

# Funkcionalni testi za oceno ravnotežnega organa – pregled literature in primer naših izkušenj

Functional tests for assessment of the vestibular system  
– literature review and an example of our experience

Metka Sluga,<sup>1</sup> Manja Hribar,<sup>2</sup> Saba Battelino<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija  
<sup>2</sup> Klinika za otorinolaringologijo in cervikofacialno kirurgijo, Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija

## Korespondenca/ Correspondence:

Saba Battelino, e: [saba.battelino@kclj.si](mailto:saba.battelino@kclj.si)

## Ključne besede:

benigna paroksizmalna vrtoglavica; centralne ravnotežne motnje; vrtoglavice; Dix-Hallpike-ov maneuvre; kalorimetrija

## Key words:

benign paroxysmal positional vertigo; central vestibular disorders; vertigo; Dix-Hallpike manoeuvre; calorimetry

Prispelo: 23. 9. 2019

Sprejeto: 5. 11. 2020



## Izvleček

Težave z ravnotežjem sodijo med pogoste vzroke za obisk pri zdravniku, njihov izvor pa je lahko precej raznovrsten. Na področju otorinolaringologije se posvečamo predvsem okvaram notranjega ušesa in ravnotežnega živca ter nakažemo morebitno centralno prizadetost ravnotežnega sistema. Za postavitev diagnoze pogosto ne zadostuje zgolj ena preiskava, pač pa je po navadi potrebna kombinacija različnih testov, s katerimi potrjujemo ali izključujemo prizadetost posameznih delov ravnotežnega sistema. V osnovi razlikujemo med testi, s katerimi ocenjujemo delovanje polkrožnih kanalčkov, in testi za oceno delovanja sakulusa in utrikulusa. Predstavljena je klinična raziskava, v kateri smo pri 1.042 bolnikih z jasno anamnezo za benigni paroksizmalni pozicijski vertigo le-tega dokazali v 36 %. Nujno je bilo opraviti še dodatna testiranja, ki jih predstavlja prispevek. Za razlago njihovih rezultatov se pogosto zanašamo na opazovanje in merjenje gibanja očesnih zrkel, pri čemer je pomembno poznavanje določenih refleksov za ohranjanje ravnotežja. Ob tem moramo upoštevati tudi simptome, ki jih navaja bolnik, in teste po potrebi dopolniti s slikovnodiagnosticskimi preiskavami. Natančne računalniške meritve in grafični zapisi danes nadomeščajo opazovanje s prostim očesom in subjektivno razlaganje opažanj preiskovalca.

## Abstract

Vertigo and other balance disorders are among the most common reasons for seeking medical care, which can have many different origins. The department of otorhinolaryngology mostly deals with disorders of the inner ear and the vestibular nerve while, at the same time, identifying possible diseases of central origin as the cause of symptoms. To make a diagnosis, a combination of several different tests is usually required, so that the impairment of different parts of the vestibular system can either be confirmed or disproved. In general, we distinguish between the tests to examine the function of the semicircular canals and the tests to estimate the function of the saccule and utricle. We describe a clinical trial, whereby we examined 1042 patients with clear anamnesis of benign paroxysmal positional vertigo, which was proven in 36%. Further tests, described in the following article, had to be run. To interpret the test results, we often rely on the observation and measurement of ocular movements. This requires the expertise on certain reflexes, responsible for maintaining balance. At the same time, we have to consider the patient's symptoms and complement the tests with other medical imaging techniques if necessary.

**Citirajte kot/Cite as:** Sluga M, Hribar M, Battelino S. Funkcionalni testi za oceno ravnotežnega organa – pregled literature in primer naših izkušenj. Zdrav Vestn. 2021;90(1–2):54–73.

DOI: <https://doi.org/10.6016/ZdravWestn.2985>

Avtorske pravice (c) 2021 Zdravniški Vestnik. To delo je licencirano pod Creative Commons Priznanje avtorstva-Nekomercialno 4.0 mednarodno licenco.

## 1 Uvod

Težave z ravnotežjem, vrtoglavico in omotičnostjo so nekateri od pogostejših vzrokov za obisk pri zdravniku. Bolniki jih opisujejo kot neprijetno motnjo orientacije v prostoru ter navidezen občutek premikanja telesa in/ali okolice kot vrtenje, majanje ali nagibanje. V splošni populaciji njihova prevalenca znaša okrog 17 %, pri starejših od 80 let pa ta naraste na 39 % (1). Bolezni ravnotežnega dela notranjega ušesa, ki skupaj z ravnotežnim živcem sodita pod periferni del ravnotežnega sistema, so le nekoliko pogostejše od centralnih bolezni (2). Sicer k sistemu za zagotavljanje ravnotežja v ožjem pomenu sodijo še ravnotežni živec in njegov ganglij, štiri ravnotežna jedra v možganskem deblu, ravnotežni del malih možganov ter posamezna področja možganske skorje (3). Vzroki za njegovo slabše delovanje imajo tako lahko nadvse različen izvor in patogenezo. Otorinolaringologija se pri težavah z ravnotežjem posveča predvsem boleznim notranjega ušesa ter okvaram slušno-ravnotežnega živca.

Prizadetost ravnotežnega sistema se običajno kaže kot kombinacija zaznavnih, okulomotoričnih, posturalnih ter avtonomnih simptomov in znakov: vrtoglavica, nistagmus, nestabilnost pri hoji (ataksija) ter slabost in bruhanje (1).

Z anamnezo najprej opredelimo vrsto simptoma, njegovo trajanje, sprožilne dejavnike ter morebitno sočasno okvaro sluha, pa tudi pridružene kronične bolezni, med katerimi predvsem internistične večinoma izrazito vplivajo

na ravnotežje. Potem nadaljujemo z otonevrološkim pregledom bolnika in osnovnimi preiskavami sluha. Sledijo testi za oceno ravnotežne funkcije, s katerimi lahko opredelimo motnje v posameznih strukturah, odgovornih za vzdrževanje ravnotežja.

## 2 Anatomija in fiziologija ravnotežnega organa

Ravnotežni organ v notranjem ušesu sestavljajo trije polkrožni kanali in otolitski organ. Polkrožni kanali (superiorni, posteriorni in lateralni) ležijo pravokotno drug na drugega, vedno delujejo v parih (posteriorni z anteriornim nasprotni strani ter oba lateralna) in v svojih ampulah vsebujejo kriste. Te z dlačnicami v svojih želatinastih kupolah glede na spremembo toka endolimfe v membranskem delu labirinta zaznavajo kotne pospeške. Otolitski organ v vestibulumu notranjega ušesa sestavljata sakulus, ki leži v navpični, in utrikulus, ki leži v vodoravni ravnini. S svojima čutilnima organoma, makulama, zaznavata linearne pospeške in gravitacijo (4). Ravnotežni organ je z ravnotežnim delom osmega možganskega živca preko jeder v možganskem deblu povezan z jedri nekaterih drugih možganskih živcev, malimi možgani in skorjo velikih možganov. Prave primarne ravnotežne skorje naši možgani ne vsebujejo, pač pa je ta sestavljena iz več ločenih področij. Gre za predele, v katerih se združujejo ravnotežni, slušni, vidni in somatosenzorični podatki (5).

Ti kažejo izrazito dominanco v desni možganski polobli. Med prvimi je bila kot ravnotežna opredeljena parieto-inzularna vestibularna skorja (PIVC), s kasnejšimi raziskavami pa so se kot ravnotežna področja opredelila še posteriorna inzularna skorja, temporo-parietalno stičišče, anteriorna inzula, pred- in postcentralni girus parietalnega režnja, ventrolateralni del okcipitalnega režnja in inferiorni frontalni girus z inferiornim delom precentralnega sulkusa (5).

Za razumevanje delovanja testov za oceno ravnotežja je pomembno tudi poznavanje določenih refleksov za njegovo ohranjanje. Prvi izmed njih je vestibulo-okularni refleks, ki omogoča stabiliziranje slike na mrežnici med premikanjem glave, tako da zrklo premika v nasprotni smeri in sliko pri tem ohrani v centralnem delu vidnega polja. Dražljaji za refleks izvirajo v glavnem iz polkrožnih kanalčkov, nato pa potekajo preko ravnotežnega živca do ravnotežnih jeder v možganskem deblu. Od tam se nevroni povezujejo z jedri možganskih živcev, ki skrbijo za delovanje zunanjih očesnih mišic in omogočajo ustrezno premikanje zrkla (6).

Za določene vrste testov je pomemben tudi vestibulospinalni refleks. Gre za skupek refleksov, katerih namen je stabilizacija telesa. Ob nagibu glave pride do vzdraženja polkrožnih kanalčkov obeh strani. Preko ravnotežnega živca in ravnotežnih jeder se dražljaji prenesejo po lateralnem in medialnem vestibulospinalnem traktu, kar privede do aktiviranja ekstenzornih mišic na strani, proti kateri je glava nagnjena, ter fleksorskih mišic na nasprotni strani. S tem se zagotovi stabiliziranje položaja telesa in glave (3).

Najpomembnejši kazalnik delovanja ravnotežnega sistema so spontani ali vzbujeni gibi zrkla. Glede na izvor v

grobem ločimo okularni, periferni vestibularni in centralni vestibularni nistagmus. Periferni nistagmus so ponavljajoči se koordinirani gibi zrkla okrog določene osi, sestavljeni iz počasne in hitre faze, po kateri njegovo smer tudi opredelimo (7). Tipičen periferni nistagmus je vodoraven, ima lahko pridruženo rotacijsko komponento in se ob odvzemu možnosti fiksiranja pogleda okrepi (npr. ob zaprtih vekah, v temi ali ob uporabi Frenzlavih očal z zelo visoko dioptrijo). Nistagmus 1. stopnje se pojavi ob pogledu v smeri hitre komponente, 2. stopnje tudi ob pogledu naravnost, nistagmus 3. stopnje pa je prisoten ob pogledu v vseh smereh (8). Po Aleksandrovem zakonu se nistagmus okrepi ob pogledu v smeri hitre faze in oslabi ob pogledu v nasprotni smeri (9). Glede na pojav nistagmusa pa ločimo spontani nistagmus, ki je razen v skrajnih legah oči, ter optokinetični, vedno patološki, ter izzvani (*angl.* evoked), ki ga sprožimo z gibi telesa, glave ali s kaloričnim oz. vibracijskim draženjem notranjega ušesa (10). Kot patološkega smatramo vsak nistagmus, ki nastane brez ustreznega fiziološkega draženja, ali pa odsotnost nistagmusa ob primernem draženju (8). Nistagmus lahko opazujemo s prostim očesom ali pa uporabljamo očala oz. kamere, ki sledijo zenicam in računalniško beležijo očesne gibe.

