



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

**Corso di Laurea Triennale in
Scienze Psicologiche Cognitive e Psicobiologiche**

Elaborato finale

**Emianopsia, recupero visivo e possibili fattori prognostici:
confronto tra due casi clinici**

*Hemianopia, visual restoration and possible prognostic factors:
comparison between two clinical cases*

Relatore

Prof. Battaglini Luca

Correlatore

Dott. Altieri Eric

Laureanda: Milani Camilla

Matricola: 2120385

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

ABSTRACT	1
CAPITOLO 1: INTRODUZIONE	3
1.1 Visione e percezione.....	3
1.2 Anatomia del sistema visivo	4
1.2.1 L'occhio	5
1.2.2 Il nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo	8
1.2.3 La corteccia visiva primaria (V1)	9
1.2.4 Aree extrastriate.....	10
1.2.5 Vie visive alternative	11
1.3 Possibili danni alle vie visive	11
1.4 L'emianopsia.....	12
1.5 Recupero spontaneo e riabilitazione visiva	14
CAPITOLO 2: IPOTESI SUI POSSIBILI FATTORI PROGNOSTICI DEL RECUPERO VISIVO	17
CAPITOLO 3: METODOLOGIA	20
3.1 Casi clinici presi in esame	20
3.1.1 Paziente A	20
3.1.2 Paziente B	23
3.2 Test funzionali.....	24
3.2.1 Perimetria Rarebit binoculare	25
3.2.2 Perimetria dinamica con controllo TOBII	26
3.2.3 Acuità visiva con lettere SLOAN	26
3.2.4 Riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes)	27
3.2.5 Detezione di uno stimolo <i>gabor flicker</i>	28
3.3 Training NRT (<i>Neuro Restoration Training</i>).....	29
CAPITOLO 4: RISULTATI.....	34
4.1 Pre- e post-test: paziente A	34
4.2 Pre- e post-test: paziente B.....	37
CAPITOLO 5: DISCUSSIONE DEI RISULTATI ED IMPLICAZIONI	42
5.1 Discussione dei risultati	42
5.2 Implicazioni psicologiche.....	44
5.3 Implicazioni sociali.....	45
5.4 Conclusioni.....	46
BIBLIOGRAFIA	47

ABSTRACT

L'elaborazione delle informazioni visive ha origine a livello della retina e prosegue attraverso il chiasma ottico, dove avviene una parziale decussazione delle fibre nervose che costituiscono i nervi ottici dei due occhi.

Proprio anche per questo motivo, lesioni a diversi livelli delle vie visive possono avere conseguenze differenti e portare all'insorgenza di vari disturbi visuo-percettivi.

L'emianopsia omonima laterale, ad esempio, è provocata da lesioni retrochiasmatiche, per lo più occipitali, e comporta la perdita di una porzione del campo visivo in entrambi gli occhi.

Nonostante in alcuni casi possano beneficiare di un parziale recupero spontaneo, per i pazienti emianoptici può essere utile intraprendere percorsi riabilitativi specifici il cui obiettivo è quello di favorire un miglioramento delle funzioni visive attraverso la stimolazione della plasticità neurale mediante la presentazione ripetuta di stimoli visivi nella zona di transizione del campo visivo.

Nel presente elaborato, in particolare, è stato preso in considerazione il protocollo NRT (*Neuro Restoration Training*) e ci si è posto l'obiettivo di formulare delle ipotesi relative ai fattori prognostici del recupero. Nello specifico, ci si è voluti concentrare sulla sede della lesione e sulla costanza nello svolgimento del training.

Sono stati presi in esame, dunque, i casi di due pazienti con emianopsia omonima sinistra che hanno intrapreso un protocollo riabilitativo NRT presso il laboratorio NeuroVis.U.S. (Unità Operativa di Riabilitazione Neurovisiva) e le cui capacità percettive sono state valutate prima, durante e al termine del periodo di svolgimento della procedura riabilitativa.

Nella prima paziente l'emianopsia era il risultato di tre episodi di emorragia talamo-capsulare destra dovuta ad un angioma cavernoso, mentre nel secondo paziente di un'emorragia cerebrale dovuta alla rottura di una MAV in territorio dell'arteria cerebrale media destra. In relazione alla costanza nello svolgimento del training, inoltre, la prima paziente si era allenata in media meno di tre volte alla settimana, mentre il secondo aveva sempre svolto i quattro allenamenti settimanali consigliati dal protocollo.

