

# Diagnostika a trénink neurovizuálních funkcí v rehabilitaci a ve sportu

## Diagnosis and training of neuro-visual functions in rehabilitation and sports training

J. Kolář<sup>1,2</sup>, V. Veselý<sup>1</sup>, P. Kolář<sup>1,2</sup>, A. Kobesová<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol, Praha*

<sup>2</sup> *Centrum pohybové medicíny Pavla Koláře, a.s., Praha*

**Souhrn:** Senzorická integrace se podílí na optimálním provedení pohybu. Při opakovaném neideálním příjmu informací z okolního prostředí může docházet k narušení procesu motorického učení. Dominantním lidským smyslem je zrak. Vizuální informace jsou na úrovni centrálního nervového systému (CNS) integrovány se vstupními informacemi z jiných smyslových orgánů a kontinuálně ovlivňují motorickou činnost. V současné době se v oboru rehabilitace i ve sportu používá pojem neurovizuální systém (NVS), který zohledňuje propojení osy oči–mozek–tělo. Článek shrnuje recentní informace o NVS a představuje možnosti diagnostiky NVS v klinické praxi, jako je testování zrakové ostrosti, motility očí a blízkého bodu konvergence. Na základě dostupné literatury jsou popsány indikační skupiny pacientů, u kterých by mohl být neurovizuální trénink (NVT) efektivní součástí rehabilitace, i možnosti využití u sportovců v rámci sportovního tréninku. Součástí publikace jsou dvě kazuistiky, které demonstrují vyšetření NVS a využití NVT v klinické praxi u adolescenta s poruchou pozornosti a vrozenou diplopií a u mladé tenistky s bolestmi hlavy.

**Klíčová slova:** senzory integrace – zrakový systém – vyšetření zraku – neurovizuální systém – neurovizuální trénink – Senaptec – RightEye

**Summary:** Sensory integration plays a crucial role in the smooth execution of movements. However, the repeated intake of suboptimal information from our surroundings can disrupt the motor learning process. Sight stands out as the dominant human sense, providing visual information that is integrated at the central nervous system (CNS) level. This integration occurs alongside inputs from other sensory organs, constantly influencing motor activity. The term “neuro-visual system” (NVS) is now widely recognized in the fields of rehabilitation and sports, highlighting the crucial eye–brain–body axis connection. This article provides an overview of recent findings on the NVS exploring diagnostic procedures relevant to NVS in clinical settings. These procedures include tests for visual acuity, eye motility, and the near point of convergence. Drawing on existing literature, it identifies specific patient groups for whom neuro-visual training (NVT) could significantly enhance rehabilitation outcomes. Additionally, it discusses the potential benefits of NVT for athletes as an integral part of their sports training regimen. Included in the publication are two case studies illustrating NVS assessment and the application of NVT in clinical practice. The first case involves an adolescent with attention disorder and congenital diplopia, and the second, a young tennis player suffering from headaches. These examples underscore the practical value of NVS diagnostics and neuro-visual training in addressing specific health and performance issues.

**Key words:** sensory integration – visual system – visual assessment – neuro-visual system – neuro-visual training – Senaptec – RightEye

### Úvod

Schopnost orientovat se v prostoru je jedním ze základních předpokladů pro provedení ideální motorické aktivity. Lidský mozek na základě příjmu informací ze smyslových orgánů vytváří adekvátní motorickou odpověď a umožňuje provedení i těch nejpřesnějších, nejjemnějších a nejsložitějších pohybů.

Kvalita získaných informací závisí na schopnosti smyslového aparátu zachytit a zpracovat dané podněty. Z hlediska motoriky je klíčová integrace senzorických vjemů ze sluchového, vestibulárního, taktilního a proprioceptivního systému, a hlavně z podnětů optických [1]. Skutečně sofistikovaný pohyb je kontrolován a kontinuálně korigován všemi

výše zmíněnými smyslovými modalitami. V rámci vyšetření, rehabilitace či tréninku motorických dovedností proto nesmí být tento aspekt opomíjen [2,3].

Nejenom vlastní výkon pohybu, ale i proces motorického učení, jeho kvalita a zpětná korekce jsou do značné míry ovlivněny integrací senzorických informací na úrovni centrálního nervového systému

(CNS) [4–6]. Princip spolupráce CNS a motoriky člověka vysvětluje tzv. Bayesiánská teorie rozhodování [7]. Na základě informací ze smyslových vstupů spolu s již získanými zkušenostmi mozek určuje pravděpodobnosti různých aspektů, které budou mít na pohyb vliv, a následně pak motorickou odpověď řídí a koriguje. V dnešním světě, kdy ve sportovním výkonu často rozhodují o úspěchu milimetry, setiny či desetiny bodů, a to v situaci, kdy fyzická připravenost elitních sportovců dosahuje maxima, se dostáváme do fáze, kdy jakékoliv další zlepšení může rozhodovat o úspěchu. Zlepšení smyslové percepce, která má na motorický projev zásadní vliv, může být jedním ze způsobů, jak ovlivnit sportovní výkon [7].

Zlepšení a zkvalitnění příjmu informací pomocí smyslů není ale indikováno pouze pro sportovce, ba naopak, trénink sensorické percepce by měl mít své pevné místo i v rehabilitaci pacientů s chronickou bolestí, neurologických pacientů či dětských pacientů s vývojovými a jinými poruchami. Vzájemného ovlivňování a kompenzování funkcí jednotlivých smyslových modalit a jejich vlivu na motoriku i na procesy učení využívá metoda nazývaná sensory integration therapy (SIT), tedy terapie smyslové integrace. Nicméně efekt SIT nebyl zcela jednoznačně prokázán. Metaanalýza z roku 1999 poukazuje na účinnost SIT na psychoedukační a motorické funkce, nepotvrzuje ale větší účinnost SIT oproti jiným, alternativním druhům terapie [8]. Ke stejnému závěru došla i pozdější metaanalýza 30 prací zaměřených na efekt SIT. Ve srovnání s jinými alternativními intervencemi nebyly rozdíly v účinku signifikantní. Řada analyzovaných prací navíc vykazovala závažné metodologické nedostatky, a proto jejich závěry nelze považovat za spolehlivé [9].

Tento článek se specificky zaměřuje na funkce neurovizuální a na jejich vliv na motoriku. Prezentuje možnosti moderních postupů vyšetření a tréninku NVS. Neurovizuální trénink (NVT) může být efektivní součástí sportovní přípravy,

tréninku koncentrace, terapie kognitivních poruch, včetně prevence pádů u seniorů, či pedagogicko-rehabilitačních postupů vhodných pro děti s poruchami učení, např. čtení a psaní.

### Neurovizuální systém (NVS)

Vizuální systém zajišťuje příjem až 70 % veškerých vnějších informací [10]. Některé publikace dokonce uvádí, že až 90 % zevních podnětů vnímáme díky zraku [11]. Vzhledem ke stěžejnosti zrakového aparátu z hlediska percepce může při jeho strukturální či funkční poruše dojít k významnému negativnímu dopadu na plánování a provedení motorické činnosti. Zrak sám o sobě by nebyl tak dokonalým systémem, kdyby nebyl úzce propojen s dalšími systémy, a to především s vestibulárním aparátem a propriocepcí. Zejména tyto tři smysly umožňují orientaci v prostoru, a přímo tak ovlivňují a kontinuálně korigují motoriku. Pokud je jedna z těchto modalit porušena nebo i jen utlumena, může to ovlivnit výsledný pohybový projev. Za fyziologické situace se jednotlivé modalit neustále navzájem ovlivňují a doplňují, ale za patologické situace se mohou do určité míry zastupovat [12].

