

Laboratorní metody vyšetření vestibulárního aparátu

MUDr. Rudolf Černý, CSc.¹, PhDr. Ondřej Čakrt, Ph.D.², doc. MUDr. Jaroslav Jeřábek, CSc.¹

¹Neurologická klinika, 2. LF UK a FN Motol, Praha

²Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2. LF UK a FN Motol, Praha

Práce podává přehled současných vyšetřovacích možností objektivního hodnocení funkce vestibulárního labyrintu, okulomotoriky a posturální stability. Zvláštní pozornost je věnována nově zaváděným metodám kvantitativního vyšetření head impulse testu a vyšetření otolitového aparátu pomocí vestibulárního evokovaného myogenního potenciálu.

Klíčová slova: elektronystagmografie, kalorické vyšetření, rotační testy, head impulse test, subjektivní vizuální vertikála, vestibulární evokovaný myogenní potenciál, posturografie.

Laboratory methods for investigating the vestibular apparatus

The paper presents a review of current options for objective evaluation of the function of the vestibular labyrinth, oculomotor function, and postural stability. Particular attention is paid to newly introduced methods of quantitative assessment using the head impulse test and testing of the otolithic apparatus by means of vestibular evoked myogenic potential.

Key words: electronystagmography, caloric test, rotation tests, head impulse test, subjective visual vertical, vestibular evoked myogenic potential, posturography.

Úvod

V průběhu posledních 15 let vstoupilo do klinické praxe několik zcela nových technik vyšetření vestibulárního aparátu. Výsledkem tohoto rychlého vývoje je skutečnost, že v současné době máme k dispozici možnost objektivního vyšetření všech receptorových oblastí vestibulárního aparátu (tabulka 1). Cílem tohoto článku je stručně představit současný stav znalostí na tomto poli.

Klinické vyšetření pacienta s poruchou rovnováhy je stále poměrně obtížné a přesná klasifi-

fikace postižení je mnohdy přes veškerou snahu obtížná. Týká se to především pacientů v kompenzovaném stadiu vestibulárního výpadku, pacientů s oboustrannou symetrickou poruchou funkce a centrálních syndromů s postižením v oblasti vestibulárních jader nebo vestibulárního mozečku. Spolehlivá diferenciaci těchto stavů je často možná jen po doplnění laboratorního vyšetření vestibulární a okulomotorické funkce. Výsledek vyšetření je mnohdy překvapením, kdy se zdánlivě periferní vestibulární postižení

ukáže jako kombinovaná, nebo čistě cerebelární porucha. Vyšetření umožní také posoudit stupeň dosažené kompenzace nebo funkční restituce, a je proto důležité pro stanovení prognózy.

Dominantní roli při hodnocení funkce labyrintu stále hraje kvantitativní hodnocení vestibulo-okulárního reflexu (VOR) pomocí registrace očních pohybů. Hlavním parametrem je rychlost pomalé fáze nystagmu vyvolané rotační nebo kalorickou stimulací. Jde tedy o nepřímé hodnocení aktivity vestibulárních jader. V praxi se k registraci očních pohybů používá elektronystagmografie (ENG) nebo video-okulografie (VOG).

ENG představuje osvědčenou metodu registrace očních pohybů pomocí elektrod nalepených po stranách orbity. Metoda využívá korneo-retinální potenciál očního bulbu k záznamu pohybu oka vůči pevným elektrodám. Je to

Tabulka 1 Přehled dostupných metod vyšetření vestibulárního labyrintu

Metoda	co vyšetřuje	význam
Kalorizace	laterální SCC	selektivní stimulace jedné strany!
Rotační testy	laterální SCC	hodnocení kompenzace funkce flokulu
Video HIT	všechny SCC	funkce vertikálních kanálků stimulace jedné strany ??
Okulární VEMP	utriculus	selektivní otolitová stimulace
Cervikální VEMP	sacculus	selektivní otolitová stimulace

SCC = semicirkulární kanál, HIT = Head Impulse Test, VEMP = vestibulární evokovaný myogenní potenciál



KORESPONDENČNÍ ADRESA AUTORA:

MUDr. Rudolf Černý, CSc., rudolf.cerny@lfmotol.cuni.cz

Neurologická klinika 2. LF UK a FN Motol, V Úvalu 84, 150 06 Praha 5

Cit. zkr: Neurol. praxi 2017; 18(3): 163–169

Článek přijat redakci: 2. 2. 2017

Článek přijat k publikaci: 25. 6. 2017

metoda robustní, relativně levná a neinvazivní. Mezi hlavní nevýhody patří nemožnost zaznamenat torzní pohyby oka, malá citlivost (kolem 2stp amplitudy, pro klinickou diagnostiku ale zcela dostačující) a možné artefakty – kolísání amplitudy odpovědi v závislosti na změnách kožního odporu a úrovně adaptace na světlo/tmu během vyšetření.

ENG je postupně vytlačováno VOG. Výhodou VOG je snadná manipulace, absence většiny artefaktů a zejména registrace pohybu ve všech třech stupních volnosti, včetně rotačního nystagmu. Hlavní nevýhodou je nemožnost registrace při zavření oka a optické artefakty. Před registrací je nutné odstranit oční kosmetiku, u pacientů s implantovanou čočkou po operaci katarakty ale někdy není možné VOG natočit. Z těchto důvodů je vždy vhodné mít možnost registrace ENG jako záložní metodu.

Baterie testů ve vestibulární laboratoři

Vyšetření jako celek stále není závazně standardizováno, tj. nejsou mezinárodně uznávané doporučené postupy (standardizační komise v současnosti pracuje např. v rámci Bárányho společnosti). Každá laboratoř si proto musí vytvořit vlastní soubor norem. Vzhledem k řadě okolností, které mohou někdy značně ovlivnit výsledky, nelze přejímat „literární“ normy publikované z jiných pracovišť. Zcela minimálním požadavkem je tedy vyšetření alespoň malé skupiny zdravých kontrol a ověřit, zda získané výsledky skutečně odpovídají publikovaným údajům. Vlastní průběh ENG vyšetření je dán klinickým obrazem, ale i řadou dalších okolností, mj. i dostupným vybavením a místními zvyklostmi.