Dal confronto tra i risultati ottenuti nella valutazione iniziale e quelli ottenuti in quella finale nel secondo paziente si è potuto osservare un miglioramento clinicamente rilevante

nella percezione dell'emicampo visivo sinistro, nell'acuità visiva e nel riconoscimento di forme, mentre nella prima non si sono registrati miglioramenti evidenti.

Quanto emerso dal confronto tra i due casi clinici presi in considerazione sembrerebbe essere compatibile, dunque, con le ipotesi formulate in relazione al ruolo della sede della lesione e dell'aderenza al trattamento nel recupero dell'emianopsia. Tuttavia, è importante sottolineare il fatto che un campione di soggetti così ristretto non permette la verifica delle ipotesi, ma può essere un punto di partenza per un loro approfondimento.

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

1.1 Visione e percezione

Il sistema visivo rappresenta per l'essere umano una delle “finestre d'accesso” al mondo esterno. Insieme agli altri sistemi sensoriali, infatti, permette di entrare in contatto con stimoli ed informazioni provenienti dall'ambiente circostante e di creare rappresentazioni mentali relative ad esso attraverso la combinazione di due processi: sensazione e percezione.

La sensazione consiste nell'attivazione degli organi di senso che, tramite i recettori sensoriali, acquisiscono gli input provenienti dall'esterno e li trasducono in impulsi elettrici destinati ad arrivare, sotto forma di potenziali d'azione, alle aree cerebrali deputate alla loro elaborazione. La sensazione può essere considerata, quindi, un'esperienza “semplice” o “grezza”, che corrisponde alla rilevazione di un cambiamento fisico nei propri organi di senso.

La percezione è invece un'esperienza complessa, determinata dall'attivazione di una fitta rete di network cerebrali che permette l'integrazione e l'interpretazione coerente delle situazioni, alle quali viene attribuito un significato.

Tuttavia, è importante tenere in considerazione il fatto che la distinzione tra sensazione e percezione non è netta: il cervello, infatti, *“oltre a ricevere le informazioni sensoriali, continua a mandare messaggi dai suoi livelli più alti indietro ai primi stadi di elaborazione sensoriale”* (Atkinson et al., 2014/2017), influenzando e modificando i processi di elaborazione ed interpretazione stessi.

Nell'ambito di questo processo di senso-percezione ogni sistema sensoriale è sensibile ad una particolare tipologia di stimolo, ovvero di energia, ed è deputato alla sua elaborazione.

Nel caso del sistema visivo questa energia è la luce, una forma di radiazione elettromagnetica costituita da particelle energetiche, dette fotoni, che si propagano sotto forma di onde elettromagnetiche.

Proprio in virtù della sua natura ondulatoria, dunque, la luce può essere descritta tramite alcune caratteristiche fondamentali, quali: ampiezza, cioè la differenza tra un picco e un

cavo d'onda; frequenza, ovvero il numero di onde al secondo; lunghezza d'onda, cioè la distanza tra due picchi (o due cavi) consecutivi.

Le lunghezze d'onda comprese tra i 380 e i 760 nanometri, che corrispondono solo ad una piccola parte dello spettro elettromagnetico, sono rilevabili dal sistema visivo umano e percepibili come colori differenti.

1.2 Anatomia del sistema visivo

Oltre agli occhi, il sistema visivo dell'uomo comprende anche numerose strutture cerebrali, tanto che più di un terzo delle aree corticali del cervello umano è implicato proprio nell'analisi di informazioni di tipo visivo.

Nello specifico, la visione ha origine quando la luce emessa dalle sorgenti luminose viene riflessa dagli oggetti presenti nell'ambiente e raggiunge i fotorecettori della retina. Questi ultimi trasducono lo stimolo luminoso, ovvero lo trasformano in segnale elettrico, e lo inviano alle cellule gangliari retiniche che, essendo vere e proprie cellule neuronali, sono in grado di generare potenziali d'azione.

