alır ve vestibüler çekirdek kompleksine katılır. Çoğu motor refleks arklarıyla ilgilidir ve y hücre grubu dışındakiler primer vestibüler afferent almazlar. Bu nedenle de primer vestibüler çekirdek olarak kabul edilmezler. Deneysel çalışmalar vestibüler organın reseptör yapılarının her birinden gelen uyarıların belli vestibüler çekirdek bölümlerine projekte olduğunu ortaya koymuştur. Crista ampularis'ten gelen lifler öncelikle üst ve içyan ves-

tibüler çekirdeğe ulaşırken, macula utriculi ve macula sacculi'den gelen lifler alt vestibüler çekirdek ile kısmen lateral vestibüler çekirdeğin ön bölümü ve y hücre grubunda sonlanmaktadır. Primer vestibüler liflerin küçük bir bölümü de vestibüler çekirdeklere uğramadan doğrudan, ipsilateral beyincik, formatio reticularis ve nuc. cuneatus leateralis'e giderler.

SEKONDER VESTİBÜLER BAĞLANTILAR

Vestibüler çekirdek kompleksinin vestibüler organdan gelen primer afferentlerinin dışında santral sinir sisteminin çeşitli bölümlerinden ve kontralateral eşlerinden aldıkları afferent lifler ile genel olarak beyincik, omurilik, okülomotor kompleks ve talamus ile beyin korteksi ve kontralateral vestibüler çekirdek kompleksine gönderdiği efferent yollar sekonder vestibüler bağlantıları oluşturur.

Komissüral bağlantılar

Geniş komissüral bağlantılar özellikle üst ve içyan vestibüler çekirdekler arasında bulunur. Çoğu inhibitör etkiye sahip olan komissüral bağlantılar 2 tiptir. 1. Çekirdeğin karşı eşindeki benzer alanlar arasındaki resiprokal bağlantılar, 2. Farklı çekirdekler arasında bulunan bağlantılar. Komissüral bağlantıların bir bölümü doğrudan bir çekirdekten diğerine gitmez. Özellikle utrikülo-sakküler kökenli uyarılarla ilgili komissüral bağlantılara formatio reticularis aracılık eder. Bunun yanı sıra aynı tarafın çekirdekleri arasında da iki yönlü (afferent ve efferent) bağlantılar içeren hüzmeler vardır. Deneysel çalışmalar bu tip bağlantıların özellikle üst, içyan ve alt çekirdeklerdeki varlığını kanıtlamıştır.

Sekonder afferent bağlantılar

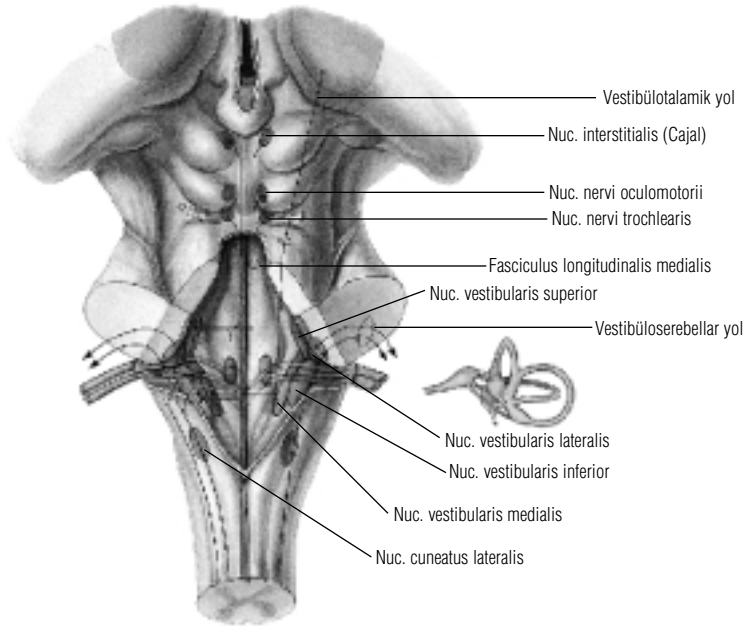
Vestibüler organ kökenli primer afferent uyarıların yanı sıra vestibüler çekirdek kompleksi beyincik, omurilik, nuc. prepositus hypoglossi ile okülomotor çekirdek kompleksi (OMK) ve nuc. interstitialis (Cajal) (NIC) ile afferent bağlantılar kurar.