Ker ravnotežni organ ni enovita struktura, je potrebno ob težavah z ravnotežjem testirati vsak del organa posebej z različnimi frekvencami draženja. Sprva z draženjem testiramo polkrožne kanale, nato pa posebej ocenimo še funkcijo sakulusa in utrikulusa. Na podlagi tega lahko teste za oceno ravnotežnega organa razdelimo na skupino testov za oceno funkcije polkrožnih kanalov in skupino za ocenjevanje sakulusa in utrikulusa. Njihove povzetke predstavlja **Tabela 1**.

## 3 Testi za oceno ravnotežnega organa

### 3.1 Testi za oceno polkrožnih kanalčkov

Testi za oceno delovanja polkrožnih kanalčkov se v osnovi delijo glede na hitrost, s katero kanalčke dražimo, saj so ti na draženje z nizkimi ali visokimi frekvencami različno občutljivi (11). Med zelo nizko frekvenčne teste uvrščamo kalorično testiranje. Med nizkofrekvenčne sodi rotacijsko testiranje, med visokofrekvenčne pa test hitrih zasukov glave. Srednjefrekvenčnega testa ostrine vida ob hitrih premikih glave (*angl.* Dynamic Visual Acuity Test, DVAT), zelo visoko frekvenčnega testiranja vestibulocervikalnih refleksov (*angl.* vestibulo-colic reflex, VCR) ter draženja ravnotežnih organov z vibracijami (VIB) (11) v Avdiovestibulološkem centru ORL in CF klinike v Ljubljani ne izvajamo.

#### 3.1.1 Kalorično testiranje

Kalorično testiranje je v prvi vrsti namenjeno oceni delovanja lateralnega polkrožnega kanala. Temelji na principu, da s spremembo temperature v ušesu na podoben način kot pri vrtenju glave sprožimo občutek gibanja. Pri tem endolimfa znotraj lateralnega kanalčka zakroži in preko vestibulookularnega refleksa izzove odgovor v obliki nistagmusa, na podlagi katerega ocenjujemo vzdražnost kanalčka (12).

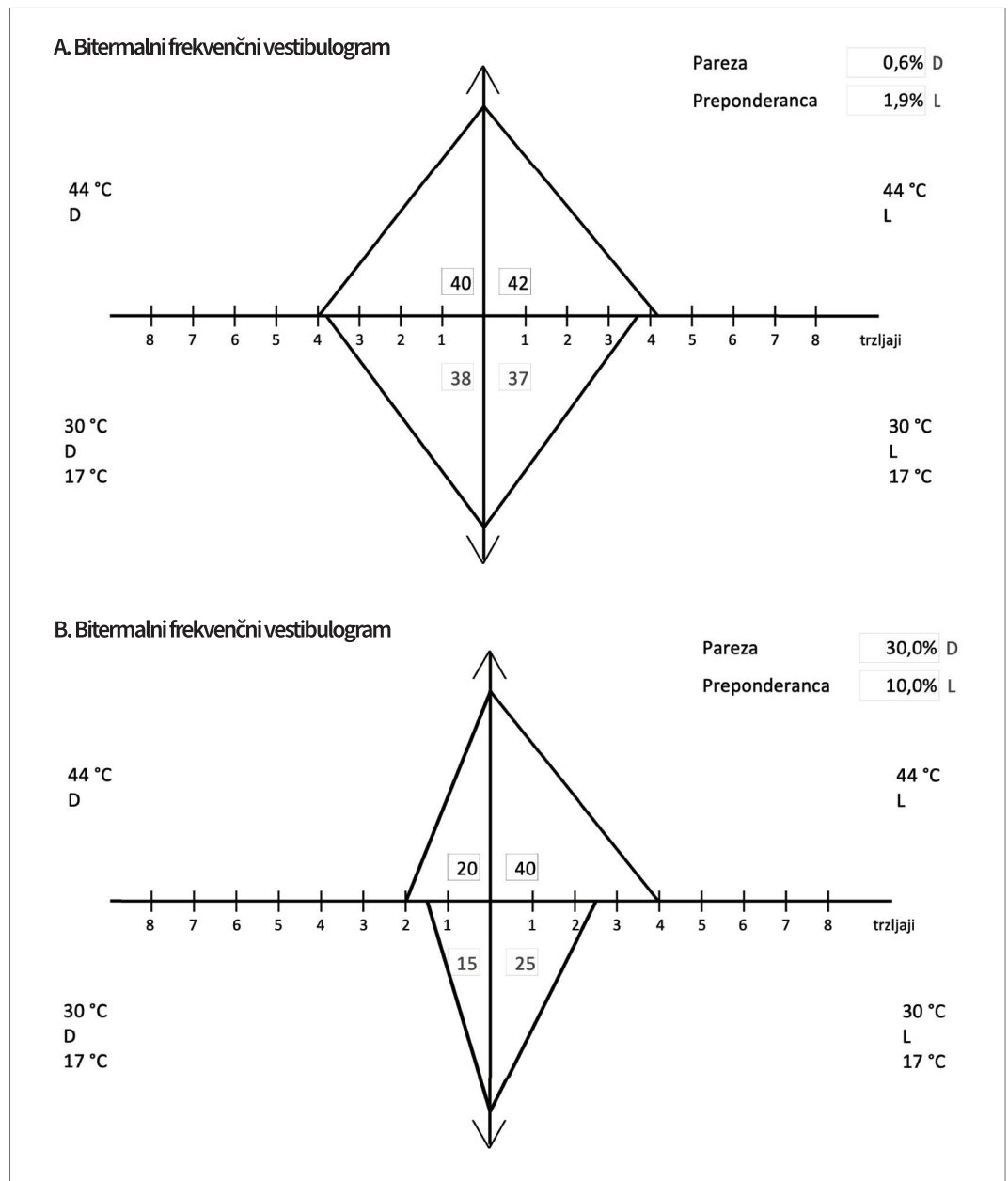
Potek preiskave: preiskovanca namestimo na hrbet, z glavo, dvignjeno pod kotom 30 stopinj. Preden pričnemo izpirati uho, s Frenzlovimi očali preverimo, ali je pri bolniku v stoječem oziroma sedečem položaju prisoten spontani nistagmus. Nato pol minute z vodo s temperaturo 30 °C izpiramo levi sluhovod,

naslednje pol minute pa štejemo oz. računalniško beležimo trzljaje preiskovančevih očesnih zrkel. Po kratkem premoru postopek ponovimo še na desnem ušesu. Ob stimuliranju z mrzlo vodo se praviloma pojavi nistagmus v nasprotni smeri draženega ušesa. Potem postopek na obeh ušesih ponovimo tudi z vodo, ogreto na 44 °C, pri čemer izzovemo nistagmus v smeri draženega ušesa. Če pri izpiranju ušesa v prvih dveh primerih ne izzovemo odgovora, postopek ponovimo še z vodo, ki ima temperaturo 17 °C. Kadar tudi v tem primeru odgovora ne izzovemo, ugotavljamo, da labirint ni kalorično vzdražljiv (11).

Gre za enega najpogosteje izvajanih testov ravnotežja, ki ga opravimo v primeru vrtoglavice in nestabilnosti, enostranske izgube sluha ali kakršnega koli drugega suma na nedelovanje periferne dela ravnotežnega sistema.

Pri razlagi izvidov je pomembna primerjava obeh strani in upoštevanje absolutnih vrednosti nistagmografskega odgovora, ki jih primerjamo s povprečnimi oz. normalnimi vrednostmi. Primer izvida kaloričnega testiranja prikazuje [Slika 1](#).

Pri primerjavi obeh polkrožnih kanalčkov opisujemo parezo (labirintno parezo/predominanco) in preponderanco (13). Pareza kanala se definira kot vsaj 20-odstotna razlika v nistagmografskem odgovoru med obema kanaloma in predstavlja zmanjšano funkcijo enega labirinta glede na nasproti ležeči labirint (14). Ta je pogosta pri vestibularnem nevritisu, Menièreovi bolezni in tumorjih osmega možganskega živca, lahko pa se pojavi tudi ob migrenah in možgansko-žilnih boleznih. Direkcijska preponderanca pa opisuje večjo jakost nistagmusa v določeni smeri glede na drugo stran, in sicer za vsaj 20–30 %. Klinično ima preponderanca precej različnih pomenov.



**Slika 1:** Grafični prikaz kaloričnega testiranja ravnotežnega organa. Pri manj kot 20-odstotni razliki v nistagmografskem odgovoru med obema kanaloma je izvid normalen (A), več kot 20-odstotna razlika v odgovoru med obema kanaloma pa predstavlja zmanjšano delovanje oz. parezo enega kanala glede na kanal na nasprotni strani (B).

Lahko je prisotna pri povsem zdravih ljudeh, lahko je odraz enostranske periferne ravnotežne okvare na nasprotni strani, centralne okvare ali celo poškodbe možganske skorje (13).

Glede na absolutne vrednosti

nistagmografskega odgovora opisujemo hiper-, hipo- in arefleksijo. Do hiperrefleksije pride, kadar s kaloričnim dražljajem izzvani nistagmus preseže normalno vrednost. Pri perifernih ravnotežnih okvarah lahko nastane na nasprotni ležaji



strani od prizadetega mesta. Vzrok pa je lahko tudi sprememba zgradbe ušesa, npr. po mastoidektomiji ali perforaciji bobniča. V primeru centralno ležečih okvar je hiperrefleksija lahko tudi obojestranska. Tak primer je okvara flokulusa malih možganov, ki v normalnem stanju zavira nevrone ravnotežnega jedra in s tem zavira vestibulookularni refleks, ob okvari pa do tega inhibicijskega učinka ne pride.

