

# Vestibularno osjetilo, njegova uloga u spaciocepciji i odnos s višim moždanim funkcijama

---

**Aras, Ivana**

*Source / Izvornik:* **Verbotonalni razgovori, 2021, 55 - 66**

**Book chapter / Poglavlje u knjizi**

*Publication status / Verzija rada:* **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:257:740414>

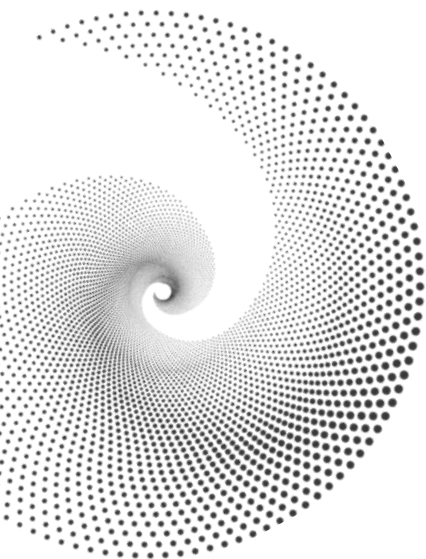
*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-02-27**



*Repository / Repozitorij:*

[SUVAG Polyclinic Repository](#)



# VESTIBULARNO OSJETILO, NJEGOVA ULOGA U SPACIOCEPCIJI I ODNOS S VIŠIM MOŽDANIM FUNKCIJAMA

Ivana Aras

Verbotonalna teorija u svojoj je osnovi multisenzorička. Više moždane funkcije, uključujući slušanje i govor, usvajaju se putem senzoričkih doživljaja koji nastaju kao rezultat aktivacije osjetila, koja obično u percepciji rade zajedno (kao jedinstveni sustav spaciocepcije), iako je svako osjetilo na periferiji „specijalizirano“ za prijam određenog podražaja. Taj podražaj ipak je samo dio cjeline događaja koji se odvija oko nas i u nama te koji tako u cjelini i percipiramo, dijelom svjesno, a dijelom i nesvjesno.

Vestibularno osjetilo jedno je od osjetila u sustavu spaciocepcije kojim spoznajemo prostor oko sebe i u sebi. Tradicionalno gledano, ono se smatra osnovom za izvedbu temeljnih orijentacijskih reakcija, kao što su refleksni očni pokreti, kontrola stava tijela, ravnoteže i orijentacije koji se događaju kao reakcija na podražaj perifernog osjetila smještenog u koštanom labirintu unutrašnjeg uha. Prve aferentne projekcije vestibularnog živca idu u vestibularne jezgre u moždanom deblu i u mali mozak. Vestibularne jezgre igraju važnu ulogu u motoričkim refleksima kojima se kontroliraju pokreti očiju, stabilizirajući sliku na retini i stav tijela pomoću vestibulospinalnih refleksa kojima se uravnotežuje tijelo. Uloga malog mozga dominantna je u regulaciji veličine i intenziteta ovih pokreta. Već na ovoj razini aferentni vestibularni signali integriraju se sa somatosenzornim, proprioceptivnim i vidnim podražajima. Ukratko, ovi putovi na nižim centralnim razinama usklađuju prostorni odnos između organizma i okoline kojom se kreće i prema kojoj se orijentira. Složenost građe i funkcije ovog perifernog dijela, njegova povezanost sa strukturama malog mozga i moždanog debla, jaka povezanost s drugim osjetilima već na ovoj nižoj razini središnjeg živčanog

sustava te široki raspon vrste i intenziteta refleksnih motoričkih pokreta, koji su za njega vezani i danas su izazov za sve koji se ovim osjetilom bave u dijagnostičkom i terapijskom smislu.

Međutim, uz sve ovo, prepoznata je i šira vestibularna mreža koja se penje još centralnije, mnogo iznad davno prepoznatih refleksnih motoričkih krugova. Ova mreža daje temeljnu podlogu za vestibularni utjecaj na kognitivno.

Važna je osobitost vestibularnog osjetila da dominantno reagira na podražaje koji se događaju u samom tijelu (kretanje je obično posljedica vlastite mišićne aktivnosti). Tijelo je izvor podražaja, slično kao i kod osjetila propriocepcije koje se sastoji od brojnih mehanoreceptora različitih oblika razasutih u koži, mišićima i zglobovima, koji reagiraju na pritisak ili rastezanje okolnih tkiva. Za razliku od ovoga, podražaji koji su vezani za percepciju okoline više se zamjećuju vidom, sluhom, njuhom i površinskim dodirom, što značajno definira njihovu funkciju i važnost u spaciocepciji. Vestibularno osjetilo ne percipira povremene istaknute, izdvojene događaje iz okoline koje uzrokuju vanjski nasumični, slučajni objekti (npr. čujemo da je vani zalajao pas ili vidimo da je preletjela ptica). Suprotno tome, vestibularna informacija i vestibularni doživljaj usmjereni su na vlastitu nutrinu i čine sveprisutnu pozadinu za sve aktivnosti i interakcije. Ona omogućava stalnu informiranost mozga o položaju i kretanju glave u prostoru, dajući tako kulisu ili pozadinu za mentalne aktivnosti, odnosno određenu vrstu konteksta (Ferrè i Haggard, 2020).