Základem zpracování vizuální informace je percepce signálu fotonů viditelného spektra. Zrakový systém je složen z těchto základních částí:

- optický aparát oka – rohovka, čočka, sklivce a komorová voda. Můžeme sem řadit i ciliární svaly pro modulaci zakřivení čočky, okohybné svaly pro polohování oční bulvy a mm. sphincter et dilatator pupillae – svaly regulující dopad světla na sítnici;
- fotoreceptory a interneurony sítnice;
- optické dráhy, které zajišťují přenos informací do mozkové kůry;
- korové zrakové oblasti [11].

Všechny součásti zrakového systému vytváří mechanismy, kterými je sítnice schopna zpracovat vizuální informace. Následně hraje klíčovou roli správná interpretace vizuálních vjemů, tj.:

- identifikace pozorovaných objektů (percepce tvarů, kódování barevných informací);
- lokalizace předmětu v trojrozměrném prostoru;
- detekce pohybu v prostoru [11].

Je nutné uvědomit si, že oči jsou „pouhým receptorem“. Skutečný obraz se vytváří v mozku a velká část informací, které oko zachytí, mozek odfiltruje dříve, než se dostanou do vědomě vnímaného obrazu. To je důvod, proč bychom často měli volit termín spíše neurovizuální systém než pouze vizuální. Pro tvorbu obrazu a pochopení viděného, pro plánování pohybu, a tedy i pro práci fyzioterapeutů je neurofyziologická složka zraku od funkcí motorických i kognitivních neoddelitelná.

### Funkce okohybných svalů

Pohyb oční bulvy je zajištěn spoluprací šesti okohybných svalů, které zaměří zrak na objekt v takové poloze, aby výsledný obraz dopadal do místa žluté skvrny na sítnici. Obraz je tak i při pohybech těla a hlavy udržován na tomto místě, což umožňuje nejlepší zpracování optických vjemů. Svaly spolupracují vždy v páru a v protichůdném směru. Když jeden sval vychyluje bulbus laterálně, sval druhého oka na to reaguje ve směru mediálním. Oči spolupracují vzájemně a pohyby jsou vždy provázány. Svaly jsou aktivovány malými motorickými jednotkami a generují vysoký stupeň výkonosti. Jejich výslednou funkcí je přesné zaměření objektu a jeho následné sledování. Při sledování objektu v pohybu se tento děj uskutečňuje za součinnosti vestibulárního centra [13]. Z hlediska rehabilitace je důležitý fakt, že svaly okohybné jsou svaly příčně pruhované, tedy řízené vůlí a do určité míry ovlivnitelné tréninkem, resp. rehabilitací [14].

### Zpracování zrakové informace

Zraková informace je zpracována pomocí čtyřneuronové dráhy. První tři neurony zrakové dráhy se nalézají v ner-



**Obr. 1. Vyšetření zrakové ostrosti pomocí Snellenovy tabulky.**

Fig. 1. Visual acuity examination using the Snellen chart.

Testování zrakové ostrosti pomocí Snellenových tabulek se provádí jednak monokulárně, jednak binokulárně. Test začíná na řádcích s větší velikostí písmen, při správných odpovědích postupujeme k menším písmenům. Pro uznání řádku je třeba alespoň 3× správně poznat písmeno z 5 tázaných. Za fyziologickou hodnotu se považuje řádek o hodnotě 1,00. Při výsledku horším než 1,00 monokulárně i binokulárně je doporučena návštěva optika.



**Obr. 2. Vyšetření motility okoohybných svalů.**

Fig. 2. Examination of oculomotor muscle motility.

Test probíhá za optické fixace na určený pohybující se předmět (např. hrot propisky). Vyšetřující vede pohyb předmětem ve třech rovinách: horizontálně, vertikálně a diagonálně. Fixující předmět je schválně veden až do krajní pozice. Test hodnotíme v procentech, tedy 100% rozsah = norma. Při testu hodnotíme primárně rozsah pohybu, ale i plynulost očních pohybů a vzájemnou spolupráci obou očních bulbů.

vové části sítnice. První neurony dráhy jsou světločivné buňky (tyčinky a čípky), druhé neurony jsou označovány jako bipolární neurony a třetími neurony jsou gangliové buňky, jejichž axony tvoří n. opticus [15]. Tento párový nerv postupuje z bulbu dorzálně a větší část jeho nervových vláken se kříží v oblasti chiasma opticum. Vlákná přicházející z laterálních částí sítnic se nekříží, vlákná z mediálních částí sítnic se kříží a vlákná přicházející z fovea centralis jdou dále zkříženě i nezkríženě. Všechna vlákná z chiasma opticum pokračují v podobě párového tr. opticus do corpus geniculatum laterale (CGL) [16]. Čtvrtý neuron zrakové dráhy je tvořen buňkami CGL, z něhož vede tractus geniculocorticalis do primární zrakové kůry occipitálního laloku (area 17), kde je vytvářen výsledný obraz [13,14]. K primární zrakové kůře přiléhá kůra sekundární (area

18 a 19). Její funkce spočívá v podrobnější analýze vjemů a tvoření dalších souvislostí. Tato oblast je taktéž označována jako asociační oblast okcipitálního laloku. Umožňuje srovnávání právě viděného se zrakovou pamětí. Při její poruše pacient předmět vidí, ale není schopen ho popsat [16]. Od zrakové kůry vedou zpětné dráhy do CGL, které regulují aferentní tok informací, a tím ovlivňují rozlišovací funkci oka [16]. Část neuronů z CGL vede do frontálního okoohybného pole (area 8), odkud jsou řízeny funkce jako vyhledávací pohyby očí nebo volní pohyby očí [17]. Další neurony vedou z CGL přes ncl. interstitialis spolu s vláknem pro m. sphincter pupillae do m. ciliaris, který zajišťuje akomodaci čočky, a ovlivňuje tak dopad paprsků světla na sítnici. Stejnou spojkou je vedena i dráha pro konvergenci očí končící na jádrech příslušných hlavových

nervů. Z tohoto důvodu probíhá akomodace a vergence vždy najednou [18]. Jednou z dalších funkcí oka jsou sakkadické pohyby, které jsou řízeny okoohybnými hlavovými nervy, které získávají informace prostřednictvím gangliových buněk sítnice i z kortikální zrakové kůry pomocí kortikotektálních spojů [18]. Dalším důležitým spojem je zrakový tektální okruh, který ovlivňuje zejména svaly krku, a tak řídí pohyby hlavy směrem ke zrakovému podnětu. Většina dalších pohybů je řízena kortikálně [16]. Koordinace obou očí, která zprostředkovává jejich sehraný pohyb, je řízena pontinní retikulární formací [19]. Plná integrita komplikované zrakové dráhy obstarává přesný obraz zachycený okem. Subjektivně dokážeme vnímat odstíny světla, barvy či tvary, polohy a pohyby různých objektů a dokážeme je správně interpretovat [17].



**Obr. 3. Vyšetření blízkého bodu konvergence.**

Fig. 3. Examination of the near point of convergence.

Při tomto testu hodnotíme funkci okohybných svalů při přechodu z dálky do blízka. Vyšetřovaný fixuje očima předmět (např. hrot propisky), následně předmět přibližuje ke kořenu svého nosu za neustálé fixace a především neustálé schopnosti vidět fixující bod ostře. Vzdálenost, ve které dojde k rozostření bodu, změříme od koutku oka. Fyziologická hodnota pohybu k nosu a bodu, ve kterém dojde k rozostření, je 3 až 8 cm. Hodnoty nad 10 cm hodnotíme jako nedostatečnou konvergenci.