Hiporefleksija je lahko posledica različnih vzrokov, in sicer od zdravil, ki zavirajo delovanje labirinta ali njihovega toksičnega učinka na uho, vse do sistemskih infekcijskih bolezni, hipertenzije, možganskih tumorjev in degenerativnih bolezni centralnega živčevja ter anksioznosti, lahko tudi zaradi zlorabe psihoaktivnih snovi. Arefleksija oz. popolna neodzivnost na kalorični dražljaj je lahko del Usherjevega sindroma, posledica obojestranske periferne vestibularne odpovedi ali ototoksičnosti. Vzrok zanjo pa ostane v 20 % nepojasnen (15). Ni pa vedno povezana s popolno izgubo ravnotežne funkcije (13).

Kljub pogosti uporabi ima kalorični test določene pomanjkljivosti. Učinek, ki ga s spiranjem ušesa naredimo na preiskovančevo uho, se med posamezniki razlikuje. Tako težko primerjamo občutljivosti labirintov različnih oseb glede na absolutne vrednosti odgovorov na kalorični dražljaj. Primerjamo lahko predvsem občutljivost obeh ušes istega preiskovanca, pa še tu je potrebna določena mera previdnosti, saj dražljaja, ki ju prejmeta levo in desno uho, med seboj nista popolnoma enaka. Poleg tega je frekvenca, s katero pri testu vzdražimo kanalčke, dokaj nizka. Ravnotežni organ se najbolje odziva na hitre gibe glave s frekvenco 0,1 do 3 Hz. Pri kaloričnem testiranju pa receptorje vzdražimo s frekvenco 0,003 Hz, ki je precej nižja od

najbolj primerne. Poleg tega natančne jakosti draženja pravzaprav ne poznamo, zato moramo biti pri pojmovanju rezultatov pazljivi (16).

Testiranje posamezni preiskovanci občutijo kot precej neprijetno, saj lahko sproži napad vrtoglavice in slabost. Če preiskovalec oceni, da bi testiranje pri preiskovancu lahko sprožilo zelo slabo počutje, je treba izvedbo testa pravočasno prekiniti.

Redkeje se kalorično testiranje izvaja na obeh straneh hkrati. Le ob pojavu nistagmusa, torej pri drugačni vzdražnosti enega notranjega ušesa, se nadaljuje s testiranjem vsakega ušesa posebej (17).

### 3.1.2 Rotacijsko testiranje

Test z vrtljivim stolom je prav tako namenjen preverjanju občutljivosti sočasno stimuliranih lateralnih polkrožnih kanalčkov. Kot dražljaj pa se uporablja kotni pospešek (ob začetku vrtenja in po koncu) pri vrtenju celotnega telesa. Običajno ga uporabljamo v kombinaciji s kaloričnim testiranjem, testa pa po potrebi dopolnimo tudi z drugimi preiskavami ravnotežnega organa.

Vrtljivi stol omogoča pričvrstitev glave pod kotom 30 stopinj, v katerem je lateralni polkrožni kanal v skoraj vodoravnem položaju. Preiskovanca na stolu zavrtimo desetkrat v eno in v drugo smer s frekvenco vrtenja približno vrtljaj na sekundo. Ob tem, lahko s pomočjo nistagmografskih očal, opazujemo nistagmus med rotacijo (rotatorni nistagmus) in ob zaustavitvi (postrotacijski nistagmus) ter čas njegovega vztrajanja (18,19).

Testiranje je lahko sestavljeno iz različnih protokolov, v sklopu katerih preiskovanca vrtimo v obeh smereh z različnimi frekvencami in pospeški.

Glavne indikacije za rotacijsko testiranje so obojestranska pareza lateralnega

kanala, nezadovoljivi rezultati kaloričnega testiranja in dejstvo, da test dobro prenašajo majhni otroci, ki jih vrtimo v naročju staršev. S testom ocenimo oba ravnotežna organa hkrati. Daje nam predvsem podatke o preostali funkciji pri bolnikih z znaki bilateralne odpovedi ravnotežnega organa pri kaloričnem testiranju ter o centralni kompenzaciji pri enostranski parezi ravnotežnega organa (19).

### 3.1.3 Test hitrih zasukov glave

Za razliko od kaloričnega in rotacijskega testa, pri katerih vzdražimo in merimo le delovanje lateralnega polkrožnega kanala, lahko pri testu hitrih zasukov glave (*angl.* Head Impulse Test) testiramo delovanje vseh treh. Poleg tega so pri tem testu frekvence, s katerimi dražimo kanalčke, višje kot pri kaloričnem testiranju. Gre za preiskavo, pri kateri med pasivnimi, hitrimi in nepredvidljivimi premiki glave za 10 do 20 stopinj v različnih smereh merimo vestibulookularni refleks (VOR) vsakega polkrožnega kanalčka posebej (20).

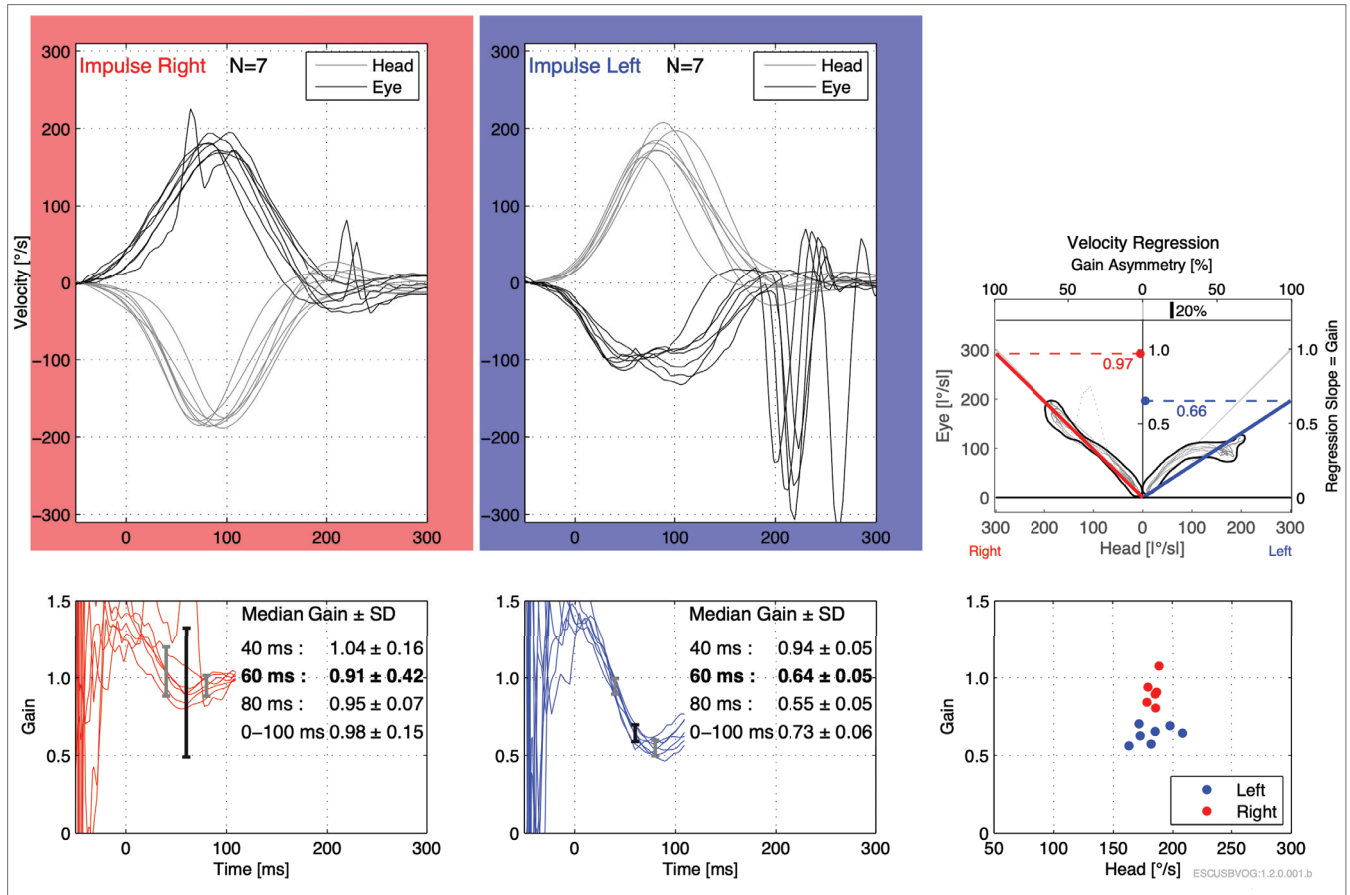
Prvotno je preiskovalec gibanje preiskovančevih oči spremljal zgolj z opazovanjem. Kasneje so pričeli gibe zrkel spremljati s pomočjo posebnih žic, ki so jih preko leče namestili na oko. Najnovejša različica tega testa pa je test vHIT (video – HIT), pri katerem s pomočjo lahkih, tesno prilegajočih se očal, na katera je nameščena kamera, med sunkovitimi gibi glave (impulzi) spremljamo kompenzacijske premike zrkel. Očala so povezana z računalniškim programom, ki gibe glave in zrkel sproti beleži in na osnovi le-teh ustvarja grafični zapis.

Po namestitvi očal se preiskovanec zazre v približno 1 meter oddaljeno določeno točko na steni pred njim. Preiskovančeva glava se zasuka za 35 stopinj v levo ali desno, njegov pogled pa ostane

fiksiran na točki. Preiskovalec nato prične izvajati sunkovite gibe glave v sagitalni smeri (navzgor in navzdol) in s tem stimulira oba vertikalna polkrožna kanala. Za stimulacijo lateralnih kanalov pa je glava v začetnem položaju naravnost, nato pa jo preiskovalec sunkovito premika v levo ali desno. Na ta način kanale vedno stimuliramo v parih – oba lateralna skupaj, desnega anteriornega in levega posteriornega (RALP – pri začetnem položaju glave proti levi) ter levega anteriornega in desnega posteriornega (LARP – pri začetnem položaju glave proti desni) hkrati. Preiskovalec izvede približno sedem do deset nepredvidljivih gibov glave posamično v vseh smereh. Celoten postopek preiskave imenujemo protokol HIMP (*angl.* Head Impulse Paradigm) (21).