Iako točna struktura vestibularnog sustava, njegovih centralnih veza, fiziologije i interakcija ni do danas nije u potpunosti razjašnjena, a otkriće samog osjetila i njegove funkcije datira tek iz 19. stoljeća, već se i prije toga iskustveno naslućivala povezanost vestibularne stimulacije i modulacije kognitivnih funkcija i emocija te se ona intuitivno primjenjivala za smirenje, utjehu pa čak i liječenje ljudi (Grabherr i sur., 2015). Svaka majka intuitivno smiruje uplakano malo dijete vestibularnom stimulacijom (njihanje, ljuljanje). U tom je smislu ona potencijalno široko područje za snažnu, iako neinvazivnu terapijsku intervenciju, što je prepoznato i u verbotonalnoj metodi. Različite studije koje su proučavale utjecaj vestibularne stimulacije na neke segmente ljudskog ponašanja pojavljuju se još u 19. stoljeću, kada se rotacijski stolac koristio za liječenje manije ili povišenog uzbuđenja (Winter i sur., 2013). Sve više objektivnih spoznaja o vestibularnoj fiziologiji te uvođenje kaloričke i galvaničke stimulacije tijekom 20. stoljeća otvaraju nove mogućnosti za tretiranje različitih psihijatrijskih, neuroloških i neurorazvojnih stanja (Pansini, 1998; Kelly, 1989). Ta se opažanja koriste i do danas, proučavaju se i dalje iskustveno, a uz to se pokušavaju otkriti i što jasnije opisati neurofiziološki mehanizmi koji omogućavaju korištenje vestibularnog osjetila, njegovih veza i cjelokupne senzoričke u terapijske svrhe.

Vestibularno osjetilo jedino je od osjetila koje nema svoju specifičnu kortikalnu reprezentaciju (primarno vestibularno područje), nego komunicira s brojnim neurološkim strukturama koje su primarno odgovorne za neke druge funkcije. Upravo ova sveprisutnost vestibularnih signala otežava precizno shvaćanje kako točno vestibularni podražaj rezultira određenim doživljajem ili akcijom – organizacija čitavog sustava

još je uvijek nedovoljno poznata. S druge strane, iako je vestibularna kortikalna mreža definirana svojom odgovorljivošću na vestibularni podražaj, njezina neurofiziološka važnost upravo se nalazi u rasprostranjenosti i komunikaciji s drugim strukturama, zbog čega se vestibularnom stimulacijom može izazvati učinak na više neurokognitivnih funkcija. Vestibularno osjetilo jedinstveno je po multisenzoričkoj prirodi svojih kortikalnih projekcija.

U novije vrijeme ipak postoji mogućnost objektivizacije, anatomske i fiziološke prikaza senzoričkih putova upotrebom elektrofizioloških i neuroradioloških funkcionalnih studija, koje su jasno pokazale da postoji povezanost između perifernog vestibularnog osjetila i brojnih neuroloških struktura.

Elektrofiziološke studije na primatima opisuju raširenu vestibularnu subkortikalnu i kortikalnu mrežu čije je središnje područje parijeto-inzularni vestibularni korteks (PIVC), koji se nalazi u stražnjem parijetalnom operkulumu i širi se u stražnji inzularni režanj. Sukladno navedenom, kod ljudi neke subkortikalne i kortikalne regije (stražnji parijetalni operkulum, sekundarni somatosenzorni korteks, donji parijetalni korteks, gornji temporalni korteks, stražnja inzula i premotorno područje) pokazuju pojačanu hemodinamičku aktivnost kad se vestibularni sustav eksperimentalno podraži kaloričkom ili električnom stimulacijom (Frank i Greenlee, 2018). Kortikalnom električnom stimulacijom identificirana su područja uz Sylvijevu fisuru, uključujući parijetalni operkulum kao centar ove vestibularne mreže (Mazzola i sur., 2014). Studije koje su upotrebljavale neuroradiološke i elektrofiziološke metode (fMRI, PET, EEG), pokazale su da je ova mreža bilateralno aktivirana, čak i kod jednostrane vestibularne stimulacije (Bottini i sur., 1994; Lopez i Blanke, 2011). Dakle, nema projekcije ni na jedno monomodalno primarno kortikalno područje, nego u područja koja su tradicionalnim spoznajama vezana za druge funkcije: vidnu, somatosenzoričku, motornu, funkciju pamćenja i afektivnosti. Drugim riječima, multimodalnost je važna karakteristika vestibularnih centralnih veza.

Izuzetno bogata anatomska povezanost upućuje na to da vestibularni podražaji imaju modulatorni utjecaj koji prožima mnoge neurokognitivne funkcije. Postoje hipoteze o tri osnovna područja na kojima vestibularna stimulacija djeluje (Ferrè i Haggard, 2020):

- 1)** Autonomno područje koje uključuje putove za integraciju informacije vezane za uobičajene, stalne fiziološke procese, kao što su održavanje krvnog tlaka, srčana akcija, disanje, bol. Ovdje su uključene vestibularne projekcije u subkorteks uključujući moždano deblo, hipotalamus, mali mozak (fastigijalna jezgra) te u korteks, uključujući prednji cingulum i limbički sustav.
- 2)** Sensorimotorno područje uključuje putove za senzornu integraciju vestibularne, vidne, proprioceptivne i slušne informacije te za modulaciju motoričkog odgovora. Ovo je posredovano jakim vestibularnim projekcijama na parijetalni korteks, operkulum i inzulu.