**Obr. 4. Vyšetření na přístroji Neurotracker.**

Fig. 4. Neurotracker examination.

Vyšetření na přístroji Neurotracker probíhá ve 3D režimu. Test má 10 částí a trvá přibližně 6 minut. Na začátku každé části se vyšetřovanému prosvítí 4 žluté míčky, které má v testu sledovat. Následně se všech 8 míček zbarví do stejné žluté barvy. Cílem je udržet fixaci určených 4 míček po dobu 8 sekund a na konci části správně určit, které to byly. Software vyhodnocuje správné odpovědi a podle toho nastavuje rychlost pohybu míček ve 3D prostoru. Na závěr podle úspěšnosti určí výsledné skóre, které je v terapii zaznamenáno a v budoucnu může být porovnáno s dalšími měřeními.

### Funkční diagnostika neurovizuálního systému

Včasné odhalení patologií neurovizuálního systému je pro správnou terapii klíčovou složkou. Některé jednoduché poruchy, které jsou dále v rámci článku popsány, může diagnostikovat i samotný fyzioterapeut, a to bez použití sofistikovaných, finančně nákladných pomůcek. V praxi je nutná nejen adekvátní korekce očních vad (nejčastěji myopie, hypermetropie nebo astigmatismus), ale i testování vizuálně-kognitivní modalit, resp. diagnostika celého neurovizuálního systému, tedy spolupráce mozku a očí [12].

V rámci toho článku představíme tři jednoduché testy NVS, které mohou odhalit případnou patologii. Nejjednodušší formou prvotní diagnostiky je využití

Snellenovy tabule, všem dobře známé z ordinací praktických lékařů. Vyšetření pomůže odhalit klinicky nejvýznamnější zrakovou vadu, což je nedostatečná statická zraková ostrost, která může být následně korigována pomocí kontaktních čoček nebo dioptrických brýlí (obr. 1). Dalším jednoduchým testem, který je v rámci rehabilitace velmi dobře využitelný, je test motility očí. Tento test podává základní informace o funkci okohybných svalů, o jejich párové spolupráci a především o rozsahu pohybu jednotlivých svalů (ROM – range of motion). Okohybné svaly, stejně tak jako každá příčně pruhovaná svalovina, podléhají procesům svalového zkrácení z přetížení a právě tento test je schopen určit, zda okohybné svaly fungují správně (obr. 2). Test probíhá za optické fixace na určený

pohybující se předmět (např. hrot propisky). Vyšetřující vede pohyb předmětem ve třech rovinách: horizontálně, vertikálně a diagonálně. Fixující předmět je schválně veden až do krajní pozice. Při testu hodnotíme rozsah pohybu, plynulost očních pohybů a vzájemnou spolupráci obou očních bulbů. Posledním vyšetřením je test blízkého bodu konvergence. Vergence je pohyb obou očí, při kterém směřují buď mediálně (konvergence) nebo laterálně (divergence), aby bylo dosaženo správného zaměření obrazu na sítnici a binokulárního vidění. Tento proces je zásadní pro zachování ostrého vnímání objektů v různých vzdálenostech [12,14]. Výsledek testování bodu konvergence poskytne informaci o tom, jak jsou oči schopny spolupracovat při optické fixaci na dálku a do



**Obr. 5. Vyšetření na přístroji Senaptec.**

Fig. 5. Senaptec examination.

Přístroj Senaptec Sensory Station slouží pro vyšetření zraku v dynamice. Přístroj testuje tyto zrakové dynamické parametry: vizuální ostrost, kontrastní sensitivitu, hloubkové vidění, rychlost přestřehnutí z dálky na blízko, vnímání více objektů, percepční rozpětí a reakční čas. Každý tento parametr má svůj specifický úkol, který musí testovaný plnit. Výsledné hodnoty jsou porovnány s on-line databází všech ostatních měření. Výsledek je vyjádřen v percentilové hodnotě od 0 do 100.

blízka a také při optické fixaci pohybujícího se předmětu (obr. 3). Všechny výše zmíněné testy slouží k prvotní jednoduché diagnostice vizuální části systému.

Pro diagnostiku celého neurovizuálního systému je nutné dále využít specializovaných pomůcek, které musí obsluhovat vyškolený pracovník. Jedním z hojně využívaných nástrojů zaměřených na testování kognitivních schopností je software Neurotracker. Neurotracker není primárně určen k diagnostice zrakové percepce, nýbrž k diagnostice a tréninku kognitivně-vizuálních schopností. Měření probíhá sledováním pohybujících se a dynamicky se měnících předmětů ve 3D prostoru (obr. 4). Dalším využívaným nástrojem je přístroj Senaptec, který slouží k testování dynamických funkcí vizuálního systému a měří parametry, jako je např. dynamická zraková ostrost, hloubkové vidění, kontrastní cit-

livost, reakční čas, percepční rozpětí, vnímání více objektů a rychlost akomodace (obr. 5) [1]. Relativně novým přístrojem pro velmi přesné testování funkcí okohybných svalů je přístroj RightEye. RightEye pracuje na principu funkce eye tracking a umožňuje sledovat jemné pohyby jednotlivých bulbů při různých kognitivních úlohách (obr. 6) [1].

### Neurovizuální trénink

Neurovizuální trénink (NVT), případně můžeme použít i výraz terapie, se kládá na ovlivnění osy oči-mozek-tělo. Oči musí vnější informaci co nejkvalitněji přijmout, mozek pak tuto informaci zpracuje a tělo vykoná motorický výstup.

V rámci terapie měkkých technik můžeme ovlivnit první část osy, a to oči. Plynulost, ekonomičnost a celková efektivita pohybu je do značné míry podmíněna také adekvátním napětím



**Obr. 6. Vyšetření na přístroji RightEye.**

Fig. 6. RightEye examination.

Přístroj RightEye umožňuje hodnotit problémy s oční motorikou pomocí tzv. eye tracking. Eye tracker vysílá neviditelný infračervený světelný paprsek směrem k očím uživatele. Speciální kamery jsou schopny detekovat odražené infračervené světlo od rohovky oka. Analýzováním změn ve světelném odražení může systém určit polohu a pohyby očí.

měkkých tkání našeho těla [20,21]. Lidské oko se pohybuje pomocí okohybných svalů. Jejich vzájemná spolupráce je pro adekvátní funkci naprosto stěžejní [16]. Do měkkých tkání nepatří pouze svaly, ale samozřejmě také kůže, podkoží a v neposlední řadě – v rámci rehabilitace velmi dobře popsány – fasciální systém [20]. Vzájemná skluznost a terapeutické ovlivnění této funkce (nejen v oblasti hlavy, ale i v oblasti trupové stabilizace) je pro pohyby očí, a tedy i schopnost kvalitního příjmu informací stěžejní.

Neurofyziologickou část osy, tedy mozek a jeho vizuo-kognitivní složku jsme schopni ovlivnit speciálními pomůckami, jako je Neurotracker, Senaptec, či RightEye (viz odstavec funkční diagnostika NVS a kazuistiky). Musíme brát v potaz, že jednotlivé složky osy oči-mozek-tělo nelze terapeu-

ticky ovlivnit odděleně, ale vše se děje za vzájemné spolupráce a s kontinuální korekcí. Jak již bylo popsáno v úvodu článku, vždy se jedná o multisenzorickou integraci, pomocí které dosáhneme ideálního motorického výstupu.