Serebellovestibüler lifler flokkulonodüler lob ve uvula'daki Purkinje hücrelerinden, lobus anterior ve nuc. fastigii'den kaynaklanmaktadır. Özellikle dışyan vestibüler çekirdek doğrudan ön beyincik lobundan gelen afferentleri alır. Bu yüzden bu çekirdek önde yer alan bir beyincik çekirdeği gibi kabul edilir.

Spinovestibüler yollar çoğunlukla ipsilateral dışyan, içyan ve alt vestibüler çekirdeklerde sonlanır.

Nuc. prepositus hypoglossi'den gelen afferentler alt ve içyan vestibüler çekirdeklerin formatio reticularis ile bağlantısını sağlamaktadır.

OMK ile NIC'ten gelen mezensefalik afferentler fasciculus longitudinalis medialis (FLM) içinde seyreder ve ipsilateral vestibüler çekirdeklerde sonlanır. OMK kökenli afferentler içyan ve alt, NIC kökenliler üst ve içyan vestibüler çekirdeğe gelirler.



Şekil 5

Vestibüler çekirdek kompleksi ve sekonder vestibüler bağlantıların bir bölümü ¹²

Sekonder efferent bağlantılar

Vestibüler kompleksin efferent bağlantıları diğer spesifik duysal projeksiyonlarla kıyaslandığında oldukça fazla beyin bölümüyle ilişki sağlamaktadır.

Sekonder vestibüloserebellar lifler alt, içyan ve üst vestibüler çekirdeklerdeki nöronlardan kaynaklanır. Pedunculus cerebellaris inferior'un iç yüzünde seyrederek vestibüler serebellum adı verilen ve flocculus, nodulus, uvula ile nuc. fastigii'yi kapsayan beyincik bölümünde sonlanırlar. Bir bölüm lif de be-

yin sapında yine aynı çekirdeklerden (özellikle alt vestibüler çekirdekten) çıkarak nuc. olivaris inferior üzerinden (vestibülo-olivar lifler) beyinciğe gider.

Dışyan vestibüler çekirdekten çıkan ve ipsilateral seyirle omuriliğe uzanan lifler *tractus vestibulospinalis (lateralis)*'i oluşturur. Omuriliğin her düzeyine uzanır ve spinal refleks aktivite ile ekstensör tonus üzerine etkisi vardır. Diğer üç vestibüler çekirdek FLM'ye lifler gönderir. İçyan ve alt vestibüler çekirdekten köken alan ve inici yönde bilateral ilerleyen lifler FLM'nin bir bölümünü oluşturan *tractus vestibulospinalis medialis*'i yapar. Bu yol servikal omurilikte boyun kaslarının motor nöronlarıyla sinaps yapan lifler içerir.

Vestibüler çekirdeklerden kaynaklanıp beyin sapı içinde çıkıcı yönde ilerleyen lifler vestibülomezensefalik projeksiyonu oluşturur. Burada ağırlıklı olarak üst ve içyan vestibüler çekirdeklerden kaynaklanan lifler yer almakta ise de görece yeni deneysel çalışmalarla her dört çekirdeğin de OMK'e efferentler gönderdiği ortaya konmuştur. Bu lifler abducens, troklear ve okulomotor çekirdekler ve NIC aracılığıyla ekstraoküler kasların işlevleriyle ilgili refleks bağlantılar kurar. NIC'ten kaynaklanan interstisyospinal yol ise FLM içinde ve daha sonra funiculus anterior'da yer alarak tüm beyin sapı ve omurilikte seyreder.

Vestibüler çekirdeklerden kaynaklanan inici ve çıkıcı yolların hepsi beyin sapı boyunca birçok kollateral aracılığıyla formatio reticularis çekirdekleriyle de bağlantı kurar. Vestibüler çekirdeklerin OMK ve formatio reticularis ile yaptığı bağlantı sayesinde baş hareketlerinin kompensasyonu için oküler hareketler ile retinal görüntünün stabilizasyonu sağlanmış olur.