Gli assoni delle cellule gangliari lasciano poi la retina e si uniscono per formare il nervo ottico, le cui fibre decussano parzialmente a livello del chiasma ottico con quelle provenienti dall'altro occhio e proseguono verso il nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo per arrivare, infine, alla corteccia visiva primaria (V1) nel lobo occipitale (Figura 1.1).

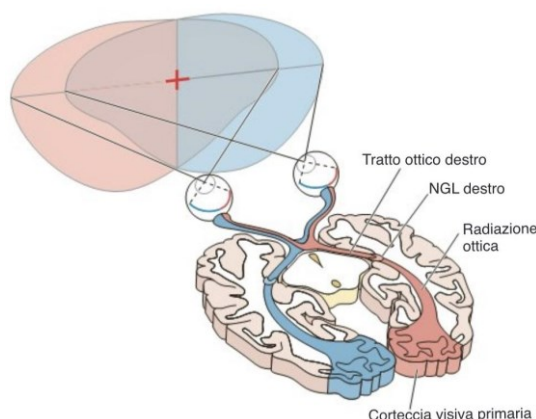


Figura 1.1 L'organizzazione della via visiva principale, che permette la percezione visiva cosciente.
Fonte: Bear et al. (2016)

Lungo tutto il suo percorso dalla retina ai centri encefalici superiori, tra l'altro, il sistema visivo centrale è organizzato retinotopicamente. Ciò significa che la proiezione di

informazioni risulta ordinata e organizzata topograficamente: cellule adiacenti nella retina inviano informazioni a neuroni adiacenti anche nel NGL e nella corteccia visiva.

Un'altra caratteristica delle vie visive è la cosiddetta “magnificazione corticale”, ovvero il fenomeno per cui in V1 un gran numero di neuroni è deputato all'elaborazione di stimoli provenienti dalla fovea della retina, che è quindi molto più ampiamente rappresentata rispetto alla periferia nella mappa retinotopica (Bear et al., 2016).

1.2.1 L'occhio

L'occhio è un organo specializzato nella raccolta, regolazione e trasformazione della luce in impulsi elettrici e rappresenta, dunque, il primo stadio della visione.

Esso è situato nella cavità orbitaria ed ha la forma di una sfera leggermente schiacciata, divisibile in due porzioni principali: il segmento anteriore e quello posteriore. Il primo comprende la cornea, l'umor acqueo, l'iride, la pupilla ed il cristallino, mentre il secondo comprende il corpo vitreo e la retina.

La cornea, ovvero una struttura trasparente ed avascolare, ma ricca di terminazioni nervose, rappresenta la superficie più esterna dell'occhio e la “lente” più potente del sistema visivo: essa possiede, infatti, un potere di rifrazione di circa 42 diottrie, pari a due terzi del potere diottrico totale dell'occhio.

La cornea costituisce, inoltre, la naturale continuazione anteriore della sclera, una membrana fibrosa ed opaca che protegge il bulbo oculare da eventuali lesioni.

Un altro mezzo rifrattivo che la luce attraversa è l'umor acqueo, un liquido trasparente che riempie la camera anteriore dell'occhio, tra cornea e cristallino. Esso risulta fondamentale per il mantenimento della pressione intraoculare e per l'apporto di nutrienti, quali ossigeno e glucosio, alle strutture avascolari dell'occhio.

Situata posteriormente all'umor acqueo, la pupilla è un'apertura circolare che consente alla luce di raggiungere la retina. Il suo diametro aumenta (midriasi) in condizioni di scarsità di luce, e diminuisce (miosi) quando l'intensità della luce risulta eccessiva, così che a raggiungere la retina sia sempre una quantità di luce ottimale.

I processi di midriasi e miosi sono possibili grazie all'iride, il muscolo pigmentato che circonda la pupilla e ne regola le dimensioni.

Proseguendo sempre più verso l'interno dell'occhio, la luce raggiunge ed attraversa una struttura biconvessa, trasparente ed elastica, chiamata cristallino. Esso permette il completamento del processo di messa a fuoco dell'immagine sulla retina tramite l'accomodazione, ovvero il meccanismo attraverso il quale il cristallino modifica la propria curvatura in base alla distanza degli oggetti di cui è necessaria la messa a fuoco. Lo spazio compreso tra il cristallino e la retina è poi occupato dal corpo vitreo, una sostanza gelatinosa, trasparente ed avascolare che mantiene la forma sferica del bulbo oculare e funge da riserva di nutrienti e da ammortizzatore contro i traumi meccanici. Dopo aver attraversato queste differenti strutture la luce raggiunge, infine, la superficie più posteriore dell'occhio, ovvero la retina, nella quale ha origine il processo di trasduzione.