Pri zdravih preiskovancih med protokolom beležimo gladke, kompenzacijske premike zrkel, ki so posledica dobro delujočega VOR. Ti ohranijo pogled na določeni točki (22) in preiskovalcu s prostim očesom niso vidni. Nasprotno pa lahko pri bolnikih s parezo polkrožnega kanalčka opazujemo korekcijske sakade ob koncu impulza. Te nastanejo po koncu premika glave, ko zrkla, ki pred tem zaradi okvarjenega VOR niso več fiksirana na točki, naredijo kompenzacijski premik nazaj proti njej. Gre za t. i. *overt sakade*, ki jih lahko preiskovalec opazi že med izvajanjem testa. So klinični znak pareze kanalčka. Pojavijo se ob premiku glave v prizadeto stran, torej se ob okvari levega polkrožnega kanalčka pojavijo pri hitrem premiku glave v levo. Nekateri bolniki pa so sposobni narediti korektivne sakade že med samim obračanjem glave. Gre za prikrite sakade (*angl.* covert saccades), ki jih preiskovalec s prostim očesom ne more videti. Pomembne so za diagnosticiranje okvare polkrožnega kanalčka, merimo pa jih ravno s testom vHIT.

Grafična zapisa gibov glave in zrkel,



**Slika 2:** Izvid testa hitrih zasukov glave. Na levi (*angl.* impulse right) sliki so grafično prikazani izvidi preiskovanca z dobro delujočim vestibulo-okularnim odgovorom, pri katerem giba zrkla ustrezno sledijo gibom glave. Desni (*angl.* impulse left) diagram prikazuje izvid bolnika s slabše delujočim, asimetričnim vestibulo-okularnim odgovorom levo, ko bolnik s t. i. *overt sakadami* poskuša ustrezno kompenzirati znižani *gain* (24).

prikazana na Sliki 2, se pri zdravih preiskovancih praktično prikrivata, kar pomeni, da zrkla z VOR ustrezno sledijo gibanju glave. Iz grafa lahko izračunamo t. i. *gain* oziroma razmerje med hitrostjo počasne, kompenzacijske faze zrkla in hitrostjo giba glave. Vrednost *gaina* pri zdravih je približno 1 oziroma mora biti večja od 0,79, kar pomeni, da hitrost zrkla premikanju glave dobro sledi (23). Ob poslabšanju funkcije polkrožnega kanala in okvarjenem VOR pa lahko na grafičnem prikazu gibanja zrkla vidimo zapis kompenzacijskih sakad. *Gain* je ob tem značilno znižan, običajno veliko manjši od 1.

Prednosti vHIT pred kaloričnim testiranjem je več. Pri vHIT lahko z ustreznimi gibi izmerimo delovanje vseh šestih polkrožnih kanalčkov, medtem ko pri kaloričnem testiranju lahko opredelimo zgolj delovanje lateralnih. Pri kaloričnem testiranju lahko opredelimo predvsem asimetrijo med hitrostma počasne faze nistagmusa ob enaki stimulaciji v obeh ušesih. S testom vHIT pa lahko zaznamo tudi simetrične, obojestranske okvare ravnotežnega aparata, ki se pri kaloričnem testiranju kažejo kot normalno, simetrično delovanje obeh kanalčkov. Testiranje je hitro, objektivno in ponovljivo ter izvedljivo tudi med napadi akutne



vrtočlavice. Z njim si lahko pomagamo pri razločevanju vrtočlavice zaradi možganske kapi oziroma centralne prizadetosti, pri kateri so rezultati testa pogosto normalni, vrtočlavice v okviru perifernega vestibularnega nevrinisa in okvari ravnotežne funkcije zaradi Menièreove bolezni.

Omeniti je treba še različico protokola HIMP, imenovano SHIMP (*angl.* Suppression Head Impulse Paradigm). Ta prav tako uporablja tehnologijo vHIT, vendar pri testu preiskovanec svoje ga pogleda ne fiksira na točko na steni, temveč z očmi sledi točki, ki se premika hkrati z glavo. Rezultati testa SHIMP so ravno obratni kot pri HIMP. Zdravi preiskovanci ob koncu impulza naredijo večjo antikompensacijsko sakado, pri bolnikih z izgubo ravnotežne funkcije pa sakad ne vidimo. Vestibulookularni refleks v tem primeru namreč želi pogled odvrniti od premikajoče se točke. Pri zdravih preiskovancih pride do supresije VOR, vendar z zaostankom nekaj desetink milisekund, zato VOR v tem času preiskovancu pogled od točke odvrta. Ko ob navodilih, naj preiskovanec sledi tarči, zavestno pride do supresije refleksa, nastane antikompensacijska sakada ob koncu impulza (sakada SHIMPs), ki je znak dobro delujočega VOR. Pri bolnikih z okvaro polkrožnega kanalčka in s tem z izgubo VOR ta pogleda od premikajoče se točke ne odvrta, zato tudi ne pride do antikompensacijskih sakad ob koncu impulza (23).

*Funkcionalni test hitrih zasukov glave (fHIT)* je različica testa, ki temelji na sposobnosti prepoznavne na računalniškem zaslonu za kratek čas prikazanega optotipa. Z njim funkcionalno merimo delovanje vestibulo-okularnega refleksa, ki se zrcali s sposobnostjo ohranjanja ostrega vida in branja med hitrimi, pasivnimi premiki glave (25).

### 3.1.4 Test ostrine vida ob hitrih premikih glave

Test ostrine vida ob hitrih premikih glave (*angl.* Dynamic Visual Acuity, DVA) je preprostejša različica testa hitrih zasukov glave. Temelji na dejstvu, da je pri perifernih motnjah ravnotežnega sistema med gibanjem glave zdrslike na mrežnici večji kot običajno. Kadar je hitrost zdrsa večja od 2–4 °/sekundo, je ostrina vida zmanjšana. Z merjenjem ostrine vida med gibanjem glave torej lahko neposredno sklepamo na okvaro vestibulo-okularnega refleksa in polkrožnih kanalčkov, pri čemer moramo prej izključiti motnje v motoriki zrkla, ki niso posledica okvare ravnotežnega sistema. Izvedba testa zajema izvajanje različno hitrih pasivnih in aktivnih gibov glave ter sočasno merjenje ostrine vida s pomočjo Snellenovih tabel. S tem preverjamo delovanje vestibulo-okularnega refleksa in lahko sklepamo na eno- ali dvostransko okvaro ravnotežnega organa (26).

### 3.1.5 Test Dix-Hallpike

Gre za manever, s katerim lahko potrdimo od položaja odvisno kratkotrajno benigno vrtočlavico (BPPV), ki jo povzročajo prosto plavajoči otoliti v enem ali več polkrožnih kanalih. Izvajamo ga pri bolnikih, ki občutijo kratkotrajno vrtočlavico ob spremembi položaja glave. Bolnik ob začetku izvedbe sedi na postelji in ima glavo za 45 stopinj obrnjeno v smeri testiranega ušesa. Preiskovalec nato bolnika s hitrim gibom poleže, tako da preiskovančeva glava gleda preko roba postelje, preiskovalec pa jo ob tem iztegne za 20 do 30 stopinj pod horizontalo. Ob izvedbi manevra s kratkim presledkom opazujemo pojav tipičnega nistagmusa, ki pri BPPV ne vztraja več kot minuto, in vrtočlavice, ki lahko po izvedbi testa še nekaj časa

vztraja v lažji obliki. Test ponovimo še na nasprotni strani. Glede na smer nistagmusa lahko sklepamo na prizadetost ustreznega polkrožnega kanalčka (11).

### 3.1.6 Videonistagmografija (VNG)

Delovanje ravnotežnega organa lahko dodatno opredelimo tudi z videonistagmografijo (VNG), pri kateri z nistagmografskimi očali gibanje zrkel natančneje analiziramo. Očala omogočajo sledenje očesnim gibom z infrardečo kamero (27). VNG zajema tri standardne teste: okulomotorni test, optokinetični pozicijski test in kalorično testiranje. Pri okulomotorjem testu spremljamo motoriko očesnih mišic neodvisno od vestibularne funkcije. Nenormalnosti v okulomotoriki bi namreč lahko vplivale na rezultate testiranja ravnotežne funkcije, ki jih razlagamo na podlagi očesnih gibov. Najprej preverimo prisotnost spontanega nistagmusa brez fiksiranja (v temi), nato pa še ob fiksiranju pogleda pod kotom 30 °. Sledita test zmožnosti sledenja premikajoči se točki (gladko in sakadno sledenje) in tvorba optokinetičnega nistagmusa ob pogledu na premikajoče se črte, ločeno navpične in vodoravne. Iz računalniško zapisanih rezultatov lahko razberemo tudi simetrijo nistagmusa med vrtenjem v levo in desno ter primerjamo hitrost gibanja zrkel glede na hitrost glave. Med seboj lahko primerjamo meritve, pridobljene v zatemnjenem prostoru (to preprečuje fiksiranje pogleda), ter meritve, zabeležene ob fiksiranem pogledu. Pojav nistagmusa ob fiksiranju pogleda, nenormalnosti v sledljivosti pogleda in optokinetičnemu nistagmusu se običajno pojavijo v sklopu okvar centralnega živčnega sistema. Sledi še pozicijski test, pri katerem opazujemo pojav nistagmusa ob nagibu glave in telesa v različne položaje. Vztrajajoči nistagmus ob tem

je nespecifičen in nam ni v bistveno pomoč pri določitvi mesta okvare v ravnotežnem sistemu. Opazujemo lahko tudi očesne gibe ob izvedbi manevra Dix–Hallpike. Pojav nistagmusa z zaostankom, pojav rotacijskega nistagmusa ali njegova oslabitev v določenem položaju glave govorijo v prid BPPV, zlasti če so pri bolniku ob tem prisotni ustrezni simptomi (28).

Sledi še izvedba že opisanega kaloričnega in rotacijskega testa.