V každém případě bychom ale měli zařadit testy ukazující přítomnost centrální složky, vizuálně provokované oční pohyby a vyšetření obvykle ukončíme testy labyrintové funkce (Vrabec, 2002; Molčanm 2002). Podle klinické otázky ale klademe větší důraz na centrální testy např. u pacienta s roztroušenou sklerózou a naopak podrobněji vyšetřujeme dráždivost labyrintu u pacienta s Menierovou chorobou. V následujícím textu popsany sled vyšetření odpovídá schématu používanému v Centru poruch rovnováhy Fakultní nemocnice v Motole.

Vyšetření zahajujeme registrací spontánních fenoménů – spontánní nystagmus při vyšetření ve tmě, při zavřených očích a při fixaci.

Následuje pohledový nystagmus při fixaci bodu 20° a 30° ke straně po dobu nejméně 20 sekund.

Nystagmus při periferní vestibulární poruše je charakteristický tím, že má stálý směr a intenzita se akcentuje při pohledu ve směru nystagmu. Nystagmus prvního stupně je tak patrný pouze v pohledovém testu, kdy se objeví např. levostranný nystagmus při pohledu doleva. Nystagmus II. stupně je patrný již při pohledu přímo a intenzita se zvyšuje při pohledu ve směru nystagmu. Nystagmus při periferní vestibulární poruše je tlumen fixací, jeho intenzita se tedy zvyšuje při záznamu ve tmě. Nystagmus nízké intenzity pak při fixaci zcela mizí.

Nystagmus, který mění směr při změně pohledu, nebo má významnou vertikální komponentu je vždy nystagmus centrální.

Vyšetření doplňujeme polohovými testy – záznam nystagmu v poloze nznak, na pravém a na levém boku a v záklonu hlavy. Polohový nystagmus periferního původu je směrově fixní. Výjimkou je kanalitáza horizontálního kanálku, pro kterou je typická změna směru nystagmu při polohování. Specifickou patologií je spontánní nebo polohově provokovaný vertikální nystagmus bijící dolů, který svědčí pro poškození dolního kmene, nejčastěji typu Arnold-Chiariho malformace.

Při podezření na perilymfatickou píštěl doplňujeme píštělový test, při kterém zvýšení tlaku v uchu Politzerovým balonem nebo Valsalvův manévr provokují spontánní nystagmus, obvykle nízké intenzity, trvá po dobu působení podnětu. Pozitivní píštělová zkouška je pro toto onemocnění velmi specifická.

Vizuálně provokované pohyby oční

Blok vizuální stimulací provokovaných očních pohybů obsahuje plynulé sledovací pohyby oční, vyšetření sakád a optokinetického nystagmu.

Podnětem pro plynulé sledovací pohyby oční je pohyb fixačního bodu proti nehybnému pozadí (Szirmai et Kellet, 2011).

Jde o reflex vycházející z parieto-temporálního kortexu a frontálního pohledového pole. Kmenový okruh sledovacích pohybů zahrnuje dorzolaterální jádro pontinní retikulární formace a vestibulární mozeček. Výstup z Purkyňových buněk jde do mediálního vestibulárního jádra a n. praepositus hypoglossi. Postižení tohoto složitého reflexního oblouku způsobuje již od

kortikální úrovně ipsilaterální poruchu sledovacích pohybů. Afekce ve střední čáře mozečku bývají oboustranné.

Vyšetřujeme je projekcí bodu, který se sinusoidálně pohybuje v rozmezí +- 30° s frekvencí 0,3 Hz. Vyšetření se provádí v horizontální a vertikální rovině. Hodnotíme gain a stranovou symetrii odpovědí. Patologické nálezy při vyšetření sledovacích pohybů očních jsou jednak kvalitativní – superpozice sakadických pohybů charakteru schodovitých záškubů, které ruší hladký průběh pohybu provází obvykle cerebelární poruchy, dále rušení pohybu nystagmem při periferním postižení. Postižení může být jednostranné, kdy je narušen sledovací pohyb ve směru léze, nebo oboustranné, např. u mozečkových degenerativních procesů. V těchto případech mohou sledovací pohyby chybět úplně a jsou nahrazeny sledem sakád. Jako patologický považujeme pokles gainu pod 80% a asymetrie – rozdíl gainu při srovnání pohybu na pravou a levou stranu větší než 30%.

Optokinetický nystagmus (OKN) je reakcí očí na pohyb pozadí zorného pole. Ubíhání okolí vyvolává kompenzační pohyb očí ve směru pohybu (Szirmai et Keller, 2011). Tento sledovací pohyb je přerušován sakádami, které vracejí oči do výchozí polohy. OKN má stejný směr jako labyrintový nystagmus provokovaný přirozeným pohybem hlavy (otočení hlavy doprava stimuluje pravá vestibulární jádra a zrakové pozadí současně ubíhá doleva), oba pohyby se tedy sčítají, a tím je dosaženo dokonalé stabilizace obrazu. Reflex má kortikální a kmenovou komponentu, při které je vizuální podnět veden do vestibulárních jader cestou akcesorního optického systému. U člověka je kortikální složka, jejíž dráha je částečně shodná s dráhou plynulých sledovacích pohybů očních, dominantní.