- 3)** Kognitivno područje uključuje putove uključene u procese donošenja odluka, pažnje, emocija i sl. Ono može biti posredovano vestibularnim projekcijama na frontalni režanj i parijetalni režanj.

Odnos vestibularnog osjetila s kognicijom bio bi logična posljedica funkcionalne neuroanatomije vestibularnih projekcija, a predviđanja o utjecaju na određena ponašanja zaključuju se na osnovi preklapanja moždanih područja povezanih s određenom kognitivnom funkcijom i područjima koja se aktiviraju ciljano izazvanom vestibularnom stimulacijom. Postoje dvije teorije o tome kako se ova povezanost realizira: prva je da vestibularni signali održavaju tonus osnovnih krugova za kontrolu autonomnog sustava o kojemu ovise sve ostale funkcije. Druga su mogućnost neovisni putovi za različita područja odgovorna za određene funkcije.

## Polisenzorika ili kako vestibularno osjetilo utječe na percepciju drugih osjetnih podražaja

U brojnim tekstovima vezanima za VT dijagnostiku i rehabilitaciju naglašava se da sva osjetila senzoričkog sustava djeluju sinergijski, što znači da naša sveukupna osjetilna percepcija nije samo zbroj svih trenutačnih osjetilnih podražaja nego se osjetila u percepciju manje ili više uključuju prema potrebi (u okviru svojih mogućnosti). Jednim dijelom ovo možemo svjesno regulirati, u skladu sa svjesnim interesima i potrebama, ali je dobar dio senzoričke aktivnosti izvan svjesne kontrole. U ovom je smislu zanimljiv međusobni odnos osjetila i potencijalna snaga njihovih ulaza, naročito ako imamo na umu da se tim ulazima kreira i naše iskustvo, doživljaji, raspoloženje [brojne psihoterapijske tehnike koriste se modulacijom senzoričkog ulaza za postizanje određenih psihičkih stanja, raspoloženja (Aras, 1995)].

Ispitivanja provedena na primatima korištenjem neuroanatomskih i slikovnih tehnika pokazala su da vestibularna stimulacija aktivira somatosenzorno područje, kod majmuna ranije spomenuti PIVC, istovremeno deaktivirajući vidno područje. Studija provedena u ljudi, na zdravim dobrovoljcima, pokazala je da vestibularna stimulacija facilitira detekciju elektrokutanogstimulusa, što se pokazalo mjerenjem somatosenzoričkih evociranih potencijala stimulacijom živca na ruci (*n. medianus*). Kalorička stimulacija pojačala je N80 komponentu u evociranim potencijalima ipsi i kontralateralno. N80 komponenta smatra se odgovorom parijetalnog operkuluma koji je ljudski homolog PIVC-u u primata i potencijalno mjesto vestibularno-somatosenzoričke

konvergencije (Ferrè i sur., 2012). Ista skupina autora utvrdila je i da vestibularna stimulacija može različito modulirati različite komponente unutar somatosenzornog osjeta, pojačavajući, primjerice, osjetljivost na dodir, a smanjujući osjetljivost na bol. Zaključuju da vestibularni sustav na neki način sudjeluje u upravljanju senzoričkom, balansirajući različite senzorne sustave u skladu s promjenama iz okoline (Ferre i sur., 2013). Povezanost vestibularne stimulacije i kognitivnih procesa naglašava i studija koja je pokazala da se vestibularnom stimulacijom može mijenjati vremenska percepcija taktilnog podražaja (Moro i Harris, 2018).

## Propriocepcija i kognitivno

Propriocepcija je osjet položaja i pokreta dijelova tijela koji se dobije na temelju signala iz mišića, tetiva, zglobova i kože. Tijekom svakodnevnog, prirodnog kretanja njezino je djelovanje funkcionalno najuže povezano s vestibularnim osjetilom. Neosporna je i poznata njezina uloga u kontroli pokreta, stava tijela, održavanja ravnoteže, naročito na refleksnoj razini, ali se, slično kao i kod vestibularnog osjetila, još uvijek malo zna o njezinu utjecaju na prostornu kogniciju i više moždane funkcije (s druge strane, utjecaj, primjerice, osjetila vida na više funkcije puno se više spominje). Razlog za ovako „nepravedan“ postupak sigurno je barem dijelom u tome što je vidni ulaz prema potrebi vrlo lako uključiti ili isključiti (potrebna ispitivanja provode se otvorenih ili zatvorenih očiju), što značajno olakšava realizaciju kontroliranih eksperimentalnih uvjeta, dok je voljno isključenje propriocepcije, slično kao i kod vestibularnog osjetila, praktički nemoguće. Istraživanja su provedena u vrlo rijetkim slučajevima osoba s kroničnim, trajnim i jakim oštećenjem propriocepcije zbog senzorne neuropatije, ali je većina ispitivanja bila usmjerena na njihovo posljedično motoričko oštećenje, a malo ih je usmjereno na utjecaj propriocepcije na kognitivne funkcije. Utvrdilo se, ipak, da stečeni proprioceptivni deficit produljuje vrijeme potrebno za adekvatno reagiranje u prostornim zadacima koji uključuju korištenje unutarnje, vlastite prostorne reprezentacije (Renault i sur., 2018). S druge strane, pokazalo se i da se neki oštećeni kognitivni procesi u pacijenata s traumatskom ozljedom mozga mogu poboljšati istovremenom proprioceptivnom stimulacijom (vibracijom na mišić), mjereno P300 u *event related* (engl.) potencijalima, čija se produljena latencija uz proprioceptivnu stimulaciju za specifični zadatak skraćuje (Muller i sur., 2002).