V závislosti na individuálních poruchách a potřebách klienta indikujeme různé další postupy. Např. cvičení pro zlepšení vizuální akomodace trénuje schopnost očí zaostřovat na objekty v různých vzdálenostech. Trénujeme přechody pohledu mezi blízkými a vzdálenými objekty nebo pro trénink akomodace používáme speciální pomůcky (např. akomodační Hartovy tabulky, flippery aj.). Koordinaci souhry očních pohybů můžeme zlepšit i sledováním pohybujícího se předmětu očima, nebo naopak fixováním předmětu při pohybu hlavy či těla. Percepční trénink zlepšuje zpracování vizuálních informací mozkiem. Může zahrnovat úkoly na rozvoj vizuální paměti, rozpoznávání vzorů, prostorové orientace a vizuální analýzy. Svě místo v terapii může mít i vestibulární trénink zaměřený na integraci vizuálních, motorických a rovnovážných funkcí. Moderní neurovizuální terapie často zahrnuje použití speciálních technologií, jako jsou virtuální realita nebo počítačem řízené vizuální stimuly, které pomáhají pacientům v tréninku specifických vizuálních a motorických dovedností. Pomůcek a přístupů v rámci neurovizuálního tréninku je opravdu mnoho. Často mají trochu jiné využití, byť jsou si zdánlivě podobné (trénují jinou část neurovizuálního systému).

### Využití neurovizuální terapie (NVT)

Oblast aplikace prvků NVT je velmi široká. Recentní literatura uvádí zejména využití neurovizuálního tréninku u sportovců s cílem zlepšení sportovního výkonu. K tomuto využití lze nalézt největší množství literárních zdrojů [1,12,20,21]. Důvodem však nemusí být to, že účinek terapie/tréninku je zde nejspíše nejvýznamnější. Spíše jsou příčinou vysoké finanční

prostředky, kterými některé sportovní organizace disponují a mohou je vynaložit na výzkum a aplikaci s cílem zlepšení výkonu. Neurovizuální formu terapie lze ale využít např. i u dětské populace, u neurologických diagnóz a v rámci funkčních poruch pohybového aparátu, zejména oblasti krční páteře a hlavy.

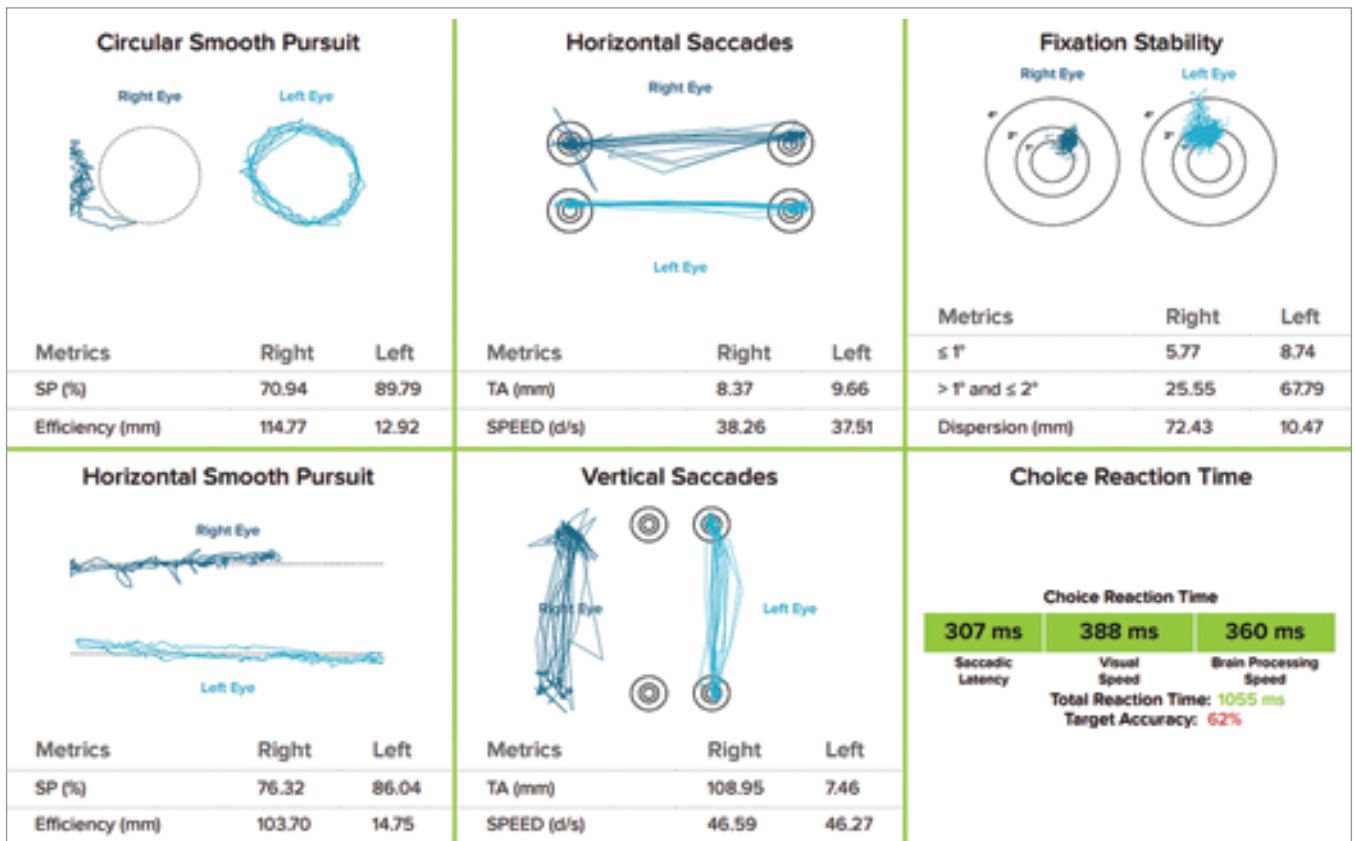
NVT může ovlivnit a zlepšit funkční parametry zrakového systému, jako je např. hloubkové vidění, dynamická zraková ostrost, periferní vidění, vnímání více objektů, koordinace oko–ruka, vergence očí a mnoho dalších [1,12,22]. Snaha o zlepšení všech těchto parametrů se využívá při komplexní přípravě sportovců. Např. byl prokázán pozitivní efekt NVT na nižší incidenci otřesů mozku u fotbalistů, u kterých byl v rámci předsezónní přípravy aplikován NVT [23]. Autoři studie efekt vysvětlují kvalitnějším zpracováním informací o okolním prostoru, což může předcházet kolizím se soupeřem. Jedná se však zatím o ojedinělé studie, na jejichž základě nelze vyvozovat definitivní závěry [23]. Využití NVT u sportovců demonstrují dvě níže uvedené kazuistiky.

Významnou indikační skupinou NVT v rámci klinické medicíny jsou neurologičtí pacienti. Popsáno bylo zlepšení zraku a zmírnění bolestí hlavy [24], zlepšení poruchy vergence a akomodace čočky a zmírnění únavy u pacientů po mírném traumatickém poranění mozku (mTBI) [25]. Na tyto konkrétní poruchy existuje specifická forma vizuálního tréninku [24–26]. Na pozitivní efekt NVT u poruch vergence poukazují i další studie [27,28]. NVT může být efektivní i u chronických symptomů přetrvávajících dlouhodobě po otřesu mozku, jako je porucha akomodace a vergence, inkoordinace okohybných svalů a chronické bolesti hlavy [29].