## 3.2 Testi za oceno otolitnega organa

### 3.2.1 Ravnotežno vzbujeni mišični potenciali – VEMP

Ravnotežno vzbujeni mišični potenciali (*angl.* Vestibular Evoked Myogenic Potentials, VEMP) so elektromiografski odgovori, vzbujeni z zvokom, vibracijami ali elektriko draženega ravnotežnega organa (29). Pri tem testiranju lahko beležimo dve vrsti elektromiografskih odgovorov. Vratni (cervikalni) VEMP (cVEMP) poteka preko vzdraženja sakulusa, spodnjega ravnotežnega živca (n. vestibularis inferior), ravnotežnih jeder v možganskem deblu do aktiviranja vestibulospinalnega trakta in jedra devetega živca (n. IX, n. glossopharyngeus) z inhibicijskim odgovorom sternokleidomastoidne mišice na isti strani (otolitno-količni refleksi). Očesni (okularni) VEMP (oVEMP) pa poteka preko vzdraženja utrikulusa in zgornjega ravnotežnega živca (n. vestibularis superior), ravnotežnih jeder, medialnega longitudinalnega fascikla do jedra n. III (n. oculomotorius) z ekscitacijskim odgovorom nasproti ležeče mišice obliquus inferior (otolitno-okularni refleksi). Merimo torej elektromiografski odgovor sternokleidomastoidne mišice ali odgovor zunanjih očesnih mišic na zvočno

draženje otolitskega organa.

Oba otolitska organa se odzoveta na draženje z glasnim, po zraku ali kosti prevedenim nizkofrekvenčnim tonom, vendar je cVEMP načeloma bolj specifičen za merjenje delovanja sakulusa, oVEMP pa utrikulusa (30).

Pri izvedbi cVEMP preko slušalk dražimo sakulus, običajno s 95–100 dB glasnimi, kratkimi toni s frekvenco 500–1.000 Hz. Posamezni toni si sledijo v presledku 5 sekund, skupaj pa naredimo okrog 200 ponovitev na vsako uho. Priporočljivo je, da se z zvokom stimulira le eno uho naenkrat. Na srednjo tretjino mišice obračalke vratu namestimo elektrodo, s katero merimo elektromiografske odzive mišice na zvočne dražljaje, ti pa se prevedejo na zaslon računalnika. Ker pri otolitno-količnem refleksu pride do inhibicijskega odgovora sternokleidomastodine mišice, mora preiskovanec med testiranjem mišico držati v napetem položaju. Zato preko iste elektrode spremljamo tudi napetost mišice, tako da lahko preiskovanec med testiranjem ustrezno napetost v mišici vzdržuje. Če napetost mišice med preiskavo ni zadostna, ne dobimo ustreznih odgovorov VEMP (31).

Na izvidih testa, prikazanih na [Sliki 3](#), nas na elektromiografskem zapisu zanimata predvsem značilna vala P13 in N23. Pri njiju opazujemo različne parametre, kot so latenca in amplituda obeh valov, latenca med njima, razlika v latencah in amplitudah med levim in desnim ušesom, razmerja med njihovimi vrednostmi ter njune prazne vrednosti.

Na podoben način poteka oVEMP, le da elektrode namestimo pod obe očesi in na čelo ter s tem merimo elektromiografski odgovor mišice obliquus inferior. Da je mišica ob tem napeta, mora bolnik med preiskavo gledati navzgor. Na zabeleženih rezultatih prav tako opazujemo

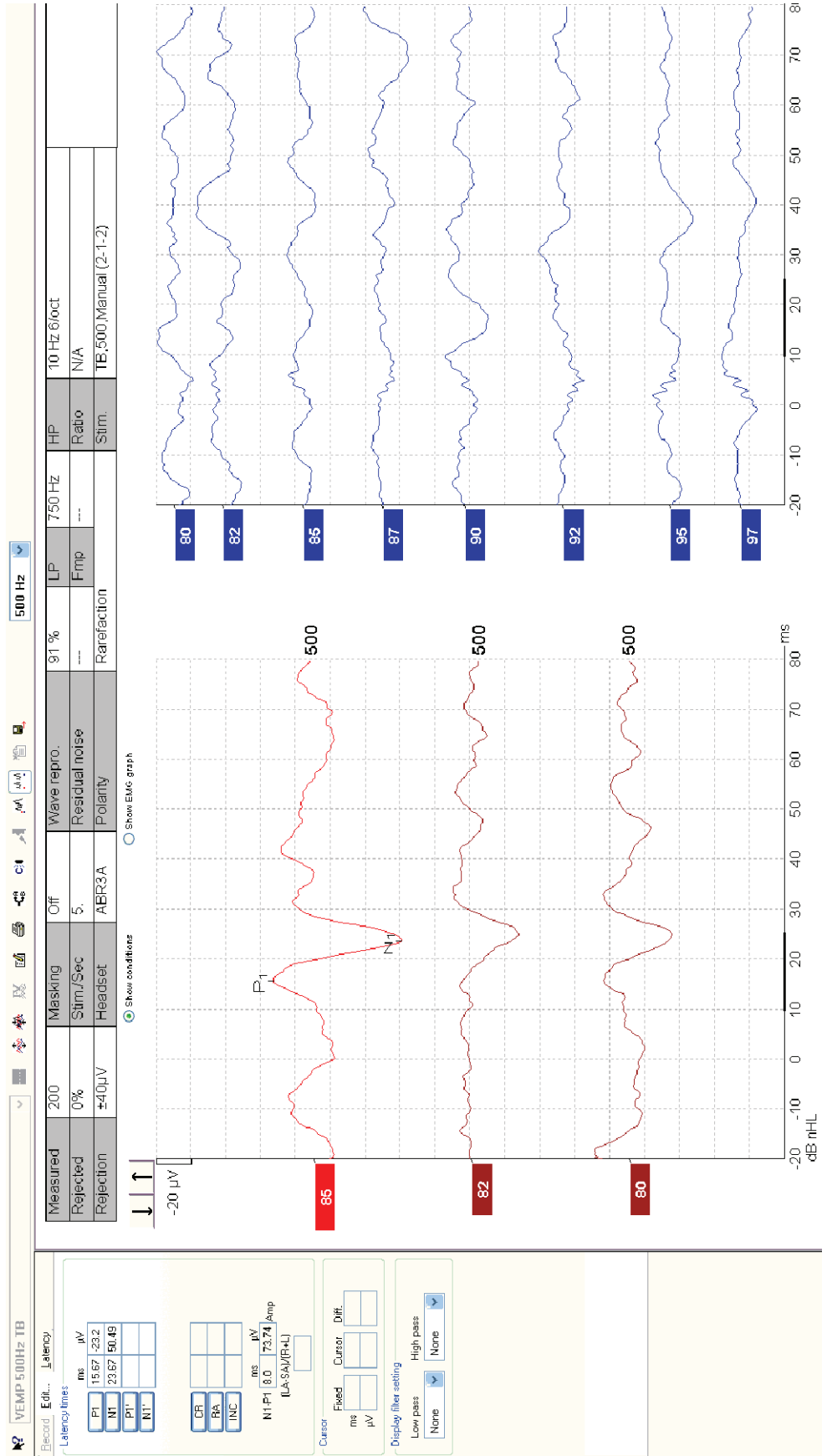
frekvenco, pri kateri se pojavi odgovor z največjo amplitudo in latenco valov. Frekvence, s katerimi stimuliramo ravnotežni organ, so podobne kot pri cVEMP, rezultati pa zrcalijo predvsem vzdražnost utrikulusa (32).

Preiskava cVEMP se uporablja pri diagnosticiranju tako perifernih kot centralnih okvar ravnotežnega organa (29). Pri diagnosticiranju Menièreve bolezni oziroma endolimfatičnega hidropsa lahko izgubimo odziv VEMP na dražljaj. Prav tako lahko pri bolnikih z Menièrevo boleznijo opazimo pomik odgovora z največjo amplitudo z običajnih 500–700 Hz na 1000 Hz. Ključna pa je predvsem primerjava rezultatov testiranja pred in po napadu, saj se pri endolimfatičnem hidropsu amplituda cVEMP po koncu napada na prizadeti strani popravi. Ob tem se normalizira tudi frekvenca, pri kateri dobimo odgovor z največjo amplitudo (33).

Pri vestibularnem nevritisu nam cVEMP lahko pomaga predvsem pri opredelitvi prizadetega mesta. Spodnji ravnotežni živec je namreč namenjen predvsem oživčenju sakulusa in posteriornega polkrožnega kanala, medtem ko zgornji ravnotežni živec oživčuje predvsem lateralni in anteriorni kanal ter utrikulus. Tako lahko ob patološkem cVEMP, ki je bolj specifičen za sakulus, v kombinaciji z normalnimi rezultati kaloričnega testiranja, specifičnega za lateralni kanal, sklepamo na prizadetost spodnjega ravnotežnega živca (29).

Pri vrtoglavici pri bolnikih z migreno so lahko rezultati cVEMP spremenjeni v smislu nižjih amplitud (34). Prav tako je pri vestibularni migreni na cVEMP možna podaljšana latenca ter povišana vrednost frekvence, pri kateri se pojavi odgovor z največjo amplitudo (podobno kot pri Menièreovi bolezni), kar kaže na možnost izvora vestibularne migrene

**Slika 3:** Grafični prikaz rezultatov testiranja cVEMP. Označena sta vala P13 in N23 mišice na desni strani vratu po draženju na desnem ušesu. Po draženju levega ušesa ustreznega odgovora na mišici ni.



tako centralno kot periferno (35).

Poročajo tudi o nenormalnih vrednostih cVEMP in oVEMP pri bolnikih z občutkom zibanja v transverzalni ali sagitalni ravnini brez rotacijske vrtoglavice (pri t.i. idiopatski otolitični vrtoglavici).

Rezultati cVEMP so lahko v pomoč tudi pri diagnosticiranju okvar osrednjega živčevja, ki prizadenejo predele, vključene v vestibulo-količni ali vestibulo-okularni refleksi. Med njimi se največkrat preučuje multipla skleroza, ki se lahko kaže s podaljšano latenco valov P13 in N23 (36).

V kombinaciji z računalniško tomografijo (*angl.* computed tomography, CT) se je oVEMP kot najpomembnejši izkazal pri diagnosticiranju dehiscence superiornega polkrožnega kanala. Prav tako igra pomembno vlogo pri diagnosticiranju BPPV. Uporablja pa se lahko tudi za odkrivanje drugih okvar ravnotežja, in sicer tako v primeru okvar ravnotežnega živca in bolezni otolitov kot prizadetosti centralnega živčnega sistema (37).