Interakcije među osjetilima su bogate i kombinacije zamršene, nekad razumljive, a nekad manje očekivane (Pansini, 1996). Pojedina istraživanja služe da se razjasne, objektiviziraju neke komponente senzoričke interakcije, da ih bolje zamjećujemo i lakše prihvatimo kada na njih nađemo u praksi.

## Emocije

Mnoga djeca pa i odrasli često pokazuju pozitivne reakcije tijekom i nakon pokreta koji dovode do vestibularne stimulacije. Kontrolirane studije u kojima se upotrebljavala rotacija ili kalorička stimulacija pokazale su da vestibularna stimulacija i kod zdravih osoba može modulirati raspoloženje i afektivnu kontrolu (ispitano bihevioralnim testovima i specifičnim upitnicima), ovisno o mjestu i načinu vestibularne stimulacije (Winter i sur., 2013; Preuss i sur., 2014). Ova istraživanja naglašavaju potencijal vestibularne stimulacije kao jednostavne i neinvazivne terapije za neke emocionalne teškoće ili poremećaje koje može biti teško liječiti drugim konvencionalnim načinima. Kao mogući mehanizam ovog pozitivnog djelovanja spominje se reintegracija oštećenih kortikalnih područja aktiviranjem talamokortikalnih centara (Schiff i Pulver, 1999). Pri tome, vestibularne jezgre imaju ulogu relejnih stanica između perifernog i centralnog živčanog sustava.

Veza između vestibularnog osjetila i osjećaja dvosmjerna je: vestibularna disfunkcija i fizička nestabilnost negativno utječu na raspoloženje, mogu biti povezane s anksioznim poremećajima i depresijom, a s druge strane, emotivne teškoće mogu utjecati na tjelesnu ravnotežu. Nerijetko je upravo održavanje ravnoteže ciljna funkcija somatizacije psihičkih teškoća i smatra se barem dijelom posredovana vestibularnim refleksnim putovima (Bolmont i sur., 2002).

Smatra se da utjecaj vestibularne stimulacije na emocije posreduju njegove projekcije na limbički sustav, inzulu, cingulum, hipokampus i parabrahijalnu jezgru, prolazeći i kroz cerebelum, moždano deblo, diencefalon i amigdalu, što je pokazalo više studija uglavnom koristeći funkcionalnu magnetsku rezonanciju (Suzuki i sur., 2001; Fasold i sur., 2002; Dietrich, 2007). Za razumijevanje važnosti ovih veza potrebno je, barem u osnovnim crtama, navesti i opisati aktivnosti ovih neuroloških struktura.

Limbički sustav je glavni sustav viših centara koji utječu na emocije, pamćenje i ponašanje, naročito ponašanje vezano za funkciju preživljavanja (hranjenje, reprodukcija, briga za potomstvo, odluka o borbi ili o bijegu). Limbički sustav obuhvaća granično područje korteksa i subkortikalnih struktura, uključujući i jedne i druge: cingularni i parahipokampalni girus, jezgre u amigdali, hipokampusu i hipotalamusu (Queensland Brain Institute, 2019). Ulogu limbičkog sustava prvi je objasnio Papez još 1937. Papezov krug uključen je u emocije, motivaciju, povezanost ponašanja i autonomnih funkcija, ali i patoloških reakcija kao što su bezrazložni bijes, agresija i poremećaj seksualnosti. Zdrav limbički sustav sudjeluje u svrhovitom usmjeravanju nagona, regulaciji viših oblika emocionalnog ponašanja, motivacija, autonomnih i endokrinih funkcija (Hrvatska enciklopedija, 2021). I u ovom modelu naglašava se prisutnost veza između vestibularnog i limbičkog sustava. Pomoću funkcionalne MR mozga pokazalo se da vestibularna stimulacija aktivira limbički sustav i neokorteks, dakle pokazala se neuroanatomska i vjerojatno neurokemijska veza između vestibularne stimulacije i limbičkog dopaminergičkog sustava (Vitte i sur., 1996). Ipak,

objašnjenje funkcioniranja i regulacije ovih kompleksnih struktura još je uvijek vrlo ograničeno i točan mehanizam interakcije nije poznat.