Systematický přehled, který pojednává o efektu NVT aplikované pomocí počítačových softwarů u pacientů po traumatu mozku nebo cévní mozkové příhodě, svědčí pro signifikantní zlepšení pracovní paměti. Postupy NVT byly

použity též s cílem rozšíření zorného pole u pacientů s hemianopsií, efekt však zatím nebyl jednoznačně prokázán, nejspíše proto, že se často jedná o ireverzibilní změnu [30]. U takových pacientů, kteří se již nacházejí na hranici možností restorativní rehabilitace, může být vhodné spíše využití postupů kompenzačních nebo substitučních, kdy terapie nezměňuje oblast skotomu, ale tréninkem cílených očních pohybů rozšiřuje aktivně využívané zrakové pole [31]. Svě místo mohou mít prvky NVT i v prevenci pádů a zlepšení agility u seniorů [32].

NVT může být také využita u řady dětských diagnóz či problémů. V případě jakéhokoliv narušení procesu senzomotorické integrace dojde ke znevýhodnění daných jedinců jak v rámci pohybu, tak v rovině psychosociální. Nedokonalá schopnost osvojení si pohybových dovedností je společností přijímána negativně. Neurovizuálně hendikepované děti s poruchou senzomotorické integrace mohou být označovány za nešikovné, neposedné a zlobivé [4–6]. V přímé vazbě na motorický systém mluvíme o tzv. vývojové dyspraxii, kterou ale zatím nelze zcela efektivně léčit. Děti si problémy, které negativně ovlivňují i výkon běžných každodenních činností, nikoliv jen nemožnost stát se pohybově nadaným či vrcholovým sportovcem, „nesou“ dále do dospělého života [4,33]. Zatím není zcela jasné, zda systematický NVT v dětském věku může příznaky vývojové dyspraxie efektivně ovlivnit, nebo dokonce vyléčit. Dalšími indikacemi neurovizuálního tréninku u dětí jsou některé formy dyslexie, dysgrafie a celkově poruchy učení, které jim mohou bránit v rozvoji jak v akademickém, tak především v osobním životě. Děti se specifickými poruchami učení mají vysokou frekvenci poruch binokulárního vidění (BV) a terapie zraku zlepšuje parametry BV [34]. V moderní době děti tráví stále více času čtením a sledováním digitálních obrazovek. Zvýšený počet úkolů na blízkou vzdálenost zvyšuje zátěž na přesnou koordinaci zrakového systému a stabilizačního systému hlavy. Do-



Obr. 7. Úvodní vyšetření na přístroji RightEye.  
Fig. 7. Initial examination on the RightEye device.

konce i malé problémy se zrakem mohou vyvolat bolesti hlavy, krku a ramen. Výsledky studie u dětí ve věku 10–15 let, které si stěžovaly na bolesti hlavy, potvrdily, že dvakrát více dětí ve skupině s bolestmi hlavy mělo nekorigované vidění a potřebovalo brýle oproti kontrolní skupině bez bolestí hlavy [35].

Každý autor zabývající se problematikou kvality NVS apeluje na pravidelné vyšetření zraku. Mnoho studií zdůrazňuje důležitost pravidelných očních prohlídek u školních dětí a potřebu zvýšit informovanost dětí, rodičů, školního a zdravotnického personálu o důležitosti optimálního zraku a vizuálního prostředí pro školní výkon a zdraví celkově. Včasné vyšetření a na míru zhotovená korekce zraku pomocí kontaktních čoček nebo brýlí společně s cíleným tréninkem může být efektivní v terapii řady diagnóz jak u dětských pacientů, tak i v dospělé populaci [32,34].

### Kazuistiky

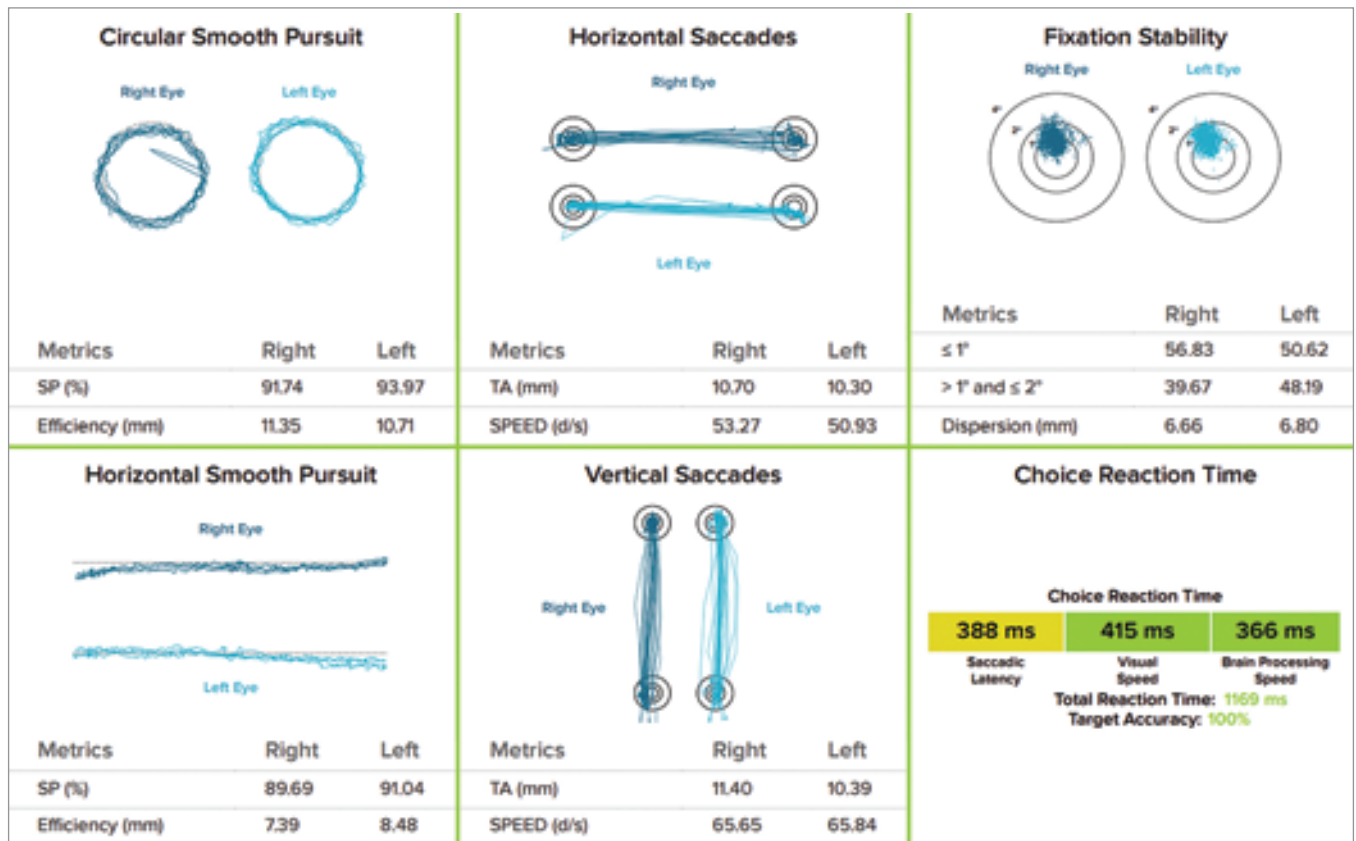
#### Kazuistika č. 1

Čtrnáctiletý chlapec přišel na optometrické vyšetření pro dlouholeté problémy dvojitého vidění (diplopie) při pohledu do blízka. Oftalmologem byl diagnostikován jako dyslektik, ve škole trpěl poruchou pozornosti. Chlapec užíval zrakovou korekci pro krátkozrakost, což vyřešilo jeho problémy s viděním do dálky. Při statickém vyšetření okohybných svalů bylo zjištěno, že divergentní i konvergentní schopnosti byly dobré. Diplopie se tedy v rámci statického měření neprojevila.