### 3.2.2 Test zaznavanja navpičnosti

Bolniki samo s prizadetostjo utrikulusa pogosto nimajo težav z vrtoglavico, temveč navajajo predvsem splošno negotovost med gibanjem, občutek zibanja in so bolj ogroženi zaradi padcev. Test zaznavanja navpičnosti (*angl.* Subjective Visual Vertical, SVV) je namenjen predvsem preizkusu delovanja utrikulusa in temelji na oceni bolnikove sposobnosti določiti prave navpičnice oz. določanju, koliko se bolnikova subjektivna navpičnica razlikuje od prave gravitacijske navpičnice (38). Bolnik pred seboj vidi ravno črto, ki jo mora postaviti v domnevno pravo navpičnico. Kot med bolnikovo in gravitacijsko navpičnico zrcali delovanje utrikulusa.

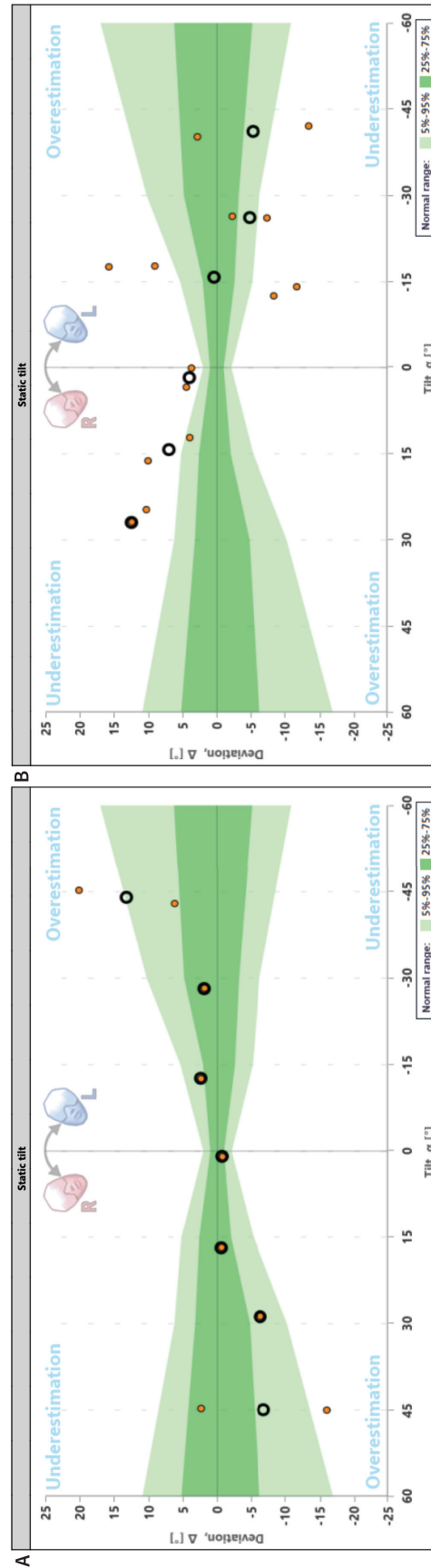
Enostavna verzija tega testa je preizkus z vedrom, pri katerem preiskovalec z vedrom zaobjame celotno vidno polje preiskovanca. Na dnu vedra je narisana ravna črta. Na začetku preiskovalec vedro zasuka tako, da črta na dnu ni poravnana s pravo vertikalo. Nato vedro počasi vrti, preiskovanec pa mora povedati, kdaj se črta z vertikalo poravna. Na zunanji strani dna vedra je pritrjen kotomer, s katerim preiskovalec meri, za koliko se bolnikova vertikala razlikuje od gravitacijske. Pri tem si lahko pomaga tudi z obteženo vrstico, nameščeno na zunanjo stran dna vedra, poravnano z 0° na kotomeru. Z njo lahko odčita odklon preiskovančeve vertikale od prave (39).

Novejša, digitalizirana različica testa SVV danes pričenja nadomeščati preizkus z vedrom. Sestavljajo jo digitalna očala, ki ne prepuščajo svetlobe, znotraj njih pa preiskovanec vidi ravno črto. S pomočjo brezžičnega daljinca mora črto postaviti v domnevno pravo navpičnico. Določanje vertikale poteka pri različnih nagibih glave, za 0, 15, 30 in 45 kotnih stopinj, in sicer v levo in desno. Girooskop, nameščen znotraj očal, hkrati omogoča merjenje kota nagiba glave, kar zagotavlja pravilen položaj med celotnim potekom testiranja. Čim večji je nagib glave, tem težje je preiskovancu določiti pravo navpičnico.

Rezultati se beležijo z računalniškim programom, ki zapisuje kot nagiba bolnikove glave ter kot odklona njegove navpičnice od prave (Slika 4). Kot patološke šteje odklone, večje od 2°, smer odklona pa je odvisna od mesta okvare ravnotežnega organa. Pri enostranskih perifernih ali pontomedularnih spremembah je ta običajno nagnjen v prizadeto stran, pri pontomezencefalnih okvarah v nasprotno stran, pri talamičnih spremembah pa je ta lahko nagnjen



**Slika 4:** Grafični prikaz rezultata testa zaznavanja navpičnosti. Zaznavanje subjektivne navpičnice znotraj  $2^\circ$  od prave upoštevamo kot normalno (A), odkloni, večji od  $2^\circ$ , pa so patološki (B).



v okvarjeno ali v zdravo stran. Test se v literaturi opisuje kot uporaben predvsem pri diagnosticiranju nekaterih perifernih okvar ravnotežnega organa, kot sta BPPV in enostranska ravnotežna okvara, ter pri nekaterih centralnih okvarah. Uporablja se tudi za kontrolo po zdravljenju teh bolezni (39).

### 3.3 Robotski sistem za oceno ravnotežja

Poleg vseh že opisanih testov lahko nekaj besed posvetimo še robotskemu sistemu za oceno in treniranje ravnotežja (*angl.* Balance Assessment Robot, BAR), ki so jih razvili slovenski raziskovalci na URI Soča. Gre za napravo, ki je namenjena testiranju in hkrati krepitvi ravnotežne funkcije bolnikov po možganski kapi. Cilj treniranja z robotom je predvsem zmanjšanje števila padcev pri teh bolnikih. Treniranje temelji na dejstvu, da se posameznik ob delovanju nepredvidljivih sil (t. i. »preturbacij«) na telo med hojo nanje odzove s kombinacijo prilagoditve točke pritiska (*angl.* center of pressure, COP) v nogi, ki je v tistem trenutku na tleh, ter preusmeritvijo privzdignjene noge na mesto, kjer bo telo kljub delovanju sile lahko ustrezno podprla. Pri bolnikih po možganski kapi so mehanizmi, ki skrbijo za tovrstne odgovore, okvarjeni. Da se lahko ponovno priučijo gibov, potrebnih za ustrezno odzivanje, morajo biti med treniranjem izpostavljeni realističnim, za iztirjenje ravnotežja nevarnim situacijam. Glede na telesno okvaro lahko nato razvijejo dober ravnotežni odgovor.

Naprava je v osnovi kombinacija tekočega traku za hojo in premičnega ogrodja, ki ob hoji podpira bolnikovo medenico. Vanjo so vgrajeni senzorji, preko katerih se na zaslonu pred napravo izrišejo položaj medenice, dolžina in

trajanje korakov ter center pritiska v stopalu. Omogoča temeljite meritve korakov ter dovajanje sunkov v medenico in hkrati oceno odgovorov nanje (40).

Treniranje na napravi je sestavljeno iz treh sklopov. V prvem sklopu bolnik hodi naravnost po tekočem traku, njegov položaj in gibanje pa se ob tem beležita. Naprava ga z izvajanjem pritiska na medenico glede na nepravilnosti v hoji prisili, da dela čim bolj enakomerne korake, ki so po možganski kapi sicer nesimetrični. Hkrati bolnik na velikem zaslonu opazuje položaj medenice in jo ob tem poskuša držati v pravilnem položaju. V drugem sklopu bolnik s pomočjo zaslona hodi po »virtualnem terenu«. Na zaslonu vidi pot, ki vodi npr. po hribu navzgor, naprava pa ob tem telesu dovaja sile, ki simulirajo hojo v hrib. V tretjem sklopu naprava med hojo v medenico dovaja nepredvidljive sunke v vseh smereh, bolnik pa se mora nanje ustrezno odzvati oz. jih izravnati.

Vadba na napravi je popolnoma varna in olajša razvoj učinkovitih odgovorov celotnega ravnotežnega sistema na nepredvidljive dogodke.

### 3.4 Vestibularni evocirani potenciali

Vestibularni evocirani potenciali centralnega živčnega sistema (*angl.* vestibular evoked potentials, VsEPs) so EEG odgovori oz. nevrogeni potenciali, ki jih ob draženju ravnotežnega organa posnamemo z elektrodami, nameščenimi na skalp. Ravnotežni organ lahko dražimo s številnimi hitrimi in kratkimi zasuki glave. Povprečenje električnih nevronskih odgovorov in sočasno izginevanje šuma ozadja pa nam izriše krivuljo njihove poti. Pri bolnikih z okvaro ravnotežnega organa in/ali centralnih ravnotežnih poti ni moč izmeriti nevrogenega

odgovora. Pri teh vrstah preiskav so artefakti v izvidih pogosta težava, kar razlago rezultatov dodatno otežuje, zato se metoda redko uporablja za oceno centralnega dela ravnotežnega sistema (41).

## 4 Primer potrebe uporabe več diagnostičnih testov

### 4.1 Bolniki in metode

Retrospektivno smo analizirali podatke 1.042 bolnikov, ki so bili med letoma 2006 in 2015 obravnavani v Avdi-ovestibulološkem centru na Kliniki za otorinolaringologijo in cervikofacialno kirurgijo v Ljubljani zaradi težav z ravnotežjem in so navajali tipično anamnezo za kratkotrajno benigno vrtoglavico, odvisno od položaja (BPPV). Opravili smo jim diagnostični manever za diagnosticiranje BPPV po Dix–Hallpikeju (11). Ob pozitivnem diagnostičnem manevru smo nadaljevali s terapevtskim manevrom po Epleyu (11), bolniki pa so bili v roku treh tednov naročeni na kontrolni pregled. Ker je v klinični praksi interpretacija, za vpletenost katerega polkrožnega kanala ali kanalov točno gre, lahko težavna, predvsem pri pozitivnih pozicijskih testih na obeh straneh, smo v študiji razdelili vse opravljene diagnostične manevre na pozitivne (enostransko ali obojestransko) in negativne. Ob kontrolnem ali pa že pri prvem pregledu se je pri večini bolnikov napravil bitermalni frekvenčni vestibulogram (VTG: Atmos, Variotherm plus in Varioair), pri nekaterih pa tudi videonistagmografija (VNG: Interacoustics VN415/VO425) (11). Podatke bolnikov, pri katerih smo BPPV potrdili, smo nato bolj podrobno analizirali glede na starost, spol, stran okvare, uspešnost zdravljenja, stopnjo ponovitve, anamnezo poškodbe glave

**Tabela 1:** Delitev testov za oceno delovanja ravnotežnega organa glede na hitrost stimulacije in anatomske dele notranjega ušesa.