La retina consiste in un tessuto neurale che ha la capacità di assorbire la luce, mettere in atto una prima elaborazione delle immagini ed inviare quanto elaborato al cervello. Essa possiede un'organizzazione laminare ed è costituita, infatti, da diversi strati di cellule (Figura 1.2).

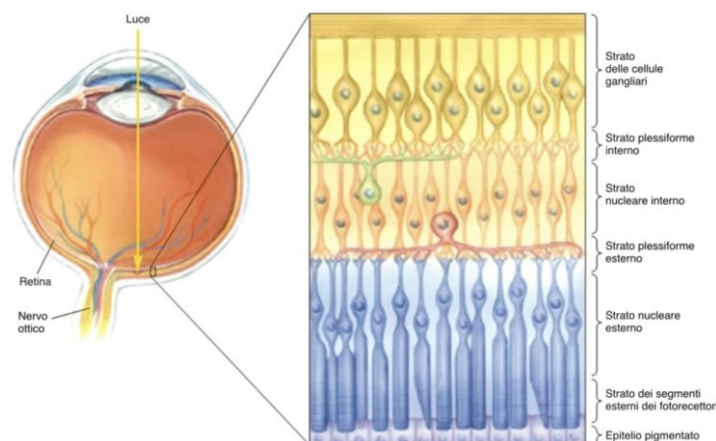


Figura 1.2 L'occhio e l'organizzazione laminare della retina. Fonte: Bear et al. (2016)

Il primo strato della retina ad essere attraversato dalla luce è quello delle cellule gangliari, costituito dai corpi cellulari delle stesse, a cui segue posteriormente lo strato plessiforme interno, contenente le connessioni sinaptiche tra cellule gangliari, cellule amacrine e cellule bipolari. Nello strato nucleare interno si trovano poi i corpi cellulari delle cellule amacrine, bipolari e orizzontali, mentre nello strato plessiforme esterno sono contenute le connessioni sinaptiche tra cellule bipolari, cellule orizzontali e fotorecettori.

Proseguendo verso la parte più posteriore del bulbo oculare la luce attraversa lo strato nucleare esterno e lo strato dei segmenti esterni dei fotorecettori, rispettivamente occupati dai corpi cellulari e dai segmenti esterni degli stessi e ancorati posteriormente ad uno strato di epitelio pigmentato.

I fotorecettori si occupano della trasduzione dell'energia luminosa in impulsi elettrici e possono essere di due tipologie: coni e bastoncelli.

In particolare, i coni sono responsabili della visione diurna, o fotopica, e della capacità dell'essere umano di vedere i colori ed i dettagli delle immagini. Proprio per questo motivo la maggior parte dei coni è concentrata nella fovea, una piccola regione situata al centro retina in cui l'acuità visiva spaziale è massima e la visione è, quindi, più dettagliata e nitida.

I bastoncelli sono responsabili, invece, della visione notturna, o scotopica, e producono immagini con una bassa risoluzione spaziale. Essi sono completamente assenti nel centro della fovea e sono molto più numerosi dei coni nella periferia della retina.

Nonostante i fotorecettori si trovino negli strati della retina più lontani dalla fonte di luce, è proprio da questi che il processo di trasduzione ha origine. L'assorbimento della luce da parte di coni e bastoncelli innesca, infatti, una serie di reazioni chimiche che conducono alla loro iperpolarizzazione ed al rilascio di un'esigua quantità di un neurotrasmettitore, ovvero il glutammato. Al contrario, il buio fa sì che i fotorecettori si depolarizzino e liberino, dunque, una maggiore quantità di neurotrasmettitore.

A questo punto il processo di trasmissione dell'informazione visiva segue due vie: una diretta, che coinvolge coni e bastoncelli, cellule bipolari e cellule gangliari; una indiretta, che tramite le cellule orizzontali ed amacrine modula le interazioni laterali, contribuisce alla formazione di campi recettivi, riduce la ridondanza e ottimizza la trasmissione dei segnali al cervello.