OKN se vyšetřuje projekcí vertikálních (horizontální OKN) a horizontálních (vertikální OKN) pruhů na panoramatické plátno. Podnět má vyplnit asi 20° výšky zorného pole, pod 10° výšky již odpověď nevybavíme. Rychlost pohybu pruhů je obvykle 30°/sekundu, po 10 sekundách jí zvyšujeme na 60°/sekundu. Odpovědí na pohyb pruhů je série nystagmických kmitů směřujících proti směru pohybu podnětu. Hodnotíme gain, dynamiku při zvýšení rychlosti podnětu a stranovou symetrii odpovědí. Patologický je pokles gainu OKN pod 80%, relativní hyporeflexie (při zvýšení rychlosti podnětu se nezvyšuje, nebo

dokonce klesá rychlost pohybu oka), v krajním případě OKN chybí úplně. Asymetrie může být způsobena také superpozicí spontánního nystagmu, při které je odpověď normální intenzity při pohybu pruhů ve směru nystagmu a zvýšená při pohybu pruhů proti směru nystagmu. Kvalitativní poruchy OKN zahrnují kolísání amplitudy, změny frekvence a nepravidelný tvar nystagmických kmitů. Zvláštní význam má vyšetření OKN při podezření na kongenitální nystagmus. V těchto případech je OKN odpověď zcela vyhaslá nebo nystagmus paradoxně směřuje ve směru pohybu stimulačního podnětu. Tento nálezn je pro kongenitální nystagmus patognomický.

Sakadické oční pohyby se vyšetřují v základním schématu jako pohyby reflexní, vyvolané randomizovaným skokem fixačního podnětu do excentrické polohy ve vertikální i horizontální rovině. Podnět generujeme jako časově i prostorově náhodný, intersakadický interval se pohybuje od 0,5 do 2 sekund, fixace trvá 0,5 sekundy, amplituda podnětu je od 5° do 25°, nejméně 10 skoků každým směrem. Hodnotí se latence sakády, gain a maximální rychlost průběhu pohybu, která se nelineárně zvyšuje při nárůstu amplitudy podnětu. Generátorem sakadických pohybů jsou premotorická okulomotorická centra kmenové. Tzv. burst neurony těchto jader jsou pod stálou inhibicí omnipause neuronů mozečku. Sakáda se vytvoří při krátkodobém výpadku této inhibice. Kromě kmenových (reflexních) sakád je možné vyšetřit i sakády volní, paměťové a anti-sakády (frontální pohledové pole). Tyto techniky mají význam hlavně u neurodegenerativních onemocnění. Patologický nálezn při vyšetření reflexních sakád indikuje kmenové postižení pohledových center a okulomotorických center mozečku. Typickou patologií je hypermetrie – přestřelení cíle následované zpětnou korekční sakádou. Objevuje se ipsilaterálně u mozečkových lézí. Prodloužení latence sakád nad 300 ms je nespecifickou patologií, která může vzniknout na úrovni kortikálních i kmenových generátorů. Nízká rychlost vertikálních sakád je typickým nálezem u progresivní supranukleární paralýzy, nízká rychlost horizontálních i vertikálních sakád se nachází jako specifický nálezn u spinocerebelární ataxie 2. typu.

Labyrinthové zkoušky

Po bloku vizuální stimulace vypneme osvětlení laboratoře, pacienta necháme adaptovat

na tmou a provedeme rekalibraci. Pak můžeme pokračovat rotačními zkouškami a kalorizací.

Rotačních zkoušek je velké množství typů, podle průběhu rychlostního stimulu se rozlišují zkoušky s lichoběžníkovým průběhem, zkoušky sinusové a rotace složené z několika současně aplikovaných kmitavých pohybů (Handbook of Balance Function Testing, 1997; Wuys, et al., 2007).

Rutinně se dnes používá sinusová rotace, při které se křeslo rotuje s frekvencí 0,05 Hz a maximální rychlostí 90°/sekundu. Jde tedy o nízkofrekvenční rotační podnět, který umožňuje v krátkém čase 20 sekund vyšetřit gain a fázový posun perrotací odpovědi. V dalším kroku opakujeme stejné vyšetření, ale s vizuální supresí – pacient fixuje světelný bod připevněný ke křeslu. Za těchto podmínek klesá gain odpovědi u zdravé normy minimálně o 80% (supresní index = (gain rotace ve tmě – gain při fixaci) / gain rotace ve tmě + gain při fixaci) * 100), obvykle je potlačení vestibulo-okulární odpovědi úplně. K narušení schopnosti suprese vestibulárního nystagmu dochází při postižení flokulu a vestibulocerebela.

Rotační zkouška není stranově specifická, umožňuje ale posoudit dosažený stupeň kompenzace periferní poruchy – asymetrie gainu vyšší než 30% je patologická a svědčí pro neúplnou kompenzaci vestibulárního výpadku. Pro kompenzované případy je typické oboustranné, symetrické snížení gainu pod 40%. Test zrakové suprese je nepostradatelný pro posouzení flokulo-nodulární funkce, při postižení této oblasti nedochází k potlačení vestibulo-okulárního reflexu (rotačního nystagmu).

Kalorická zkouška (Goncalves, Felipe et Lima, 2008; Szirmai et Keller, 2013)

Kalorická zkouška je stále zlatým standardem vyšetření vestibulárního labyrintu a nesmí proto nikdy chybět. Stimulem při kalorické zkoušce je tepelný gradient vznikající v endolymfě výplachem zevního zvukovodu vodou o různé teplotě. Výplachem je nejvíce ovlivněn laterální kanálek, který se nejvíce přibližuje k bubínkové membráně. Vertikální kanálky se kalorizací nevyšetřují. Intenzita tepelného podráždění je velmi variabilní, závisí na stupni pneumatizace skalní kosti a objemu zevního zvukovodu. Vyšetření se tedy hodí k posouzení pravo-levého rozdílu dráždivosti, méně ke srovnání inter-individuální

reaktivity. Vznik tepelného gradientu v endolymfě laterálního kanálku podmiňuje konvekční proudy, které se projevují při umístění kanálku do vertikální polohy (optimální Brünningsova poloha – leh na zádech, hlava předkloněna 30 stupňů dopředu) teplejší „bublina“ endolymfy stoupá, chladnější klesá. Teplý podnět tedy v této poloze způsobí excitačně působící ampulopetální proudění, vychýlení oka kontralaterálně a rychlou fázi nystagmu ke straně výplachu. Směr proudění a výsledný efekt na labyrint závisí na poloze kanálku v gravitačním poli. Pokud vyšetřovaného obrátíme na břicho, směr proudění endolymfy se obrátí a z excitačního nystagmu se stane nystagmus inhibiční (rychlá fáze bije k protilehlému uchu) a naopak. Umístěním kanálku do horizontální roviny se proudění endolymfy a nystagmus přeruší a reakce vyhasíná.