Testi za oceno delovanja polkrožnih kanalčkov	
Kalorično testiranje	S spremembo temperature tekočine v notranjem ušesu in opazovanjem nistagmusa, ki ga povzroči, ugotavljamo nepravilnosti v delovanju lateralnega polkrožnega kanalčka.
Rotacijsko testiranje	Z vrtenjem na stolu sočasno stimuliramo oba lateralna polkrožna kanalčka. S tem dobimo podatke o preostalem delovanju kanalčkov ob obojestranski okvari ravnotežnega organa ter centralni kompenzaciji pri enostranski parezi.
Test hitrih zasukov glave	S hitrimi gibi glave v različnih smereh v parih vzdražimo vseh šest polkrožnih kanalčkov. Njihovo delovanje merimo s spremljanjem VOR oz. kompenzacijskih sakad očesnih zrkel med premikanjem glave.
Funkcionalni test hitrih zasukov glave	S pomočjo optotipov merimo sposobnost ohranjanja ostrega vida med hitrim premikanjem glave in ob tem ocenjujemo delovanje VOR.
Test ostrine vida ob hitrih premikih glave	Z merjenjem vidne ostrine med hitrimi gibi glave dobimo podatke o okvari VOR oz. delovanju polkrožnih kanalčkov.
Test Dix-Hallpike	S posebnim manevrom pri bolnikih s sumom na BPPV lahko izzovemo nistagmus, na podlagi katerega sklepamo na prizadetost posameznega polkrožnega kanalčka.
Testi za oceno delovanja otolitov	
Ravnotežno vzbujeni mišični potenciali	S kratkimi, glasnimi toni stimuliramo sakulus oz. utrikulus, ob tem pa merimo značilne elektromiografske odgovore mišice obračalke vratu ali zunanjih očesnih mišic.
Test zaznavanja navpičnosti	Z merjenjem razlike med preiskovančevo subjektivno in pravo vertikalo merimo delovanje utrikulusa.
Robotski sistem za oceno ravnotežja	Naprava, ki omogoča natančne meritve korakov in dovajanje različnih sil na telo preko medenice, je namenjena predvsem krepitvi ravnotežja in vadbi enakomerne hoje bolnikov po možganski kapi.
Vestibularni evocirani potenciali	Ob draženju ravnotežnega organa s hitrimi zasuki glave merimo odgovore EEG možganske skorje.

in osteoporozo. Za lažje interpretiranje rezultatov smo pri bolnikih, ki niso prišli na kontrolni pregled, sklepali, da je bil repozicijski manever uspešen. To retrospektivno klinično študijo je odobrila Komisija za medicinsko etiko (KME) dne 21. 03. 2016 s soglasjem številka 0120-032/2016-2.

## 4.2 Rezultati

Našim preiskovancem smo opravili diagnostični manever za BPPV, pri čemer je bil pričakovani tipičen izzvani nistagmus prisoten pri 376 (36 %) od

1.042 bolnikov, od tega je bilo 267 (71 %) žensk. Povprečna starost bolnikov s pozitivnim testom je bila 58,5 ( $\pm$  15; z razponom 16–92) let. Manevri so bili na desni strani pozitivni pri 188 (50 %), na levi pri 145 (38,6 %), obojestransko pri 42 (11,1 %) bolnikov, pri enem bolniku (0,23 %) pa je zabeleženo le, da je bil manever pozitiven, kar lahko razlagamo s prisotnostjo t. i. subjektivnega BPPV, torej s pojavom vrtoglavice brez vidnega nistagmusa. Repozicijski manevri so bili uspešni pri 335 bolnikih (89 %). Izboljšanje z občasnimi vrtoglavicami (pri nekaterih odvisne od položaja, pri

nekaterih ne) oz. občutkom nestabilnosti je navajalo 20 (5,3 %) bolnikov, pri 21 (5,6 %) pa ni prišlo do izboljšanja. Rezultate preiskav smo razdelili na normalen izvid, parezo ravnotežnega organa in centralne motnje. Do ponovitve BPPV je prišlo pri 52 (13,8 %) bolnikih. Pri 40 (10,6 %) bolnikih se je položajna vrtočglavica začela po poškodbi glave. Osteoporoza je imelo 9 (2,4 %) bolnikov.

Po izvedbi ustreznih terapevtskih manevrov je bil pri 217 (57,7 %) bolnikih opravljen VTG, pri 51 (13,6 %) pa VNG. Pri bolnikih, pri katerih se je vrtočglavica uspešno odpravila, sta bila pri 204 (60,9 %) izvida VTG ali VNG normalna. Pri 20 (6 %) je bila z VTG dokazana pareza ravnotežnega organa, pri 4 (1,2 %) so bile z VNG ugotovljene centralne motnje ravnotežja, pri 2 (0,6 %) pa je šlo za kombinacijo pareze ravnotežnega organa in centralnih motenj. Pri 105 (31,3 %) bolnikih brez vztrajajoče vrtočglavice preiskave VTG oz. VNG nismo naredili. Pri bolnikih, ki so imeli po terapevtskih manevrih še vedno težave z občasno vrtočglavico, je bil izvid VTG pri

4 in VNG pri 5 bolnikih, skupno pri 9 (45 %) normalen, pri skupno 7 (35 %), 2 bolnikih z VTG in 5 z VNG, pa je šlo za parezo. Pri enem bolniku (5 %) smo z VNG dokazali centralne motnje. VTG ali VNG pri bolnikih z občasno vrtočglavico nismo opravili pri treh (15 %). Pri bolnikih z vztrajajočo vrtočglavico jih je imelo 8 (38,1 %) normalen izvid obeh testov, pri 6 (28,6 %) je šlo za parezo dokazano z VTG, pri 5 (23,8 %) za centralne motnje ravnotežja, dokazane z VNG, pri 1 (4,8 %) pa za kombinacijo pareze in centralnih motenj ravnotežja, prav tako dokazane z VNG preiskavo. Dodatnih testiranj med bolniki z vztrajajočo vrtočglavico nismo opravili pri enem (4,8 %). Rezultati izvedbe omenjenih testov so prikazani v **Tabeli 2**.

## 5 Zaključek

Vzrok kratkotrajne, od položaja odvisne vrtočglavice ni vedno BPPV, saj smo ga pri naših bolnikih z ustreznimi težavami z diagnostičnimi manevri uspeli dokazati le v 36 %. Pri bolnikih

**Tabela 2:** Diagnostični manever je bil pozitiven, tj. patološki, pri 376 bolnikih (36 %) od 1.042 bolnikov. Od teh so bili repozicijski manevri uspešni pri 335 (89 %) bolnikih. Dodatna testiranja (VTG ali VNG) smo opravili pri 268 (71,3 %) bolnikih s pozitivnim diagnostičnim manevrom, pri čemer smo s pomočjo testov vzrok težav lahko dodatno opredelili pri 46 (12,2 %) bolnikih.

	Diagnostični manever			Terapevtski (repozicijski) manever	VTG	VNG
	desno	levo	obojestransko			
Pozitiven / patološki	188 (50 %)	145 (38,6 %)	42 (11,1 %)	335 (89 %)	28 (12,9 %)	18 (35,3 %)
	Skupaj					
	376 (36 %)					
Negativen / normalen	666 (64 %)			41 (11 %)	189 (87,1 %)	33 (64,7 %)
Skupaj	1.042			376	217	51

z negativnimi diagnostičnimi testi za BPPV podrobnejše analize v sklopu te študije nismo opravili. Za dodatno opredelitev izvora kratkotrajne položajne vrtočlave bi poleg bitermalnega frekvenčnega vestibulograma in videonistagmografije prišli v poštev tudi novejši testi, opisani v prispevku, s katerimi lahko natančneje potrdimo ali izključimo okvaro posameznega ali več polkrožnih kanalov.

Vsem bolnikom, pri katerih ni razjasnjen ali izključen periferni vzrok težav z ravnotežjem, bomo naredili vse opisane teste za oceno delovanja vsakega dela ravnotežnega organa posebej. Rezultati sledijo, kakor tudi okvirne smernice za obravnavo bolnikov, katerih anamneza kaže na BPPV.

S pomembnim napredkom v razvoju testov za oceno ravnotežja v zadnjih letih ti omogočajo vedno bolj jasno opredelitev mesta nastanka motenj ravnotežja. Z nadaljnjim znanstvenim spoznavanjem ravnotežnega organa in sistema lahko pričakujemo še natančnejše vrednotenje pridobljenih rezultatov že uvedenih testov. Glede na naše testirane bolnike pričakujemo, da bomo z dodatnimi testiranjem za oceno ravnotežja povečali odstotek razjasnjenih vzrokov njihovih težav. Hkrati se obeta tudi razvoj novih testov, ki bodo predvsem ob uporabi računalniške tehnologije in funkcionalnomagnetnega slikanja omogočala tako boljšo obravnavo kot tudi izboljšala možnosti rehabilitacije bolnikov z motnjami ravnotežja.