Nel caso delle cellule bipolari, ad esempio, ognuna di esse possiede un campo recettivo, ovvero un'area della retina *“la cui stimolazione genera una risposta neuronale”* (Bear et al., 2016), composto da due zone concentriche antagoniste: una centrale, formata da un gruppo di fotorecettori che instaurano connessioni sinaptiche dirette con la cellula bipolare, ed una periferica esterna, costituita da fotorecettori che instaurano connessioni mediate dalle cellule orizzontali.

Le cellule bipolari possono essere, tra l'altro, di due tipologie: cellule bipolari centro-ON e cellule bipolari centro-OFF. Le prime si depolarizzano quando la luce cade sui fotorecettori che formano il centro del loro campo recettivo e si iperpolarizzano, invece, quando la luce colpisce i fotorecettori che costituiscono la periferia. Al contrario, le cellule bipolari centro-OFF si iperpolarizzano quando la luce cade sul centro e si depolarizzano quando questa cade in periferia.

L'organizzazione in campi recettivi centro-periferia è sostanzialmente mantenuta anche nelle cellule gangliari, che possono essere a loro volta, dunque, centro-ON o centro-OFF e si connettono sinapticamente rispettivamente a cellule bipolari centro-ON e cellule bipolari centro-OFF.

Nel caso delle cellule gangliari l'assenza o presenza di luce nel centro e nella periferia del corrispondente campo recettivo fa sì che aumenti o diminuisca la frequenza di scarica della cellula stessa. È bene tenere presente, tra l'altro, che questo tipo di cellula sembra essere particolarmente sensibile a differenze di contrasto tra centro e periferia rispetto che a livelli assoluti di luminosità.

Le cellule gangliari possono essere ulteriormente classificate in: cellule M, cellule P e cellule bistratificate. Le prime possiedono ampi campi recettivi, rispondono alla stimolazione di questi in modo transiente e contribuiscono alla percezione del contrasto e del movimento. Le seconde presentano campi recettivi di grandezza intermedia, rispondono alla stimolazione con risposte sostenute e sembrano essere deputate all'elaborazione del colore rosso-verde e dei dettagli. Le cellule gangliari bistratificate, dette anche koniocellulari, infine, possiedono un corpo cellulare di piccole dimensioni e sembrano contribuire all'elaborazione del colore blu-giallo.

Gli assoni di tutte le cellule gangliari si uniscono e formano le fibre che costituiscono il nervo ottico, il quale attraversa la retina e fuoriesce dal bulbo oculare attraverso il disco ottico per dirigersi verso il cervello. Proprio il nervo ottico crea, dunque, una sorta di interruzione di qualche millimetro nella retina, chiamata macchia cieca, dove i fotorecettori sono assenti e la percezione visiva non avviene.

1.2.2 Il nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo

Dopo aver lasciato la retina, il nervo ottico di ciascuno dei due occhi attraversa il corrispondente foro ottico nel cranio e si unisce al nervo ottico dell'altro occhio a livello

del chiasma ottico, posto alla base del cervello. Qui le fibre provenienti dalle emiretine nasali dei due occhi si incrociano, mentre quelle provenienti dalle emiretine temporali proseguono ipsilateralmente.

Proprio per questa parziale decussazione delle fibre ottiche le informazioni presenti nell'emicampo visivo sinistro, proiettate nell'emiretina nasale dell'occhio sinistro e nell'emiretina temporale dell'occhio destro, verranno poi elaborate dall'emisfero destro del cervello. Viceversa, quanto presente nell'emicampo visivo destro verrà elaborato dall'emisfero sinistro del cervello.

Dal chiasma ottico in poi le fibre formano i tratti ottici e la maggior parte di queste prosegue verso il nucleo genicolato laterale (NGL) del talamo dorsale.

Quest'ultimo, presente sia nel lato destro sia in quello sinistro del talamo, è una struttura composta da sei strati cellulari ripiegati *“intorno al tratto ottico come l'articolazione del ginocchio”* (Bear et al., 2016) che permettono il mantenimento della segregazione delle informazioni provenienti dai due occhi e dalle differenti tipologie di cellule gangliari.