Vyšetření kalorické dráždivosti horizontálního kanálu se provádí bitermální kalorizací, nejčastěji v modifikaci podle Hallpike-a. Kontraindikací kalorizace jsou změny ve zvukovodu, obturace zvukovodu ceruminem, ale hlavně perforace bubínku. Provádíme výplach ucha vodou 30° a 44° C teplou, tedy celkem čtyři zkoušky v pořadí (v závorce jsou uvedeny mezinárodně zavedené zkratky): teplá vpravo (WR), teplá vlevo (WL), studená vlevo (CL) a studená vpravo (CR). Tento sled výplachů zajistí, že vyvolaný nystagmus směřuje vždy opačně k předchozí zkoušce, a tím nedochází k posílení odpovědi v důsledku přetrvávání latentní aktivity ze zkoušky předchozí. Odpověď registrujeme standardně 180 sekund, ale do dalšího výplachu musí uplynout minimálně pět minut, jinak bývá interference skutečně významná. Příliš krátký interval mezi výplachy způsobí, že reakce na první zkoušku je nápadně silnější než na zkoušky následující. Pro hodnocení je základním parametrem rychlost pomalé fáze odpovědi ve fázi nejsilnější odpovědi, což je obvykle 90–120 sekund po ukončení výplachu. Dříve používané parametry jako počet kmitů, frekvence odpovědi a celková amplituda nystagmu jsou obsolentní. Resp. jsou jedinou možností v situaci, kdy nemáme záznam očních pohybů a kalorizaci hodnotíme pod Frenzelovými brýlemi počítáním frekvence nystagmu. Ani tehdy ale význam této zkoušky neklesá! Jde totiž o jediný test, který umožňuje izolovanou stimulaci každého labyrintu zvlášť. Z hodnot maximální aktivity jednotlivých rotací lze počítat indexy, z nichž nejdůležitější je

index stranové dráždivosti podle Jongkeese. Jde o rozdíl reaktivity levého a pravého labyrintu v procentech – rozdíl větší než 25 % je považován za významný, v praxi tato prahová hodnota ale málo koreluje s klinickým stavem. Závažnější klinický dopad obvykle mají rozdíly v dráždivosti od 50 % výše.

Další vypočtené hodnoty nejsou již používané zcela standardně, ale poskytují užitečné informace. Patří sem zejména hodnocení celkové kalorické dráždivosti, které lze počítat jako průměrnou hodnotu všech čtyř výplachů, nebo hodnotu součtu všech čtyř reakcí. V naší laboratoři považujeme za hyperreflexní kalorizaci se součtem SPV >240°/sekundu. Závažná hyporeflexie je při součtu SPV <30°/sekundu.

Kalorická disociace znamená rozdíl v reaktivitě na teplou a studenou vodu. Teplý výplach má obvykle vyšší intenzitu odpovědi než studený. Rozdíl tohoto indexu nad 30 % považujeme za významný.

Vzácně se setkáváme s kvalitativními poruchami kalorické odpovědi, které vznikají při postižení vestibulárních jader a jejich komisurálních spojů. Jako **kalorická perverze** se označuje významný podíl vertikálního nystagmu při stimulaci horizontálního kanálku. Zcela vzácná je **kalorická inverze** – obrácení směru všech reakcí (excitační podnět způsobí reakci jako inhibiční a naopak). Teplý výplach vpravo vyvolá nystagmus doleva atd. Nejčastější příčinou této abnormality je ale technická chyba – obrácení polarity elektrod, proto je tento nálezn vždy nutno ověřit opakovaním kalorizace a kontrolou kalibrační sekvence, kde by v tomto případě byl pohyb oka rovněž opačného směru.

Samostatnou problematiku představuje kalorizace vzduchem. Vzdušný kalorizátor aplikuje proud vzduchu ohřátého na 50°C po dobu 60 sekund. Vzhledem k nízké efektivitě tepelného přenosu vzduchu ve srovnání s vodou je ale výsledná stimulace slabší a odpověď velmi variabilní. Její hodnocení je problematické, respektive má spíše kvalitativní charakter a kvantitativní výsledky analýzy jsou velmi nespolehlivé. V praxi je to metoda volby v situaci, kdy je kalorizace vodou kontraindikována, tedy při perforacích bubínku. U velkých perforací a v případně dutiny po radikální operaci středouší je ale obtížné i stranové srovnání se zdravou stranou – na operované straně je stimulace silnější vzhledem k téměř bezprostřednímu působení vzduchu na

vnitřní ucho. Někdy ale v případě velkých perforací může horký vzduch působit paradoxně ochlazení způsoben zvýšeným odparem sekretu v postiženém uchu.

Jinou možností je použití uzavřeného kalorického okruhu. Do zevního zvukovodu se vloží gumový balonek, který se roztáhne průtokem vody a přilehne na bubínek. Tepelný podnět pak působí prakticky stejně jako přímá stimulace výplachem. Tento systém je možné použít i v případě perforací.

Zvláštní situace nastává, když není možné kalorizaci dokončit celou, obvykle pro nevolnost, vzácně i emezi po výplachu. V takovém případě se snažíme dokončit alespoň dvě stimulační, což umožní posouzení stranového rozdílu dráždivosti. Kalorizaci vždy začínáme teplými výplachy, které poskytují silnější odpověď. Snažíme se pacienta pozvat na vyšetření v druhé době, kdy bychom pak doplnili pouze samostatnou kalorizaci. Řada pacientů to ovšem po první negativní zkušenosti odmítá. Je třeba zdůraznit, že pokud zjistíme po dvou výplachích stranovou asymetrii, nejsme schopni rozhodnout, zda jde skutečně o sníženou reaktivitu jedné strany, nebo symetrickou dráždivost, na kterou nasedá směrová převaha nystagmu. Máme totiž jen polovinu obrazu, ze které nelze rozlišit, o kterou z obou možností se jedná. Proto se vždy snažíme získat obraz kompletní bitermální kalorické zkoušky.