Až dynamické oční vyšetření na přístroji RightEye odhalilo přítomnost diplopie při rychlých pohybech očí, zejména v horizontálním směru (obr. 7). Pacient proto podstoupil terapeutický trénink binokulárního vidění a schopnosti očí fixovat jeden bod při současných pohybech hlavy na přístroji

RightEye, tedy trénink na zlepšení vestibulo-okulárního reflexu. V rámci tréninku dostal pacient přístup k účtu na webových stránkách RightEye, kde mu byl vytvořen plán terapie. Terapii tak může provádět v domácím prostředí na svém elektronickém zařízení (počítač, tablet). Pacient byl instruován, aby prováděl tuto cvičební terapii denně po dobu 3 minut, celkem 4 měsíce. Během této doby byla postupně zvyšována obtížnost cvičení s cílem zlepšit koordinaci obou očí.

Po 4 měsících pravidelného tréninku na zařízení RightEye pacient subjektivně zaznamenal lepší pocit ze čtení, menší únavu a lepší soustředění ve škole, což vedlo ke zlepšení školních výsledků. Dvojité vidění do blízka zaznamenané na přístroji RightEye bylo výrazně redukováno, což korelovalo se subjektivním zlepšením kvality života, které pacient a jeho rodiče udávali. Na obr. 7 mů-



**Obr. 8. Závěrečné vyšetření na přístroji RightEye.**

Fig. 8. Final examination on the RightEye device.

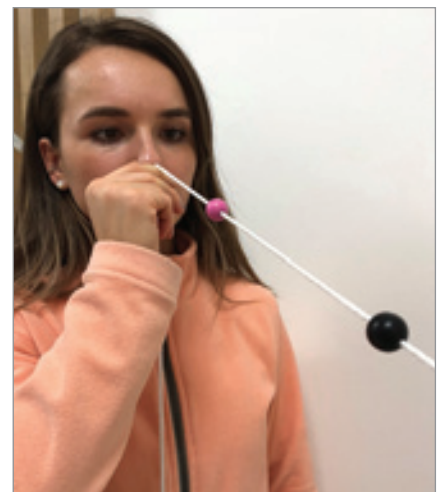
Legenda k obr. 7 a 8. Modré čáry ukazují reálné pohyby oka v čase a prostoru. Světle modrá – pohyby levého oka, tmavě modrá – pohyby pravého oka. V rámci všech měření u circular smooth pursuit, horizontal smooth pursuit, horizontal saccades, vertical saccades a choice reaction time můžeme vidět při úvodním měření (obr. 7) horší motilitu a plynulost pohybu pravého oka. Po terapii (obr. 8) jsou tyto funkce zlepšeny a srovnatelné s okem levým.



◀ **Obr. 9. Ukázka tréninku akomodace čočky pomocí Brockovy šňůry.**

Fig. 9. Demonstration of lens accommodation training using Brock string.

Cílem je optická fixace na korálky, které jsou rozmístěné v různé vzdálenosti na provázku, aby mohlo být docíleno efektu akomodace čočky při přechodu fixace z blízka na dálku a z dálky na blízko.



▶ **Obr. 10. Ukázka tréninku akomodace čočky pomocí Brockovy šňůry.**

Fig. 10. Demonstration of lens accommodation training using Brock string.

žeme vidět první dynamické vyšetření očí. Z výsledků můžeme vyčíst chybnou plynulost pohybů pravého oka při horizontálním pohybu – tedy v reálné čin-

nosti při čtení řádků v učebnici nebo knize. Obr. 8 demonstruje zlepšení plynulosti pohybu očí v horizontálním i vertikálním směru, lepší funkce stability

a fixace očí a celkové zlepšení rychlosti reakcí.

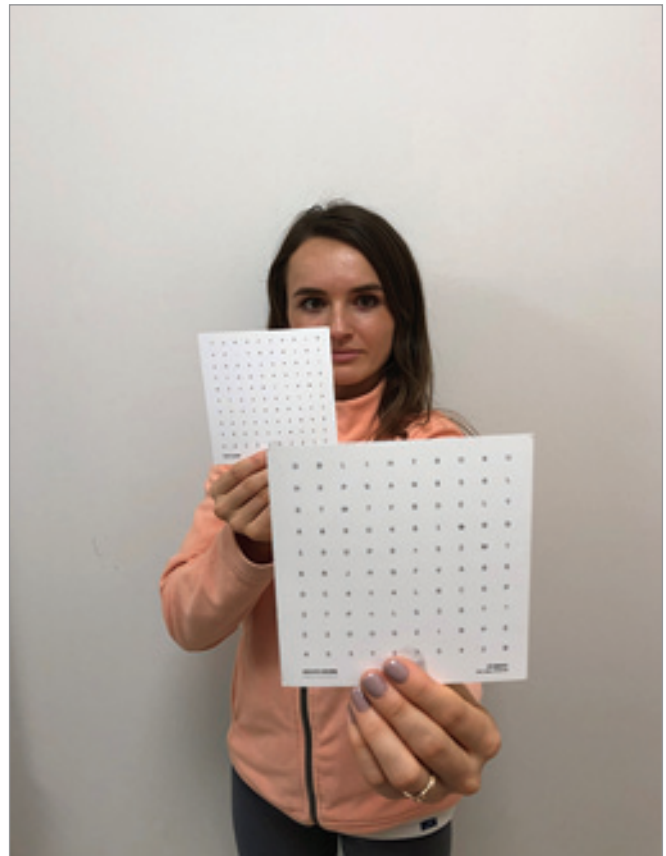
Tato kazuistika ukazuje na úspěšné využití tréninku na zařízení RightEye





**Obr. 11. Ukázka tréninku akomodace čočky pomocí Hartových tabulek.**

Fig. 11. Demonstration of lens accommodation training using Hart charts.



**Obr. 12. Ukázka tréninku akomodace čočky pomocí Hartových tabulek.**

Fig. 12. Demonstration of lens accommodation training using Hart charts.

**Legenda Hartovy tabulky (obr. 11 a 12).** Pro trénink akomodace pomocí Hartových tabulek potřebujeme 2 tabulky s čísly, slovy, písmeny, nebo pro dětské pacienty lze použít i obrázky. První tabulku umístíme do blízké vzdálenosti od našich očí, druhou tabulku pak do vzdálenosti, kterou nám dovolí natažená horní končetina. Vzdálenosti lze měnit v závislosti na obtížnosti úkolu. Snažíme se o kvalitní přeostrění pohledu na blízko a dálku.

v léčbě adolescenta s vrozeným dvojitým viděním do blízka, které si až do vyšetření na přístroji RightEye neuvědomoval. Porucha nebyla dříve diagnostikována, ani zvažována jinými odborníky, které pacient navštívil. Terapie složená z cvičení pomocí softwaru pro domácí užití RightEye měla vliv na zlepšení binokulárního vidění a pozitivní vliv na čtení, koncentraci a únavu.