Gli strati 2, 3 e 5 del NGL ricevono input dall'occhio ipsilaterale, mentre gli strati 1, 4 e 6 ricevono input dall'occhio controlaterale.

Gli strati 1 e 2 sono costituiti da neuroni di grandi dimensioni, motivo per cui questi strati sono definiti magnocellulari, e ricevono le proiezioni delle cellule retiniche gangliari M per l'analisi di movimento e profondità degli stimoli. Gli strati 3, 4, 5 e 6, detti parvocellulari, possiedono invece cellule neuronali di dimensioni ridotte e ricevono informazioni dalle cellule retiniche gangliari P per l'analisi di forme e colori. Tra uno strato e l'altro, infine, sono presenti neuroni di dimensioni più piccole che vanno a costituire degli strati intermedi koniocellulari, riceventi afferenze dalle cellule retiniche gangliari koniocellulari.

Per quanto riguarda i campi recettivi dei neuroni del NGL, questi risultano concentrici e con centro e periferia antagonisti, proprio come quelli delle cellule retiniche.

1.2.3 La corteccia visiva primaria (V1)

Dal NGL del talamo la maggior parte delle informazioni viene proiettata attraverso le radiazioni ottiche alla corteccia visiva primaria (V1) nel lobo occipitale.

Quest'ultima corrisponde all'area 17 di Brodmann ed è definita anche *“corteccia striata”* in quanto è caratterizzata da *“un'unica densa striscia di assoni mielinizzati disposti*

parallelamente alla superficie corticale, che appaiono bianchi in sezioni non colorate” (Bear et al., 2016).

Come il NGL del talamo, anche V1 possiede un’organizzazione laminare ed è quindi suddivisibile nei seguenti strati: I, II, III, IVA, IVB, IVC α , IVC β , V e VI.

Lo strato IVC α riceve input dai neuroni magnocellulari del NGL e proietta principalmente allo strato IVB, mentre lo strato IVC β riceve afferenze dai neuroni parvocellulari del NGL ed invia informazioni soprattutto allo strato III di V1. Sia lo strato IVC α che quello IVC β sono organizzati in colonne di dominanza oculare grazie alle quali le informazioni provenienti dai due occhi vengono mantenute separate.

Oltre che dallo strato IVC β , lo strato III riceve input anche dagli strati koniocellulari del NGL e, così come lo strato II, contiene regioni verticali ricche di citocromo ossidasi deputate all’elaborazione del colore, dette *blob*, e regioni coinvolte nell’analisi dell’orientamento e della forma degli stimoli, dette *interblob*. Questi ultimi due strati proiettano poi principalmente ad altre aree corticali.

Gli strati V e VI, infine, inviano informazioni l’uno al collicolo superiore ed ai nuclei pontini e l’altro nuovamente al NGL del talamo.

Oltre che in base alla sua organizzazione laminare la corteccia visiva primaria può essere suddivisa anche verticalmente secondo colonne di orientamento, ognuna contenente neuroni che rispondono selettivamente in base ad un certo orientamento preferenziale dello stimolo.

Infine, è fondamentale l’esistenza di connessioni orizzontali che permettono la comunicazione tra colonne appartenenti allo stesso strato.

1.2.4 Aree extrastriate

La visione non termina nella corteccia visiva primaria, ma prosegue tramite il coinvolgimento di molteplici aree corticali extrastriate che integrano ed elaborano in modo sempre più complesso le informazioni visive.

In particolare, è possibile distinguere due vie principali: la via dorsale e la via ventrale.

La prima coinvolge principalmente le aree V1, V2, V3, MT e MST e sembra essere deputata all’elaborazione del movimento, della posizione degli stimoli e delle loro relazioni spaziali. Essa sembra svolgere un ruolo chiave, quindi, per la capacità di

direzionare i movimenti oculari, di orientarsi nello spazio e di interpretare il movimento degli oggetti presenti nell'ambiente circostante.

La via ventrale comprende, invece, le aree V1, V2, V3, V4 e l'area facciale fusiforme e sembra essere coinvolta nel riconoscimento di stimoli e oggetti e nell'analisi di dettagli fini, forme e colori.

1.2.5 Vie visive alternative

È bene tenere presente che una piccola parte degli assoni appartenenti alle cellule gangliari retiniche non si dirige verso il NGL del talamo.