Hipotalamus je vitalni dio limbičkog sustava, inače odgovoran i za termoregulaciju i regulaciju nekih vitalnih životnih funkcija (glad, žeđ, raspoloženje), produkciju hormona. Lezije hipotalamusa obično su se vezale za ekstremnu pasivnost, gubitak volje i motivacije, pojačano jedenje i pijenje, bijes, nasilno ponašanje, odnosno za ponašanja koja izazivaju značajne probleme za pojedinca, ali i društvo. Stoga je očekivan interes istraživača da shvate ulogu i mogućnosti korištenja jednostavnih i dostupnih tretmana, kao što je vestibularna stimulacija za poremećaje vezane uz disfunkciju hipotalamusa. U tom je smislu interesantna i mogućnost modulacije hipotalamo-hipofizno-adrenalne osovine (za sada u eksperimentalnih životinja) vestibularnom stimulacijom putem vestibulo-paraventrikularne polisinaptičkih putova (Markia i sur., 2008). Vestibularni je sustav povezan s lateralnim i stražnjim hipotalamusom, koji je mjesto brojnih endokrinih funkcija (Metts i sur., 2006).

Amigdala i hipokampus glavni su dijelovi limbičkog sustava uključeni u regulaciju emocija i memoriju. Amigdala (zajedno s prefrontalnim režnjem) važna je za emotivne reakcije uključujući zadovoljstvo, strah, anksioznost ili ljutnju. Ona daje emotivno značenje pamćenju i na taj način određuje koliko će jako sjećanja biti pohranjena (jača su i trajnija ona s većim emotivnim značenjem). Ona modulira dekodiranje i pohranu memorije vezane uz hipokampus (prostorna memorija) te se tu vidi potencijalna uloga vestibularne stimulacije na poboljšanje, naročito, prostornog pamćenja (Doll i sur., 2016). Metodom retrogradnog transneuralnog virusnog praćenja pokazalo se postojanje vestibularne projekcije na središnje amigdalne stanice. Nađene su također i kemijske veze između vestibularnih jezgara i hipokampusa (Smith, 1997).

Autonomni živčani sustav odgovoran je za homeostazu brojnih vitalnih metaboličkih i hormonskih tjelesnih procesa. Djelovanje vestibularnog sustava i njegovih veza na autonomni živčani sustav dobro je poznato. Pacijenti s vestibularnim poremećajima često imaju i simptome autonomne disfunkcije (povraćanje, znojenje, proljev, lupanje srca). Autonomna disfunkcija, s druge strane, može biti okidač za pojavu vestibularnih simptoma, kao što i vestibularna simptomatologija može uzrokovati ili pojačati pojavu anksioznih tegoba kod određenih pacijenata (Takeda, 2006). Stoga se smatra da i autonomni živčani sustav može biti potencijalno cilj vestibularnih vježbi i terapije. Vestibularni sistem stabilizira autonomni sustav stimulacijom vagusa, glavnog parasimpatičkog živca te inhibirajući simpaticus, što generalno na organizam djeluje umirujuće.

Inzula je dio korteksa koji se nalazi duboko u bočnoj površini mozga, pokriven čeonim, tjemenim i sljepočnim režnjem. Dio je multimodalnog vestibularnog korteksa (PIVC) i vezana je za limbički sustav. Ona prima interoceptivni podražaj cijelog tijela koji povezuje s kognitivnim da bi se dobila kontekstualna informacija. Svako emotivno iskustvo, naime, ovisi o percepciji vlastite tjelesne reakcije na određeni stimulus, ali i o kognitivnoj procjeni tog istog osjeta. Tako ona obrađuje informacije koje proizvode emocionalno bitna osjetna iskustva. Smatra se da kod poremećaja ovisnosti



(npr. korištenje opijata i sl.) upravo aktivacija inzule dovodi do intenzivne, urgentne potrebe karakteristične za ovaj poremećaj (Suzuki, 2012).

Brojne studije pokazale su, dakle, povezanost vestibularnog osjetila sa strukturalima limbičkog sustava, što daje mogućnost utjecaja na emocije utjecajem na više centre i autonomni živčani sustav. Stoga se može zaključiti da bi vestibularna stimulacija mogla koristiti i kod različitih emotivnih poremećaja te da postoji potreba za razvojem specifičnih tehnika koje bi se u tu svrhu upotrebljavale (Rajagopalan i sur., 2017).

U verbotonalnoj metodi emotivnost, prirodna afektivnost treba imati svjesno važnu ulogu i to ne samo radi puke ugone nego i zato što se emotivno obojane situacije bolje uče i pamte. Što je najvažnije, u emotivnoj optimali govora ekonomičnost je poruke najveća, drugim riječima, sve se razumije (ovo je dobro poznato i u umjetnosti – pogledati tekst iz *Verbotonalnih razgovora*: Primjer emocionalne optimalne, gdje prof. Pansini tako genijalno prepoznaje „najvažniju od svih optimala“ u malom ulomku iz Ane Karenjine L. N. Tolstoja).

Uloga pokreta, a time i čitavog perceptivnog sustava koji pokret uvjetuje i modulira, davno je prepoznata u verbotonalnoj metodi te je upravo to dalo zamah razvoju dijagnostike i posebno proučavanju cijelog sustava za kontrolu pokreta i održavanje ravnoteže u kojem vestibularno osjetilo ima središnju ulogu, što je i razlog sustavnog bavljenja vestibulologijom u Poliklinici SUVAG.