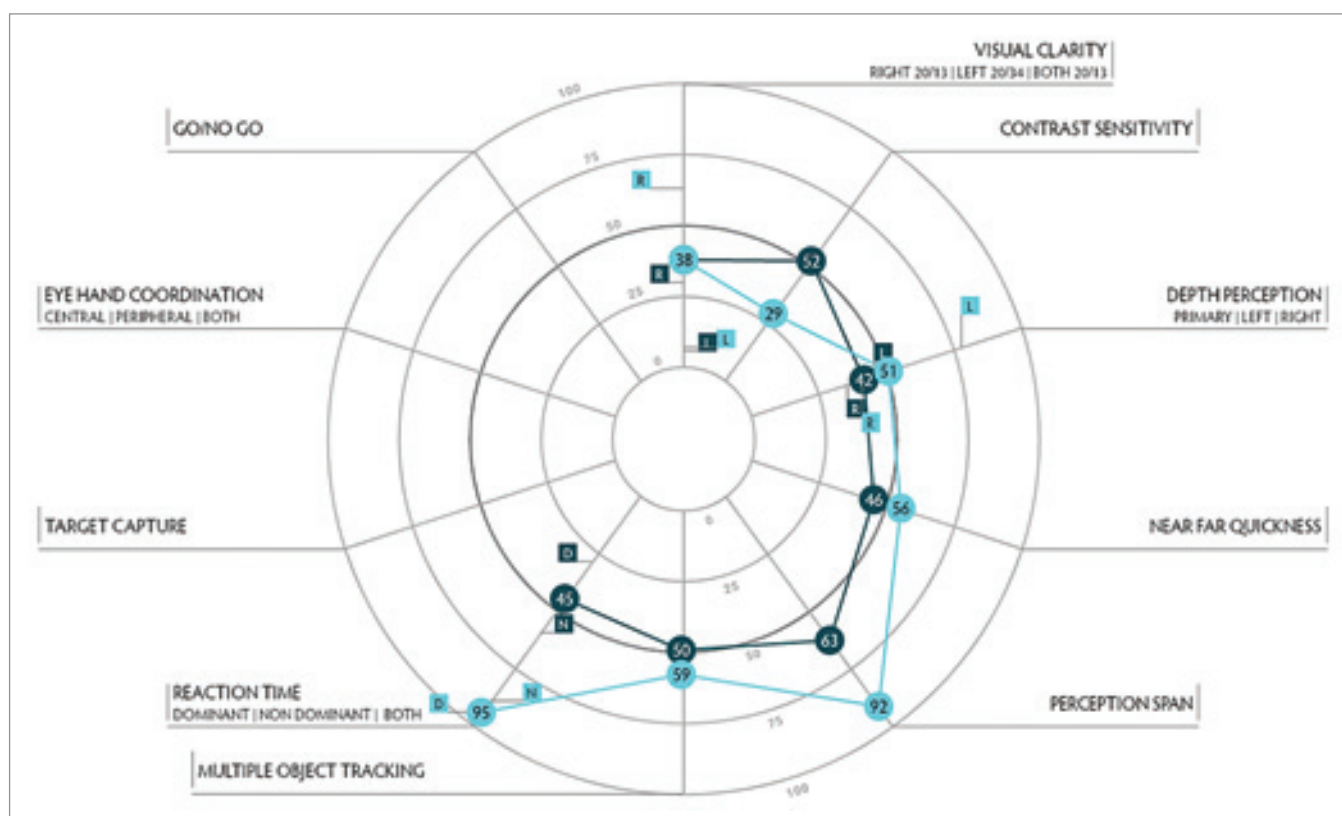
### Kazuistika č. 2

Čtrnáctiletá tenistka přišla na optometrické vyšetření pro bolesti hlavy, astenopické potíže, tj. souhrn příznaků spojených s nadměrným namáháním očí, jako je únava očí, rozostřené vidění, bolesti

hlavy, zvýšená citlivost na světlo či dvojitě vidění. Pacientka subjektivně vnímala zhoršené vidění na levé oko. Diagnostikována byla tupozrakost levého oka. Byla doporučena korekce pomocí brýlí, ačkoli je známo, že u tupozrakého oka je účinek omezený.

U této pacientky hrálo klíčovou roli vyšetření dynamických schopností pomocí zařízení Senaptec. Analýza odhalila dobré schopnosti stereopse (hloubkového vidění), což naznačovalo, že levé oko nemůže být tupozraké. V rámci dalšího vyšetření byla ale identifikována porucha akomodace a tzv. akomodační flexibility. Pacientka podstoupila NVT. Pro trénink akomodační flexibi-

lity byly využity pomůcky jako Brockova šňůra (obr. 9, 10) nebo Hartovy tabulky (obr. 11, 12). Pacientka trénovala denně v rámci jednotek minut po dobu 5 týdnů. V rámci cviků se podařilo uvolnit akomodační spazmus svalů, a tím se zlepšila i akomodace. Progres akomodace vidíme na obr. 13 v rámci hodnoty near far quickness (rychlost přeostrění). Dále vidíme na obr. 13 zlepšení parametrů měřených funkcí jako depth perception (hloubkové vidění), perception span (percepční rozpětí), multiple object tracking (vnímání více objektů) a reaction time (reakční čas). Pouze u contrast sensitivity (kontrastní citlivost) byl naměřen horší výsledek.



Obr. 13. Vyšetření na přístroji Senaptec.

Fig. 13. Senaptec examination.

Tmavě modré jsou znázorněny hodnoty před terapií, světle modré jsou hodnoty po 5 týdnech tréninku. Výsledky jsou uváděny v percentilech. Vyšší hodnoty, které se nachází dále od středu kruhu a blíží se hodnotě 100, považujeme za ukazatel kvalitní funkce měřeného parametru. Naopak nižší hodnoty, které se blíží středu, poukazují na možnou dysfunkci.

Pacientka po této formě terapie dosáhla i výkonnostního zlepšení v rámci praktikovaného sportu. Vyhrála krajský přebor a kvalifikovala se na mistrovství republiky. Samozřejmě nelze tvrdit, že sportovní zlepšení je v přímé souvislosti s NVT. Takový efekt by bylo nutné prokázat randomizovanou studií na dostatečném počtu jedinců.

## Závěr

Neurovizuální systém je relativně nový pojem v oboru rehabilitace. Funkční diagnostika a terapie NVS se ale začíná stále více prosazovat jak ve vědeckých studiích, tak v klinické praxi při terapii širokého spektra pacientů s různými typy diagnóz i v tréninku sportovců. Nelze očekávat, že NVT pacienta zbaví brýlí nebo bude redukovat nutné dioptrie. Lidské oko je ale receptor, který přijímá

informace a posílá je ke zpracování do mozku, a ovlivňuje tak funkce eferentní, tj. motorické, ale i kognitivní. Kvalita funkce toho receptoru je úzce propojená s funkcí oko-hybných svalů, které lze jako jiné příčně pruhované svaly rehabilitací ovlivňovat a trénovat. Taktéž zpracování vizuálních informací v mozku a vytvoření adekvátní motorické odpovědi těla na aferentní vizuální vstupy lze do jisté míry funkční terapií ovlivnit, a pravděpodobně tak zlepšit výsledky komplexní terapie u pacientů s neurologickými diagnózami, pozitivně ovlivnit sportovní výkon či působit preventivně proti sportovnímu zranění. Takové výsledky neurovizuálního tréninku ale teprve musí být ověřeny robustními klinickými studiemi. Obecně lze říct, že cílem NVT je zlepšení spolupráce oči–mozek–tělo.