In particolare, una piccola parte di queste fibre giunge all'ipotalamo ed è implicata nella sincronizzazione dei ritmi circadiani, mentre un'altra parte degli assoni si dirige verso il pretetto ed il collicolo superiore nel mesencefalo.

Il pretetto è coinvolto nel controllo dei movimenti oculari e del diametro pupillare, mentre il collicolo superiore ha un ruolo nel rapido orientamento degli occhi e del capo verso stimoli presenti nella periferia del campo visivo e potenzialmente pericolosi o interessanti, oltre che nella gestione dei movimenti saccadici (Bear et al., 2016).

1.3 Possibili danni alle vie visive

Come descritto nel presente elaborato, il sistema visivo risulta particolarmente complesso e coinvolge numerose strutture, cerebrali e non. Nel caso in cui una o più di queste strutture dovesse venire lesionata, il risultato potrebbe essere la comparsa di deficit del campo visivo differenti a seconda del livello a cui il danno è avvenuto.

Tra le cause più comuni di danni alle vie visive, dalla retina in poi, è possibile individuare: ictus ischemici ed emorragici, tumori cerebrali, traumi cranici ed encefaliti.

Qualora venisse lesionato uno dei due nervi ottici e la lesione fosse, quindi, di tipo prechiasmatico, il risultato sarebbe la completa cecità dell'occhio ipsilaterale.

Nel caso in cui avvenisse la resezione mediale del chiasma ottico, si verificherebbe la perdita della porzione periferica del campo visivo in entrambi gli occhi a causa del danneggiamento delle fibre che decussano.

Lesioni retrochiasmatiche a livello di uno dei due tratti ottici, delle radiazioni ottiche o della corteccia visiva primaria comporterebbero, infine, la perdita di una porzione di campo visivo controlaterale rispetto alla struttura interessata dal danno. In questo caso a

seconda della sede specifica della lesione e della quantità di fibre interessate, il deficit visivo potrebbe essere una quadrantopsia superiore o inferiore, con l'interessamento di un quadrante del campo visivo, oppure un'emianopsia, con la perdita di metà del campo visivo.

1.4 L'emianopsia

Se in un individuo sano il campo visivo binoculare copre un angolo di oltre 200°, in un individuo con emianopsia questo si riduce di circa la metà.

L'emianopsia consiste, infatti, in un deficit visivo che comporta la perdita di una porzione di campo visivo in entrambi gli occhi.

Alla base dell'insorgenza di questo disturbo vi sono lesioni cerebrali chiasmatiche o retrochiasmatiche derivanti principalmente da: ictus, tumori cerebrali, traumi cranici ed encefaliti (Goodwin, 2014).

L'emianopsia può essere classificata in base alla porzione di campo visivo compromessa. Una prima distinzione può essere fatta tra emianopsia completa, nella quale a mancare è effettivamente metà del campo visivo, ed emianopsia incompleta, in cui vi è il risparmio di una porzione aggiuntiva di campo visivo. In questo caso si parla di quadrantopsia quando ad essere compromesso è un solo quadrante, e di emianopsia con risparmio maculare quando viene preservata la visione nella zona centrale maculare del campo visivo.

Un'altra distinzione possibile è tra emianopsia laterale ed emianopsia altitudinale. La prima consiste nella perdita di una metà laterale (destra o sinistra) del campo visivo, mentre la seconda della metà superiore o di quella inferiore.

L'emianopsia laterale può, tra l'altro, essere: omonima, se la porzione di campo visivo compromessa si trova nello stesso lato in entrambi gli occhi (Figura 1.3), oppure eteronima se la porzione compromessa in un occhio è opposta a quella compromessa nell'altro occhio. Quest'ultima può a sua volta essere distinta in: emianopsia eteronima bitemporale, se la lesione si trova a livello mediale del chiasma ottico ed interessa le fibre provenienti dalle emiretine nasali di entrambi gli occhi e ad essere compromesso è l'emicampo visivo temporale di questi; emianopsia eteronima binasale, quando la lesione si trova a livello laterale del chiasma ottico ed interessa le fibre provenienti dalle emiretine

temporali di entrambi gli occhi e ad essere compromesso è l'emicampo visivo nasale di questi.