## Literatura

1. Brandt T, Strupp M. General vestibular testing. *Clin Neurophysiol.* 2005;116(2):406-26. DOI: [10.1016/j.clinph.2004.08.009](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.08.009) PMID: [15661119](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15661119/)
2. Brandt T, Dieterich M. The dizzy patient: don't forget disorders of the central vestibular system. *Nat Rev Neurol.* 2017;13(6):352-62. DOI: [10.1038/nrneurol.2017.58](https://doi.org/10.1038/nrneurol.2017.58) PMID: [28429801](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28429801/)
3. Khan S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: a review. *NeuroRehabilitation.* 2013;32(3):437-43. DOI: [10.3233/NRE-130866](https://doi.org/10.3233/NRE-130866) PMID: [23648598](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23648598/)
4. Ekdale EG. Form and function of the mammalian inner ear. *J Anat.* 2016;228(2):324-37. DOI: [10.1111/joa.12308](https://doi.org/10.1111/joa.12308) PMID: [25911945](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25911945/)
5. Fasold O, von Brevern M, Kuhberg M, Ploner CJ, Villringer A, Lempert T, et al. Human vestibular cortex as identified with caloric stimulation in functional magnetic resonance imaging. *Neuroimage.* 2002;17(3):1384-93. DOI: [10.1006/nimg.2002.1241](https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1241) PMID: [12414278](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12414278/)
6. Cullen KE. The vestibular system: multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends Neurosci.* 2012;35(3):185-96. DOI: [10.1016/j.tins.2011.12.001](https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.12.001) PMID: [22245372](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22245372/)
7. Probst R, Grevers G, Iro H. *Basic Otorhinolaryngology.* New York: Thieme; 2006. p. 277.
8. Kavanagh KT, Babin RW. Definitions and types of nystagmus and calculations. *Ear Hear.* 1986;7(3):157-66. DOI: [10.1097/00003446-198606000-00007](https://doi.org/10.1097/00003446-198606000-00007) PMID: [3487475](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3487475/)
9. Jeffcoat B, Shelukhin A, Fong A, Mustain W, Zhou W. Alexander's Law revisited. *J Neurophysiol.* 2008;100(1):154-9. DOI: [10.1152/jn.00055.2008](https://doi.org/10.1152/jn.00055.2008) PMID: [18450584](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18450584/)
10. Newman-Toker DE. Symptoms and signs of neuro-otologic disorders. *Continuum (Minneapolis).* 2012;18:1016-40. DOI: [10.1212/01.CON.0000421618.33654.8a](https://doi.org/10.1212/01.CON.0000421618.33654.8a) PMID: [23042058](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23042058/)
11. Jacobson GP, Shepard NT. *Balance function assessment and management.* San Diego (CA): Plural Publishing Inc; 2016.
12. Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM. *Handbook of balance function testing.* St. Louis, MO: Mosby Year Book; 1997.
13. Gonçalves DU, Felipe L, Lima TM. Interpretation and use of caloric testing. *Rev Bras Otorrinolaringol (Engl Ed).* 2008;74(3):440-6. DOI: [10.1016/S1808-8694\(15\)30580-2](https://doi.org/10.1016/S1808-8694(15)30580-2) PMID: [18661020](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18661020/)
14. Jongkees LB. Value of the Caloric Test of the Labyrinth. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1948;48(4):402-17. DOI: [10.1001/archotol.1948.00690040414003](https://doi.org/10.1001/archotol.1948.00690040414003)



15. Brandt T. Bilateral vestibulopathy revisited. *Eur J Med Res.* 1996;1(8):361-8. PMID: [9360934](#)
16. Jacobson GP, Shepard NT. Balance function assessment and management. San Diego,CA: Pluras Publishing; 2008.
17. Sataloff RT, Pavlick ML, McCaffrey JD, Davis JM, Stewart SM. Simultaneous binaural bithermal caloric testing: clinical value. *Ear Nose Throat J.* 2017;96(1):29-31. PMID: [28122101](#)
18. Behrbohm H, Becker W, Naumann HH, Pfaltz CR. Ear, nose, and throat diseases: With head and neck surgery. Stuttgart: Thieme; 2009. DOI: [10.1055/b-005-148831](#)
19. Maes L, Vinck BM, Wuyts F, D'haenens W, Bockstael A, Keppler H, et al. Clinical usefulness of the rotatory, caloric, and vestibular evoked myogenic potential test in unilateral peripheral vestibular pathologies. *Int J Audiol.* 2011;50(8):566-76. DOI: [10.3109/14992027.2011.576706](#) PMID: [21751944](#)
20. Alhabib SF, Saliba I. Video head impulse test: a review of the literature. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2017;274(3):1215-22. DOI: [10.1007/s00405-016-4157-4](#) PMID: [27328962](#)
21. MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Rogers SJ, Manzari L, Burgess AM, et al. A new saccadic indicator of peripheral vestibular function based on the video head impulse test. *Neurology.* 2016;87(4):410-8. DOI: [10.1212/WNL.0000000000002827](#) PMID: [27251884](#)
22. Curthoys IS, Manzari L. Clinical application of the head impulse test of semicircular canal function. *Hear Balance Commun.* 2017;15(3):113-26. DOI: [10.1080/21695717.2017.1353774](#)
23. Halmagyi GM, Chen L, MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Curthoys IS. The Video Head Impulse Test. *Front Neurol.* 2017;8:258. DOI: [10.3389/fneur.2017.00258](#) PMID: [28649224](#)
24. Petrak MR, Bahner C, Beck DL. Video Head Impulse Testing (vHIT): VOR Analysis of High Frequency Vestibular Activity. [cited 2019 Sep 17]. Available from: <http://www.hearingreview.com/2013/08/video-head-impulse-testing-vhit-vor-analysis-of-high-frequency-vestibular-activity/>
25. Versino M, Colnaghi S, Corallo G, Mandalà M, Ramat S. The functional head impulse test: comparing gain and percentage of correct answers. *Prog Brain Res.* 2019;248:241-8. DOI: [10.1016/bs.pbr.2019.04.028](#) PMID: [31239135](#)
26. Vital D, Hegemann SC, Straumann D, Bergamin O, Bockisch CJ, Angehrn D, et al. A new dynamic visual acuity test to assess peripheral vestibular function. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 2010;136(7):686-91. DOI: [10.1001/archoto.2010.99](#) PMID: [20644064](#)
27. Falls C. Videonystagmography and Posturography. *Adv Otorhinolaryngol.* 2019;82:32-8. DOI: [10.1159/000490269](#) PMID: [30947200](#)
28. Furman JM, Goldstein A. Vertigo. In: Swaiman KF, Ashwal S, Ferriero DM, Schor NF, Finkel RS, Gropman AL, et al. Swaiman's pediatric neurology: Principles and practice. 6th ed. Edingburgh: Elsevier; 2018. pp. 52-7.
29. Murofushi T. Clinical application of vestibular evoked myogenic potential (VEMP). *Auris Nasus Larynx.* 2016;43(4):367-76. DOI: [10.1016/j.anl.2015.12.006](#) PMID: [26791591](#)
30. Colebatch JG, Rosengren SM, Welgampola MS. Vestibular-evoked myogenic potentials. *Handb Clin Neurol.* 2016;137:133-55. DOI: [10.1016/B978-0-444-63437-5.00010-8](#) PMID: [27638068](#)
31. Akin FW, Murnane OD, Panus PC, Caruthers SK, Wilkinson AE, Proffitt TM. The influence of voluntary tonic EMG level on the vestibular-evoked myogenic potential. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41(3b):473-80. DOI: [10.1682/JRRD.2003.04.0060](#) PMID: [15543465](#)
32. Rosengren SM, Colebatch JG, Young AS, Govender S, Welgampola MS. Vestibular evoked myogenic potentials in practice: Methods, pitfalls and clinical applications. *Clin Neurophysiol Pract.* 2019;4:47-68. DOI: [10.1016/j.cnp.2019.01.005](#) PMID: [30949613](#)
33. Seo T, Shiraishi K, Kobayashi T, Mutsukazu K, Fujita T, Saito K, et al. Revision of a furosemide-loading vestibular-evoked myogenic potential protocol for detecting endolymphatic hydrops. *Acta Otolaryngol.* 2017;137(12):1244-8. DOI: [10.1080/00016489.2017.1355565](#) PMID: [28749204](#)
34. Roceanu A, Allena M, De Pasqua V, Bisdorff A, Schoenen J. Abnormalities of the vestibulo-colic reflex are similar in migraineurs with and without vertigo. *Cephalalgia.* 2008;28(9):988-90. DOI: [10.1111/j.1468-2982.2008.01641.x](#) PMID: [18624802](#)
35. Murofushi T, Ozeki H, Inoue A, Sakata A. Does migraine-associated vertigo share a common pathophysiology with Meniere's disease? Study with vestibular-evoked myogenic potential. *Cephalalgia.* 2009;29(12):1259-66. DOI: [10.1111/j.1468-2982.2009.01860.x](#) PMID: [19911463](#)
36. Shimizu K, Murofushi T, Sakurai M, Halmagyi M. Vestibular evoked myogenic potentials in multiple sclerosis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2000;69(2):276-7. DOI: [10.1136/jnnp.69.2.276](#) PMID: [10960289](#)
37. Weber KP, Rosengren SM. Clinical utility of ocular vestibular-evoked myogenic potentials (oVEMPs). *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2015;15(5):22. DOI: [10.1007/s11910-015-0548-y](#) PMID: [25773001](#)
38. Michelson PL, McCaslin DL, Jacobson GP, Petrak M, English L, Hatton K. Assessment of Subjective Visual Vertical (SVV) Using the "Bucket Test" and the Virtual SVV System. *Am J Audiol.* 2018;27(3):249-59. DOI: [10.1044/2018\\_AJA-17-0019](#) PMID: [29946701](#)

39. Cohen HS, Sangi-Haghpeykar H. Subjective visual vertical in vestibular disorders measured with the bucket test. *Acta Otolaryngol.* 2012;132(8):850-4. DOI: [10.3109/00016489.2012.668710](https://doi.org/10.3109/00016489.2012.668710) PMID: [22667824](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22667824/)
40. Matjačić Z, Zadavec M, Olenšek A. Feasibility of robot-based perturbed-balance training during treadmill walking in a high-functioning chronic stroke subject: a case-control study. *J Neuroeng Rehabil.* 2018;15(1):32. DOI: [10.1186/s12984-018-0373-z](https://doi.org/10.1186/s12984-018-0373-z) PMID: [29642921](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29642921/)
41. Rosengren SM, Colebatch JG. Vestibular evoked potentials (VsEPs) in patients with severe to profound bilateral hearing loss. *Clin Neurophysiol.* 2006;117(5):1145-53. DOI: [10.1016/j.clinph.2005.12.026](https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.12.026) PMID: [16497555](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16497555/)