Vestibülokortikal bağlantılar

Vestibüler uyarıların beyin korteksi düzeyinde "bilinçli" algılanması ile ilgili olarak bugüne değin yapılan çalışmalarda oldukça yetersiz kanıtlar ortaya çıkmıştır. İnsanda üst temporal girus ile parietal ve insular kortekste uyarıların vertigo benzeri duyarları ortaya çıkardığı bilinmektedir. Hayvan çalışmalarında da vestibüler sinirin uyarılması ya da rotasyon sırasında temporal kortekse uyan alanlarda yanıtlar uyandırılmıştır. Görece yeni deneysel çalışmalar vestibüler çekirdek kompleksinden lemniscus lateralis içinde talamus proekte olan efferentleri ortaya koymuştur. Bu vestibülotalamik lifler belli talamus çekirdeklerinde (nuc. ventralis posterolateralis, nuc. ventralis posterior inferior, nuc. ventralis lateralis) sonlanmaktadır. Fizyolojik çalışmalarla da maymunlarda postsantral girustaki iki alana (3a ve 2v alanları) kortikal projeksiyonların olduğu saptanmıştır. Ancak vestibülokortikal bağlantılar diğer sekonder vestibüler bağlantılar arasında çok küçük bir oranda yer almaktadır.

KAYNAKLAR

1. Akyıldız N. Kulak Hastalıkları ve Mikrocerrahisi. Ankara, Bilimsel Tıp Yayınevi, 1998, s. 62-73.
2. Ballenger JJ. Diseases of the Nose, Throat and Ear. 12. Baskı. Philadelphia, Lea Febiger, 1977, s. 622-35.
3. Burt AM. Textbook of Neuroanatomy. Philadelphia, W.B. Saunders Comp., 1993, s. 254-78.
4. Carpenter MB. Human Neuroanatomy. 7. Baskı. Baltimore, The Wiliams & Wilkins Company, 1976, s. 336-42, 578.
5. Carpenter RHS. Neurophysiology. 2. Baskı. London, Edward Arnold, 1991, s. 116-23.
6. Kahle W. Nervensystem und Sinnesorgane. Taschenatlas der Anatomie. Cilt 3. 6. Baskı. Stuttgart, Georg Thieme Verlag, 1991, s. 350-9.
7. Kelly JP. The sense of balance. Principles of Neural Sciences'da. (Ed.) Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM. 3. Baskı. London, Prentice Hall Int., 1991, s. 500-11.
8. Marieb EN. Human Anatomy and Physiology. 2. Baskı. California, The Benjamin Cumings Publ. Comp., 1992, s. 530-3.
9. Nieuwenhuys R, Voogd J, Van Huijzen C. The Human Central Nervous System. A Synopsis and Atlas. 3. Baskı. Berlin, Springer Verlag, 1991, s. 167-74.
10. Pansky B, Allen DJ, Budd GC. Review of Neuroscience. 2. Baskı. New York, Macmillan Publishing Comp., 1992, s. 300-9.
11. Peele TL. The Neuroanatomic Basis for Clinical Neurology. 3. Baskı. New York, Mc Graw-Hill Book Comp., 1977, s. 230-47.
12. Putz R, Pabst R. Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen. 20. Baskı.CD-ROM Versiyon 1.5. München, Urban Schwarzenberg, 1998., 1994, s. 120-8.
13. Rohen JW. Funktionelle Anatomie des Nervensystem. 5. Baskı. Stuttgart, Schattauer, 1994, s. 120-8.
14. Romero-Sierra C. Neuroanatomy. A Conceptual Approach. New York, Churchill Livingstone, 1986, s. 329-34.
15. Schiebeler TH, Schmitz W, Zilles K. Anatomie. 7. Baskı. Berlin, Springer Verlag, 1997, s. 716-8.
16. Van De Graaf KM, Fox SI. Concepts of Human Anatomy and Physiology. 2. Baskı. Iowa, WMC Brown Publishers, 1985, s. 567-8.
17. Waxman SG, deGroot J. Correlative Neuroanatomy. 22. Baskı. Norwalk, Appleton Lange, 1995, s. 230-4.
18. Williams PL, Warwick R, Dyson M, Bannister LH. Gray's Anatomy. 37. Baskı. Edinburgh, Churchill Livingstone, 1986, s. 1229-34.
19. Zenner HP. Gleichgewicht. Neuro-und Sinnesphysiologie'de. (Ed.) Schmidt RF. 2. Baskı. Berlin, Springer Verlag, 1995, s. 329-44.
20. Zilles K, Rehkämper G. Funktionelle Neuroanatomie. Lehrbuch und Atlas. 2. Baskı. Berlin, Springer Verlag, 1994, s. 228-41.