Problematickou diagnostickou hodnotu má **cervikální test**. Jde o rotaci trupu vůči stabilní hlavě. V naší laboratoři se křeslo rotuje sinusovým profilem +20° a laborant fixuje rukama hlavu pacienta, aby zkouška šla při případných obtížích ihned ukončit. Pacient má oči otevřené ve tmě pod zaslepujícími brýlemi. U zdravých osob se obvykle vybaví nepravidelné pomalé pohyby očí proti směru pohybu, nebo je poloha očí stabilní. Jako abnormní hodnotíme bifázický nystagmus, bývá obvykle nízké intenzity a směr se buď mění s rotací nebo se objevuje pouze při rotaci v jednom směru. Interpretace této zkoušky ale není jednoznačná a musí se posuzovat v souvislosti s kineziologickým vyšetřením krční páteře a v kontextu kompletního neuro-otologického vyšetření.

Nejčastější příčina závratí – benigní polohové vertigo – se diagnostikuje klinicky a nemá specifický nálezn při laboratorním vyšetření. Často je ovšem podmíněna onemocněním labyrintu, proto je vestibulární vyšetření vhodné. Jeho

smyslem je vyloučení okulární patologie vnitřního ucha.

Vyhodnocení vestibulárního vyšetření

Základem pro hodnocení ENG záznamu je přítomnost a kvantitativní analýza nystagmu. Nejvýznamnějším parametrem je rychlost pomalé, vestibulární, fáze nystagmu, u které bylo prokázáno, že dobře koreluje vzruchovou aktivitou neuronů vestibulárních jader. Rychlost pomalé fáze (SPV) je podílem úhlové amplitudy nystagmického kmitu a jeho trváním.

Z jednotlivých hodnot SPV je možné vykreslit graf dynamiky průběhu odpovědi, gain odpovědi (SPV/rychlostí podnětu) a časovou konstantu u rotačních testů. Z těchto hodnot se odvozují další výsledky, především stranová symetrie.

Některé typické nálezy jsou přehledně uvedeny v tabulkách 2 a 3.

Následující přehled není zdaleka úplný a je poněkud schématický – předkládáme záměrně výsledky vyšetření vestibulární baterie jako odpověď na otázku – „Jak bude záznam vypadat, když máme před sebou tento klinický problém?“.

Vyšetření otolitového systému

Vyšetření otolitů bylo donedávna slabým místem vestibulární diagnostiky. Přístroje využívající lineárního zrychlení nebo rotační stimulaci s nakloněnou nebo horizontální osou otáčení byly drahé, mechanicky náročné a pro klinickou praxi prakticky nepoužitelné.

Zavedení sonomotorických odpovědí snímaných povrchovou elektrodou ze svalu (vestibulární myogenní evokovaný potenciál – VEMP) proto představuje zásadní změnu, která podstatně rozšiřuje naše vyšetřovací možnosti (Ferber-Viart, Dubreuil et Duclaux, 1999). Dnes jsou vestibulární potenciály celosvětově běžnou součástí vyšetření vestibulárního systému.

Rozlišujeme cervikální a okulární modifikaci VEMP potenciálu. Otolitové makuly stimulujeme nízkofrekvenčním zvukem vysoké intenzity nebo vibrací. Používá se nejčastěji tone-burst o frekvenci 500 Hz a audiometrický kostní stimulator. Intenzita musí být vysoká, nad 90 dB HL. Podnět vyvolá krátkodobý pokles aktivity isometricky kontrahovaného svalu, který můžeme registrovat povrchovou EMG elektrodou, jde tedy o období silent perody.

Tabulka 2 Přehled některých typických ENG nálezu – vizuální zkoušky

Syndrom	Spont. nystagmus	Pohledový nystagmus	Sledovací pohyby	Optokinetický nystagmus	Sakády
Kompenzované periferní labyrintové postižení	Nepřítomen	Nepřítomen	Normální	Normální	Normální
Nekompenzované periferní labyrintové postižení	Směrově fixní nystagmus, tlumí se fixací	Směrově fixní nystagmus, zesiluje se pohledem ve směru rychlé složky	Normální	Normální	Normální
Vestibulo-cerebelární postižení	Nekonstantně, mohou být spontánní sakády	Směrově měnlivý nystagmus, bije ve směru pohledu	Hyporeflexní, superpozice sakád	Hyporeflexní	Hypermetrické, nepravidelné
Cerebelární nystagmus (typický nálezu u intoxikací, např. antiepileptiky)	Nepřítomný	Směrově měnlivý nystagmus, bije ve směru pohledu Nejdůležitější příznak!	Normální	Normální	Normální – dysrytmické
Kongenitální nystagmus	Nystagmus atypického tvaru – kyvadlový nebo s exponenciálním průběhem; Nulový bod	Nystagmus se akcentuje fixací	Superpozice nystagmu Nízký gain	Nevýbavný nebo inverze	Superpozice nystagmu
Vaskulární kmenové postižení	Dysrytmický nystagmus nízké amplitudy a vysoké frekvence	Směrově měnlivý nystagmus	Hyporeflexní	Hyporeflexní	Hypometrické
Zvýšená neurovegetativní dráždivost, anxieta	Spontánní sakády s nízkou amplitudou	Není přítomen, mohou být spontánní sakády	Normální nebo zvýšený gain	Odpověď vysoké amplitudy, gain je zvýšený	Normální, někdy hypermetrické