Proučavanje perifernog vestibularnog osjetila u dijagnostičkom smislu daje nam uvid u njegovu anatomiju i fiziologiju, ali i upućuje na različite načine kojima se ono može podraživati, koji dio osjetila reagira na specifičan podražaj, je li reakcija očekivana, fiziološka ili pak oštećena, patološka u bilo kojem smjeru (oslabljeno ili preosjetljivo), jer o tome ovisi kakav će podražaj biti za stimulaciju optimalan. Slično kao što kod rehabilitacije slušanja najprije provedemo audiometriju i funkcionalne pretrage da bismo odredili kakvim ćemo rehabilitacijskim postupcima poboljšati slušanje i razabirljivost govora, učvrstiti ili razviti slušne strukture, širiti optimalno polje. Vestibularno osjetilo ima puno zamršeniju dijagnostiku – još uvijek ne postoje tehnike kojima bismo mogli odrediti prag ili optimalno podraživanje direktnim ispitivanjem svjesnog osjeta (kao što vrlo jednostavno možemo za sluh ili vid), nego se vestibularna aktivnost prepoznaje pomoću refleksa moždanog debla (ranije spomenuti vestibulookularni, vestibulospinalni i vestibulokolični refleksi), koji su toliko jaki da su pri ispitivanju pouzdaniji i „precizniji“ nego svjesni vestibularni doživljaj kretanja ili vrtnje (što nije neobično uzevši u obzir ranije navedenu široku kortikalnu distribuciju vestibularnog podražaja). Svjesni odgovor u ovom je slučaju grublji, neprecizan i ima puno viši prag nego elektrofiziološki odgovor. Primjerice, u nistagmografiji možemo imati pojavu nistagmusa – vestibulookularnog refleksa, ili pojavu valova evociranih mišićnih potencijala u elektrofiziološkim pretragama kao posljedicu vestibulokoličnog refleksa u VEMP-u, a da pacijent pri tome ne osjeća nikakvo kretanje. Razine aktivacije autonomnog sustava (mučnina, povraćanje koji nekad prate vrtnju) također su vrlo individualne. Suprotno tome, jedini refleks, također na razini moždanog debla, koji dolazi od slušnog puta – kohleostapesni, pojavljuje se tek na oko 60 dB

iznad praga. Prije nam ne treba, njegova je uloga zaštitna. To pokazuje različitosti u organizaciji funkcioniranja pojedinih osjetila i objašnjava zašto smo informacije iz jednog osjetila više svjesni nego informacije iz drugog te im sukladno tome dajemo veću važnost u percepciji.

## Vestibularne optimale, senzoričke optimale

Suvremene tehnike prikaza anatomije i funkcije senzoričkih putova (radiološke, elektrofiziološke) dokazale su da postoji značajna povezanost vestibularnog osjetila i kognitivnih funkcija, koja se ranije iskustveno naslućivala, ali se u gotovo svim studijama naglašava da smo još uvijek daleko od potpunog razumijevanja vestibularne fiziologije i njezina sveukupnog djelovanja. Uz to, dosadašnje studije koje proučavaju vezanost vestibularnog i kognitivnog u mnogočemu su nesustavne. U prvom redu, vrste vestibularne stimulacije su različite. Uglavnom se koristi kalorička i galvanska (strujna) vestibularna stimulacija, pri čemu kalorička stimulira uglavnom samo lateralni polukružni kanal, a galvanska cijelo periferno osjetilo. Dalje, unutar iste vrste podražaja postoje razlike u intenzitetu, trajanju i drugim parametrima podražaja.

Ako razmišljamo o vestibularnoj stimulaciji u terapijske svrhe, potrebno je proučiti kakvu ćemo stimulaciju izabrati za željeni rezultat. Koji podražaj, kojim intenzitetom, koja vrsta gibanja (kutno, linearno, kombinacija), promjene podražaja, vrijeme promjene, smjer, brzina gibanja. Djeca svakako imaju drugačiju normu i optimalu vestibularnog stimuliranja nego odrasli. Oni podnose više stimulacije, štoviše, prirodno je traže, sami istražuju granice vlastitog osjetila, organizirajući svoj senzorički sustav na prirodan način i pri tome osjećaju ugodu. Vestibularno osjetilo još se u fetusu među prvima razvija, a stimulira ga kretanje majčina tijela. Veze između labirinta i okulomotornih jezgara u moždanom deblu nastaju između 12 i 24 tjedna (važno za kasniju mogućnost fiksacije pogleda i orijentaciju). Vestibularni sustav prvi se mijelinizira, već do 5. mjeseca gestacije cijeli je sustav prilično razvijen i opskrbljuje fetalni mozak senzoričkim informacijama (Cech i Martin, 2012). Ipak, iako je osjetilo strukturno dovršeno kod rođenja, maturacija se nastavlja da bi se djetetu omogućila kontrola stava tijela, pokreta i ravnoteže. Deprivacija ove prirodne i svrhovite potrebe za kretanjem mogla bi imati puno značajnije posljedice od onih koje su u prvi čas očekivane i vidljive, u smislu motoričke nespretnosti ili lošijih protektivnih refleksa (npr. pri padu). U ovom svjetlu može se raspoznati i mogućnost kognitivne deprivacije kod djece koja su u ranoj dobi pojačano stimulirana vidnim sadržajima, gdje se prostor, situacija i gibanje doživljavaju prvenstveno vidom, uz obilje negovornih slušnih podražaja koji imaju funkciju stvaranja kulise i aktivacije autonomnog sustava, stva-

rajući napetost koja se rješava ispunjenjem zadatka, ali ne dolazi iz vlastitog tijela, što je situacija kod rane izloženosti elektroničkim sadržajima.