## Literatura

1. Erickson GB. Sports vision: vision care for the enhancement of sports performance. Oxford: Butterworth-Heinemann 2007.
2. Ayres AJ. Sensory integration and learning disorders. 8. vyd. Los Angeles: Western Psychological Services 1983.
3. Dylevský I. Obecná kineziologie. Praha: Grada Publishing 2007.
4. Kirby A. Nešikovné dítě: dyspraxie a další poruchy motoriky: diagnostika, pomoc, podpora, cesta k nezávislosti. 1. vyd. Praha: Portál 2000.
5. Polatajko HJ, Cantin N. Developmental coordination disorder (dyspraxia): an overview of the state of the art. Semin Pediatr Neurol 2005; 12(4): 250–258. doi: 10.1016/j.spen.2005.12.007.
6. Gibbs J, Appleton J, Appleton R. Dyspraxia or developmental coordination disorder? Unravelling the enigma. Arch Dis Child 2007; 92(6): 534–539. doi: 10.1136/adc.2005.088054.
7. Körding KP, Wolpert DM. Bayesian integration in sensorimotor learning. Nature 2004; 427(6971): 244–247. doi: 10.1038/nature02169.
8. Vargas S, Camilli G. A meta-analysis of research on sensory integration treatment. Am

- J Occup Ther 1999; 53(2): 189–198. doi: 10.5014/ajot.53.2.189.
9. Leong HM, Carter M, Stephenson JR. Meta-analysis of research on sensory integration therapy for individuals with developmental and learning disabilities. *J Dev Phys Disabil* 2015; 27(2): 183–206. doi: 10.1007/s10882-014-9408-y.
10. Kittnar O. Lékařská fyziologie: 2. přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing 2020.
11. Mysliveček J. Základy neurověd. Praha: Triton 2022.
12. Knap R, Říha M, Beránek R et al. Diagnostika a trénink vizuálního a kognitivního systému: metodický materiál. Praha: Victoria Vysokoškolské sportovní centrum MŠMT 2023.
13. Kittnar O (eds). Lékařská fyziologie. Praha: Grada Publishing 2011.
14. Watabe T, Suzuki H, Abe M et al. Systematic review of visual rehabilitation interventions for oculomotor deficits in patients with brain injury. *Brain Inj* 2019; 33(13–14): 1592–1596. doi: 10.1080/02699052.2019.1658225.
15. Klika E, Vacek Z. Histologie: učebnice pro lékařskou fakultu. Praha: Avicenum 1974.
16. Radomír Č. Anatomie 3: třetí, upravené a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing 2016.
17. Synek S, Skorkovská Š. Fyziologie oka a vidění: 2., doplněné a přepracované vydání. Praha: Grada Publishing 2014.
18. Ganong WF. Přehled lékařské fyziologie. Praha: Avicenum 1976.
19. Hahn A. Otoneurologie a tinitologie: 2., doplněné vydání. Praha: Grada Publishing 2015.
20. Stecco C (eds). Functional atlas of the human fascial system. Edinburgh, London, New York: Churchill Livingstone Elsevier 2015.
21. Lewit K. Manipulační léčba v myoskeletální medicíně, 5. přepracované vydání. Praha: Sdělovací technika 2003.
22. Laby DM, Kirschen DG, Govindarajulu U et al. The effect of visual function on the batting performance of professional baseball players. *Sci Rep* 2019; 9(1): 16847. doi: 10.1038/s41598-019-52546-2.
23. Emery CA, Black AM, Kolstad A et al. What strategies can be used to effectively reduce the risk of concussion in sport? A systematic review. *Br J Sports Med* 2017; 51(12): 978–984. doi: 10.1136/bjsports-2016-097452.
24. Simpson-Jones ME, Hunt AW. Vision rehabilitation interventions following mild traumatic brain injury: a scoping review. *Disabil Rehabil* 2019; 41(18): 2206–2222. doi: 10.1080/09638288.2018.1460407.
25. Barton JJ, Ranalli PJ. Vision therapy: ocular motor training in mild traumatic brain injury. *Ann Neurol* 2020; 88(3): 453–461. doi: 10.1002/ana.25820.
26. Sterner B, Abrahamsson M, Sjöström A. Accommodative facility training with a long-term follow-up in a sample of school aged children showing accommodative dysfunction. *Doc Ophthalmol* 1999; 99(1): 93–101. doi: 10.1023/a:1002623107251.
27. Scheiman M, Cotter S, Kult MT et al. Treatment of accommodative dysfunction in children: results from a randomized clinical trial. *Optom Vis Sci* 2011; 88(11): 1343–1352. doi: 10.1097/OPX.0b013e31822f4d7c.
28. Sterner B, Abrahamsson M, Sjöström A. The effects of accommodative facility training on a group of children with impaired relative accommodation – a comparison between dioptric treatment and sham treatment. *Ophthalmic Physiol Opt* 2001; 21(6): 470–476. doi: 10.1046/j.1475-1313.2001.00615.x.
29. Gallaway M, Scheiman M, Mitchell GL. Vision therapy for post-concussion vision disorders. *Optom Vis Sci* 2017; 94(1): 68–73. doi: 10.1097/OPX.0000000000000935.
30. Cicerone KD, Goldin Y, Ganci K et al. Evidence-based cognitive rehabilitation: systematic review of the literature from 2009 through 2014. *Arch Phys Med Rehabil* 2019; 100(8): 1515–1533. doi: 10.1016/j.apmr.2019.02.011.
31. Raz N, Levin N. Neuro-visual rehabilitation. *J Neurol* 2017; 264(6): 1051–1058. doi: 10.1007/s00415-016-8291-0.
32. Reed-Jones RJ, Dorgo S, Hitchings MK et al. Vision and agility training in community dwelling older adults: incorporating visual training into programs for fall prevention. *Gait Posture* 2012; 35(4): 585–589. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.11.029.
33. Miyahara M, Register C. Perceptions of three terms to describe physical awkwardness in children. *Res Dev Disabil* 2000; 21(5): 367–376. doi: 10.1016/S0891-4222(00)00049-4.
34. Hussaindeen JR, Shah P, Ramani KK et al. Efficacy of vision therapy in children with learning disability and associated binocular vision anomalies. *J Optom* 2018; 11(1): 40–48. doi: 10.1016/j.optom.2017.02.002.
35. Thorud HS, Aurjord R, Falkenberg HK. Headache and musculoskeletal pain in school children are associated with uncorrected vision problems and need for glasses: a case-control study. *Sci Rep* 2021; 11(1): 2093. doi: 10.1038/s41598-021-81497-w.

Doručeno/Submitted: 21. 2. 2024

Přijato/Accepted: 24. 10. 2024

**Korespondenční autor:**

**Mgr. Jáchym Kolář**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

2. LF UK a FN Motol

V Úvalu 84

150 06 Praha 5

e-mail: jachym.kolar@seznam.cz

**Konflikt zájmů:** Autoři deklarují, že text článku odpovídá etickým standardům, byla dodržena anonymita pacientů a prohlašují, že v souvislosti s předmětem článku nemají finanční, poradenské ani jiné komerční zájmy.

**Publikační etika:** Příspěvek nebyl dosud publikován ani není v současnosti zaslán do jiného časopisu pro posouzení. Autoři souhlasí s uveřejněním svého jména a e-mailového kontaktu v publikovaném textu.

**Dedikace:** Článek není podpořen grantem ani nevznikl za podpory žádné společnosti.

Redakční rada potvrzuje, že rukopis práce splnil ICMJE kritéria pro publikace zasílané do biomedicínských časopisů.

**Conflict of Interest:** The authors declare that the article/manuscript complies with ethical standards, patient anonymity has been respected, and they state that they have no financial, advisory or other commercial interests in relation to the subject matter.

**Publication Ethics:** This article/manuscript has not been published or is currently being submitted for another review. The authors agree to publish their names and e-mails in the published article/manuscript.

**Dedication:** The article/manuscript is not supported by a grant nor has it been created with the support of any company.

The Editorial Board declares that the manuscript met the ICMJE “uniform requirements” for biomedical papers.