Tabulka 3 Přehled některých typických ENG nálezu – labyrintové zkoušky

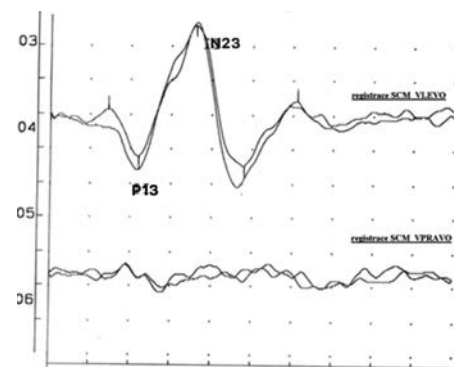
Syndrom	Sinusová rotace	Zraková suprese VOR	Kalorizace
Kompenzované periferní labyrintové postižení	Symetrický pokles gainu; prodloužení fázového posunu $>20^\circ$	Normální	Jednostranná hyporeflexie, CP $>30\%$
Nekompenzované periferní labyrintové postižení	Asymetrický pokles gainu nebo areflexie; gain $<30\%$. Prodloužení fázového posunu $>20^\circ$	Normální	Jednostranná hyporeflexie (areflexie), CP $>30\%$, směrová převaha ve směru rychlé složky
Vestibulo-cerebelární postižení	Dysrytmický nystagmus, gain často zvýšený ($>70-80\%$)	Porušená, index $<80\%$, často $<50\%$	Normální nebo zvýšená intenzita
Cerebelární nystagmus (typický nálezu u intoxikací, např. antiepileptiky)	Normální – zvýšení gainu	Normální	Normální – dysrytmie
Kongenitální nystagmus	Superpozice nystagmu znemožňuje hodnocení	Paradoxně zvýšení intenzity!	Superpozice nystagmu znemožňuje hodnocení
Vaskulární kmenové postižení	Hyporeflexní, vysoká frekvence	Může být narušená	Dysrytmický nystagmus, hyporeflexní nebo normální intenzita
Zvýšená neurovegetativní dráždivost, anxieta	Nystagmus vysoké amplitudy, pravidelný, gain zvýšený	Normální	Hyperreflexie, vysoká amplituda a frekvence, kalorická disociace

Cervikální VEMP představuje elektrofyziologický korelát sacculo-colického reflexu. Je přenášen vestibulo-spinální dráhou k míšním motoneuronům, které inervují ipsilaterální m. sternocleidomastoideus. Cervikální VEMP registrujeme elektrodou umístěnou v horní třetině m. sternocleidomastoideus. Odpověď je registrována ipsilaterálně jako vysoký trifázický potenciál a hlavními vrcholy N13 a P23 (obrázek 1). Pro vybavení odpovědi je zásadní podmínkou maximální izometrická kontrakce terčového svalu, která se zajišťuje buď zvednutím hlavy nad podložku v průběhu akustické stimulace, u osob, které to nedokáží, je alternativou usilovná rotace hlavy k opačné rameni.

Absence cervikálního VEMP znamená ztrátu funkce ipsilaterálního sakulu, u parciálních lézí je pokles amplitudy se stranovou diferencí

minimálně 40%. Nápadně vysoká amplituda cervikálního VEMP je charakteristická pro dehiscenci horního semicirkulárního kanálu (Streubel et al., 2001).

Okulární VEMP se registruje z m. obliquus oculi inferior. Vyšetřuje se vleže, isometrická kontrakce je docílena usilovným pohledem směrem k čelu v průběhu stimulace. Stimulace je shodná jako při cervikálním VEMP, vibrační stimulace podnětem 500 Hz na čele má ale robustnější odpověď. Rovněž filtrace a zprůměrnění odpovědi jsou stejné jako při snímání cervikálního VEMP. Odpovědi je kontralaterální peak s latencí 10 ms – N10. Podráždění utrikulárních senzorů se horní porcí vestibulárního nervu přenáší do vestibulárních neuronů a odtud cestou fasciculus longitudinalis medialis do jádra n. oculomotorius. Tato dráha se kříží na úrovni dolního pontu,

Obrázek 1 Ukázka cervikálního VEMP u zdravé osoby. Stimulace levého ucha akustickým podnětem vyvolá výraznou trifázickou odpověď, pouze ipsilaterálně. Latence vlny N13 = 11 ms, vlny P23 = 20 ms. Sumace dvou pokusů, zprůměrnění 150 jednotlivých přeběhů

odpověď je tedy kontralaterálně. Absence potenciálu N10 prokazuje ztrátu reaktivity kontralaterální utrikulární makuly, parciální léze se pro-

jevují poklesem amplitudy (stranová asymetrie >40%). Několikanásobné zvýšení amplitudy N10 je opět typické pro dehiscenci horního semicirkulárního kanálu. Vyšetření umožňuje rozlišit lokalizaci postižení při vestibulární neuronitidě (zachování ipsilaterální cVEMP odpovědi, vyhaslá kontralaterální oVEMP odpověď, kalorická areflexie).

Head impulse test

Objektivní vyšetření vertikálních semicirkulárních kanálků nebylo možné až do zavedení metodiky head impulse testu (HIT) (MacDougall et al., 2013), (Alhabib et Saliba, 2017). HIT byl původně zaveden jako metodika klinického vyšetření vestibulo-okulárního reflexu. V této podobě se stal pevnou součástí oto-neurologického vyšetření. Další podstatný pokrok přineslo zavedení registrace HIT pomocí video-okulografie, které umožnilo objektivní záznam s kvantitativní analýzou výsledku. HIT vybavujeme krátkým záškubem hlavy – impulzem – dosahujícím rychlosti 150–250 stp/sek. Zdravé osoby dokáží tento pohyb plně kompenzovat pomocí vestibulo-okulárního reflexu. Pokud je snižená nebo vymizela reaktivita vyšetřovaného kanálku, reflexní odpověď v průběhu pohybu je nízká nebo snižená, po ukončení pohybu hlavy pak zaznamenám korekční sakádu, která vrací oko na sledovaný fixační bod. Hlavní součástí aparatury pro vyšetření video-HIT (vHIT) jsou lehké brýle se zabudovanou vysokofrekvenční video kamerou (registruje pohyb oka) a akcelerometrem (zaznamená pohyb hlavy). Pacient fixuje bod ve vzdálenosti 90–100 cm a vyšetřující stojící za ním provádí rychlé krátké záškuby v rovině vyšetřovaného kanálku. Správnou volbou roviny záškubu je možné vyhodnotit funkci všech šesti kanálků vnitřního ucha. Hodnotíme dva faktory – gain VOR (poměr ploch pod křivkou pohybu oka a pohybu hlavy) a přítomnost korekčních sakád. Normální gain je nad 0,8 u horizontálních a více

než 0,7 u vertikálních kanálů. Typická ukázka patologického výsledku je na obrázku 2.