I na kraju možemo zaključiti da je podraživanje prilikom vestibularne stimulacije za različite ciljeve još slabo standardizirano, ali se, kao i obično u primjeni VT metode, vodimo opažanjem reakcija koje smo izazvali kod pacijenta. Terapijska senzorička stimulacija bilo kojeg modaliteta ili njihove kombinacije mora biti ugodno iskustvo, iskustvo koje se želi ponoviti. Onda znamo da smo pronašli optimalu i da su stvoreni uvjeti za učenje. To je ona reakcija zadovoljstva kad pacijent spozna da nešto čuje ili osjeća, što ranije nije mogao, ili mu je bilo nepoznato ili strano, a sada mu se daje smisao.

Svaki ugodan osjetni podražaj modulacijom određenih karakteristika (intenzitet, učestalost, frekvencija ili čak neprimjerena afektivnost) može postati nelagodan i to je znak da smo otišli predaleko izvan granica optimalnog polja i da mu se ponovo trebamo vratiti, ponovo ga polako širiti kada za to bude uvjeta. Treba naglasiti da ovo vrijedi za sva osjetila i njihove kombinacije. Granica između senzoričke ugone i nelagode nije oštra, a uz to je i pomična, ovisi dobrim dijelom i o emotivnom stanju pacijenta i uz to vezanom stanju autonomnog živčanog sustava koji mora biti u ravnoteži. Upravo je ovo sivo, granično područje osjeta glavno mjesto u kojem se zadržavamo u procesu širenja optimalnog polja te nam i tu vestibularno osjetilo može pomoći u stvaranju optimalnog konteksta u kojemu ćemo pacijentu prezentirati neki sadržaj koji želimo da bude prihvaćen, poboljšavajući mu pažnju, koncentraciju i povezivanjem osjećaja ugone izazvane dodatnom vestibularnom stimulacijom s novim znanjima i novim senzoričkim iskustvima.

## Literatura

- Aras, I. (1995). Uvod u neurolingvističko programiranje. *Verbotalni razgovori*, 1(1), 1–3.
- Bolmont Benoît, Gangloff, P., Vouriot, A., & Perrin, P. P. (2002). Mood states and anxiety influence abilities to maintain balance control in healthy human subjects. *Neuroscience Letters*, 329(1), 96–100. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(02\)00578-5](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(02)00578-5)
- Bottini, G., Paulesu, E., Gandola, M., Loffredo, S., Scarpa, P., Sterzi, R., Santilli, I., Defanti, C. A., Scialfa, G., Fazio, F., & Vallar, G. (2005). Left caloric vestibular stimulation ameliorates right hemianesthesia. *Neurology*, 65(8), 1278–1283. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000182398.14088.e8>
- Cech, D., & Martin, S. (2012). *Functional Movement Development Across the Life Span*. W B Saunders Company.
- Dieterich, M. (2007). Functional brain imaging: a window into the visuo-vestibular systems. *Current Opinion in Neurology*, 20(1), 12–18. <https://doi.org/10.1097/wco.0b013e328013f854>
- Doll, A., Hölzel, B. K., Mulej Bratec, S., Boucard, C. C., Xie, X., Wohlschläger, A. M., & Sorg, C. (2016). Mindful attention to breath regulates emotions via increased amygdala–prefrontal cortex connectivity. *NeuroImage*, 134, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.03.041>
- Fasold, O., von Brevern, M., Kuhberg, M., Ploner, C. J., Villringer, A., Lempert, T., & Wenzel, R. (2002). Human Vestibular Cortex as Identified with Caloric Stimulation in Functional Magnetic Resonance Imaging. *NeuroImage*, 17(3), 1384–1393. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1241>
- Ferrè, E. R., & Haggard, P. (2020). Vestibular cognition: State-of-the-art and future directions. *Cognitive Neuropsychology*, 37(7-8), 413–420. <https://doi.org/10.1080/02643294.2020.1736018>
- Ferrè, E. R., Bottini, G., & Haggard, P. (2012). Vestibular inputs modulate somatosensory cortical processing. *Brain Structure and Function*, 217(4), 859–864. <https://doi.org/10.1007/s00429-012-0404-7>
- Ferrè, E. R., Bottini, G., Iannetti, G. D., & Haggard, P. (2013). The balance of feelings: Vestibular modulation of bodily sensations. *Cortex*, 49(3), 748–758. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.01.012>
- Frank, S. M., & Greenlee, M. W. (2018). The parieto-insular vestibular cortex in humans: more than a single area? *Journal of Neurophysiology*, 120(3), 1438–1450. <https://doi.org/10.1152/jn.00907.2017>
- Grabherr, L., Macaudo, G., & Lenggenhager, B. (2015). The Moving History of Vestibular Stimulation as a Therapeutic Intervention. *Multisensory Research*, 28(5-6), 653–687. <https://doi.org/10.1163/22134808-00002495>
- Kelly, G. (1989). Vestibular Stimulation as a Form of Therapy. *Physiotherapy*, 75(3), 136–140. [https://doi.org/10.1016/s0031-9406\(10\)62765-4](https://doi.org/10.1016/s0031-9406(10)62765-4)
- The limbic system*. Queensland Brain Institute. (2019). <https://qbi.uq.edu.au/brain/brain-anatomy/limbic-system>.
- Limbički sustav*. Hrvatska enciklopedija. (2021). <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=36554>.
- Lopez, C., & Blanke, O. (2011). The thalamocortical vestibular system in animals and humans. *Brain Research Reviews*, 67(1-2), 119–146. <https://doi.org/10.1016/j.brainres-rev.2010.12.002>
- Markia, B., Kovács, Z. I., & Palkovits, M. (2008). Projections from the vestibular nuclei to the hypothalamic paraventricular nucleus: morphological evidence for the existence of a vestibular stress pathway in the rat brain. *Brain Structure and Function*, 213(1-2), 239–245. <https://doi.org/10.1007/s00429-008-0172-6>
- Mazzola, L., Lopez, C., Faillenot, I., Chouhrou, F., Mauguière, E., & Isnard, J. (2014). Vestibular responses to direct stimulation of the human insular cortex. *Annals of Neurology*, 76(4), 609–619. <https://doi.org/10.1002/ana.24252>
- Metts, B. A., Kaufman, G. D., & Perachio, A. A. (2006). Polysynaptic inputs to vestibular efferent neurons as revealed by viral transneuronal tracing. *Experimental Brain Research*, 172(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s00221-005-0328-z>