Ukazuje se, že časně nastupující sakády (do 200 ms) od začátku pohybu hlavy svědčí pro dobrou kompenzaci poruchy, kdežto pozdě nastupující sakády korelují se špatnou kompenzací vestibulárního výpadku. Toto vyšetření tedy umožňuje i posouzení prognózy. Jde o vyšetření komplementární ke kalorické stimulaci, hodnotí funkci labyrintu ve vysokofrekvenčním pásmu, kdežto kalorizace v pásmu nízkofrekvenčním. Korelace obou vyšetření je nízká. Často se setkáváme s případy, kdy při úplné kalorické areflexii vHIT detekuje překvapivě vysokou, někdy i normální odpověď. Tato vyšetření zcela jistě nejsou vzájemně zaměnitelná.

Zcela nedávno byla publikována modifikace vHIT vyšetření – tzv. supresní HIT (SHIMP) (MacDougall et al., 2016). Registrační zařízení i prováděná stimulace záškubem hlavy se neliší od popsané metodiky. Zásadní rozdíl spočívá v tom, že vyšetřovaná osoba sleduje bod pohybující se s hlavou (např. laserový bod promítaný emitorem umístěným na hlavě pacienta). U zdravé osoby se záškubem vybaví normální VOR, který okem pohne proti směru pohybu hlavy. Po skončení záškubu se tak oko dívá jinam než kam ukazuje fixační bod a vrací se k němu tzv. antikompensatorní sakádou. Při výpadku labyrintu tato sakáda chybí, nebo je velmi nízká. Obě metody (vHIT a SHIMP) spolu úzce korelují a první zkušenosti naznačují, že přítomnost antikompensatorní sakády je z dosud známých vyšetření nejcitlivějším ukazatelem reziduální vestibulární funkce.

Stabilometrické vyšetření

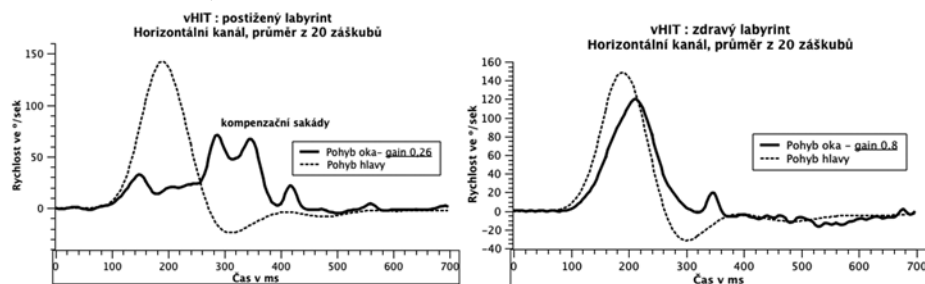
Kvantitativní vyšetření vestibulo-spinálních jevů je nedílnou součástí vyšetření pacientů se závratí a poruchami rovnováhy.

Stabilometrické vyšetření má jen omezenou diagnostickou hodnotu při určování topiky lé-

ze, je však zcela zásadní pro odhad rizika pádů, stupně aktuálního funkčního handicapu a návrh vhodného rehabilitačního programu. Je třeba zdůraznit, že stabilometrie hodnotí poruchy stoje a není specifická pro hodnocení vestibulárního labyrintu. Právě proto, že jde o vyšetření funkční, je důležitá pro kvantifikaci celkového handicapu. To je zvláště významné u multisenzorického deficitu, kdy kombinace zrakového, vestibulárního deficitu a např. polyneuropatie vede k podstatně větší poruše stability, než by odpovídalo např. jen lehké poruše kalorické dráždivosti.

Při vyšetření pacient stojí na tenzometrické plošině, která měří jednotlivé složky tlakových sil a jejich momenty. Z těchto hodnot se počítá poloha působíště výsledné tlakové síly – tzv. centre of foot pressure (CoP) (Furman et al., 1993; Visser et al., 2017). Poloha CoP je určena souřadnicemi v antero-posteriorním a medio-laterálním směru. V průběhu vyšetření zaznamenáváme polohu a pohyb CoP. Stabilitu stoje hodnotíme pomocí různých parametrů, k základním patří délka trajektorie, průměrná rychlost pohybu CoP a parametry plochy opsané CoP v průběhu vyšetření – např. 95% plocha konfidenční elipsy (Rocchi et al., 2006). Kromě kvantitativních parametrů určíme i převažující směr úchylek stoje. Přístroje používané v praxi často obsahují ve svém software hodnoty parametrů odpovídající fyziologickému rozpětí zdravého jedince. Je však nutné si uvědomit, že tyto hodnoty jsou často standardizovány pouze výrobcem daného stabilometrického systému a neplatí obecně. Statická stabilometrie hodnotí stoj při otevřených a zavřených očích a dále při stoji na pěnové gumě. K základním parametrům patří Rombergův kvocient – poměr hodnot naměřených při zavřených a otevřených očích. Dynamická stabilometrie hodnotí schopnost vyrovnat výchyly těla vyvolané pohybem stabilometrické plošiny. Kompletní stabilometrické vyšetření hodnotí stabilitu stoje při různých kombinacích senzorického vstupu (oči otevřené, zavřené, vizuální prostředí pohybující se s pacientem) a v klidu i při pohybu plošiny. Takto kompletní vyšetření umožňuje zhodnotit celkový deficit a vliv jednotlivých smyslových systémů na udržení rovnováhy. Pro rehabilitaci je např. významné určení stupně závislosti na zrakových vjemech, tzv. vizuální dependence pro udržení rovnováhy. Frekvenční analýza pohybů těžiště při volném stoji ukáže izolované frekvenční

Obrázek 2 Ukázka vyšetření vHIT u pacienta s jednostrannou vestibulární poruchou



peaky – pro postižení předního laloku mozečku je typická posturální instabilita s dominantní frekvencí 3 Hz, pro primární ortostatický tremor je patognomickým nálezem frekvenční peak 11 Hz (Čakrt et al., 2012; Yarrow et al., 2001).

Subjektivní vizuální vertikála

Vyšetření subjektivní vizuální vertikály je citlivým korelátorem reakce náklonu (ocular tilt reaction), která je příznakem porušení gravitorecepční dráhy v periférii i v jejím centrálním průběhu (Dieterich et Brandt, 2015; Brandt et Dieterich, 1992). Vyšetřovaná osoba má za úkol v opticky izotropním prostředí, které nepo-

skytuje žádné informace o poloze v prostoru, umístit detekční ukazatel do přesné vertikály. Zdravý člověk je schopen tak učinit s vysokou přesností, odchylka více než dva úhlové stupně je patologická. Hodnotí se průměrná odchylka ze série 5 až 10 pokusů, každé oko zvlášť a pak binokulárně. Pro parézy okohybných svalů je typická disociace úchyly při monokulárním vidění, u pacientů s postižením vestibulární funkce zaznamenáme konzistentní deviaci vertikály ve směru hypofunkčního labyrintu, řádově kolem 5-10 stupňů. Citlivější je dynamické vyšetření subjektivní vertikály, při kterém pacient nastává ukazatel a zorné pole vyplněné vzorem

náhodně rozmístěných kruhů se pomalu otáčí. Toto vyšetření již vyžaduje poměrně náročné vybavení, zatímco pro statickou vizuální vertikály stačí jednoduché zařízení – např. tyč natřená fosforeskující barvou, kterou pacient ve tmě nastaví a o rozsvícení odečteme odchylku na goniometru. Dnes již jsou k dispozici aplikace pro měření subjektivní vertikály pomocí chytrého telefonu. Na obrazovce se objevuje linie pod náhodným úhlem a pacient sedící ve tmě ji nastavuje do vertikály. Přesnost tohoto měření se ukazuje překvapivě dobrá, doporučit ke stažení lze např. aplikaci SVAPP od Maastricht Instruments.

LITERATURA

- Alhabib SF, Saliba I. Video head impulse test: a review of the literature. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. Springer Berlin Heidelberg; 2017; 274(3): 1215–1222.
- Brandt T, Dieterich M. Cyclorotation of the eyes and subjective visual vertical in vestibular brain stem lesions. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1992; 656(1 Sensing and C): 537–549.
- Čakrt O, Funda T, Černý R, Mužík J, Jeřábek J, Kolář P. Diagnosticky specifické nálezy při posturografickém vyšetření – dvě kazuistiky. *Česká a Slovenská Neurologie a Neurochirurgie* 2012; 75/108(1): 88–91.
- Dieterich M, Brandt T. The bilateral central vestibular system: its pathways, functions, and disorders. *Annals of the New York Academy of Sciences* 2015; 1343: 10–26.
- Ferber-Viart C, Dubreuil C, Duclaux R. Vestibular evoked myogenic potentials in humans: a review. *Acta Oto-Laryngologica*. 1999 Jan; 119(1): 6–15.
- Furman J, Baloh RW, Barin K, Hain T, Herdman SJ. Assessment: posturography. Report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 1993; 43(6): 1261–1264.
- Gonçalves DU, Felipe L, Lima TMA. Interpretation and use of caloric testing. *Rev Bras Otorrinolaryngol*. 2008; 74(3): 440–446.
- Handbook of Balance Function Testing. Vol. 1997. San Diego, London: Singular.
- MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS, Weber KP. The Video Head Impulse Test (vHIT) Detects Vertical Semicircular Canal Dysfunction. *PLoS ONE. Public Library of Science*; 2013 Nov 19; 8(4): e61488.
- MacDougall HG, McGarvie LA, Halmagyi GM, Rogers SJ, Manzari L, Burgess AM, Curthoys IS, Weber KP. A new saccadic indicator of peripheral vestibular function based on the video head impulse test. *Neurology* 2016; 87(4): 410–418.
- Molčan M. Vertigo: základy diagnostiky a léčby. Košice: Elfa; 2002.
- Rocchi L, Chiari L, Cappello A, Horak FB. Identification of distinct characteristics of postural sway in Parkinson's disease: A feature selection procedure based on principal component analysis. *Neuroscience Letters*. 2006; 394(2): 140–145.
- Streubel SO, Cremer PD, Carey JP, Weg N, Minor LB. Vestibular-evoked myogenic potentials in the diagnosis of superior canal dehiscence syndrome. *Acta Otolaryngol Suppl*. 2001; 545: 41–49.
- Szirmai A, Keller B. Electronystagmographic analysis of caloric test parameters in vestibular disorders. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2013; 270(1): 87–91.
- Szirmai A, Keller B. Electronystagmographic analysis of optokinetic and smooth pursuit eye movement disorders in vestibular lesions. *Int. Tinnitus J*. 2011; 16(2): 174–179.
- Visser JE, Carpenter MG, van der Kooij H, Bloem BR. The clinical utility of posturography. *Clinical Neurophysiology* 2017; 119(11): 2424–2436.
- Vrabec P. Rovnovážný systém: klinická anatomie a fyziologie, vyšetřovací metody. Obecná část. I. Triton; 2002.
- Wuyts FL, Furman J, Vanspauwen R, Van de Heyning P. Vestibular function testing. *Current Opinion in Neurology*. 2007; 20(1): 19–24.
- Yarrow K, Brown P, Gresty MA, Bronstein AM. Force platform recordings in the diagnosis of primary orthostatic tremor. *Gait Posture* 2001; 13(1): 27–34.