- Moro, S. S., & Harris, L. R. (2018). Vestibular-somatosensory interactions affect the perceived timing of tactile stimuli. *Experimental Brain Research*, 236(11), 2877–2885. <https://doi.org/10.1007/s00221-018-5346-8>
- Mukkadan, J. K., Rajagopalan, A., Jinu, K. V., Sailesh, K. S., Mishra, S., & Reddy, U. K. (2017). Understanding the links between vestibular and limbic systems regulating emotions. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*, 8(1), 11. <https://doi.org/10.4103/0976-9668.198350>
- Müller, S. V., von Schweder, A. J., Frank, B., Dengler, R., Münte, T. F., & Johannes, S. (2002). The effects of proprioceptive stimulation on cognitive processes in patients after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(1), 115–121. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.27472>
- Pansini, M. (1995). Primjer emocionalne optimalne. Iz „Ane Karenjine“ L. N. Tolstoja. *Verbotonalni razgovori*, 1(5), 16–17.
- Pansini, M. (1996). Bolje čuti. *Verbotonalni razgovori*, 2(12+7), 11–11.
- Pansini, M. (1998). Verbotonalni razgovor s Gschwendovom razvojnom rehabilitacijom. *Verbotonalni razgovori*, 3(12), 1–15.
- Preuss, N., Hasler, G., & Mast, F. W. (2014). Caloric Vestibular Stimulation Modulates Affective Control and Mood. *Brain Stimulation*, 7(1), 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2013.09.003>
- Renault, A. G., Auvray, M., Parseihian, G., Mi-  
all, R. C., Cole, J., & Sarlegna, F. R. (2018). Does Proprioception Influence Human Spatial Cognition? A Study on Individuals With Mas-  
sive Deafferentation. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01322>
- Schiff, N. D., & Pulver, M. (1999). Does vestibular stimulation activate thalamocortical mechanisms that reintegrate impaired cortical regions? *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1417), 421–423. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0654>
- Smith, P. F. (1997). Vestibular-hippocampal interactions. *Hippocampus*, 7(5), 465–471. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-1063\(1997\)7:5<465::aid-hipo3>3.0.co;2-g](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-1063(1997)7:5<465::aid-hipo3>3.0.co;2-g)
- Suzuki, A. (2012). Emotional functions of the insula. *Brain Nerve*, 64(10), 1103–1112.
- Suzuki, M., Kitano, H., Ito, R., Kitanishi, T., Yazawa, Y., Ogawa, T., Shiino, A., & Kitajima, K. (2001). Cortical and subcortical vestibular response to caloric stimulation detected by functional magnetic resonance imaging. *Cognitive Brain Research*, 12(3), 441–449. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(01\)00080-5](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(01)00080-5)
- Takeda, N. (2006). Autonomic dysfunction in patients with vertigo. *Japan Medical Association Journal*, 49, 153–157.
- Vitte, E., Derosier, C., Caritu, Y., Berthoz, A., Hasboun, D., & Soulie, D. (1996). Activation of the hippocampal formation by vestibular stimulation: a functional magnetic resonance imaging study. *Experimental Brain Research*, 112(3). <https://doi.org/10.1007/bf00227958>
- Winter, L., Wollmer, M. A., Laurens, J., Straumann, D., & Kruger, T. H. (2013). Cox's Chair Revisited: Can Spinning Alter Mood States? *Frontiers in Psychiatry*, 4(132). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00132>