Figura 1.3 Ricostruzione del campo visivo dell'occhio sinistro e dell'occhio destro di un paziente con emianopsia omonima destra. Fonte: Borghetti (2020)

Per quanto riguarda l'emianopsia omonima laterale, nelle persone adulte la causa più frequente è rappresentata dall'ictus, che sembra essere alla base del 69.7% dei casi. Nel 54% dei pazienti emianoptici, tra l'altro, l'ictus interessa il lobo occipitale, mentre nel 33% dei casi colpisce le radiazioni ottiche e nel 6% i tratti ottici. Nel complesso, dunque, l'ictus in sede occipitale sembrerebbe essere la causa predominante dell'insorgenza di questo disturbo visivo (Ruddy et al., 2024).

Per quanto riguarda i casi di emianopsia dovuti a lesioni di natura differente dall'ictus, la sede più frequente è rappresentata dalle radiazioni ottiche (31%), seguita dal lobo occipitale (24%) e dal tratto ottico (19%), mentre i rimanenti casi sono associati a lesioni multiple (Ruddy et al., 2024).

Sempre negli adulti i traumi cranici sono alla base di circa il 14% dei casi di emianopsia ed i tumori cerebrali di circa l'11%. Esistono poi cause meno frequenti come epilessia ed interventi neurochirurgici (Goodwin, 2014).

In persone con età inferiore ai 18 anni, invece, i tumori cerebrali risultano essere la causa più frequente (39%), seguiti da malattie cerebrovascolari (25%) e traumi cranici (19%) (Ruddy et al., 2024).

È importante tenere presente che nel caso in cui si sospetti la presenza di emianopsia omonima laterale è bene svolgere una diagnosi differenziale per escludere la presenza di eminegligenza spaziale unilaterale, detta anche neglect. Quest'ultimo consiste in un disturbo neuropsicologico caratterizzato da un'assente o ridotta consapevolezza della

presenza di stimoli visivi o tattili che si trovano in un lato del campo visivo o del corpo (prevalentemente sinistri), in assenza di danni al sistema visivo e motorio (Bulboacă, 2019). Questo disturbo è legato ad un deficit di tipo attentivo che porta la persona ad ignorare inconsapevolmente tutto ciò che si trova alla propria sinistra.

L'eminegligenza spaziale unilaterale è associata a lesioni cerebrali nell'emisfero destro e, come anche l'emianopsia, può manifestarsi come conseguenza di un ictus.

1.5 Recupero spontaneo e riabilitazione visiva

Essendo la vista il senso più sviluppato e maggiormente utilizzato dall'essere umano, una condizione come quella dell'emianopsia può influire pesantemente sulla vita quotidiana del paziente, compromettendo e rendendo difficoltoso lo svolgimento di attività apparentemente semplici come la lettura, la guida, l'assunzione di medicinali, il riconoscimento di volti, l'utilizzo del computer e lo spostamento autonomo nello spazio. L'emianopsia, dunque, può limitare particolarmente l'indipendenza della persona e avere un forte impatto sul benessere psicologico, lavorativo ed economico della stessa e dei familiari (Papageorgiou et al., 2007).

Proprio da ciò nasce l'interesse per la comprensione di quello che può essere il naturale decorso del disturbo e per la valutazione della possibilità che si verifichi un eventuale recupero spontaneo.

Sebbene un recupero totale avvenga in un numero limitato di casi (circa il 17-19%) ed entro il primo mese dall'insorgenza del disturbo, l'emianopsia può comunque mostrare un certo grado di recupero spontaneo, la cui probabilità diminuisce con il passare del tempo (Goodwin, 2014).

In particolare, il primo mese dal momento dell'insorgenza sembra essere particolarmente importante, tanto che il 55% dei pazienti emianoptici sembra beneficiare almeno di un parziale miglioramento entro quel periodo. Ulteriori miglioramenti possono verificarsi anche entro i 6 mesi, mentre è molto più raro che se ne verifichino successivamente (Goodwin, 2014). Con il passare del tempo, tra l'altro, è possibile che i pazienti emianoptici riescano a sviluppare strategie compensatorie i cui benefici possono essere in un primo momento confusi con un miglioramento.

La possibilità di recupero spontaneo dipende, inoltre, da altri fattori quali l'estensione della porzione di campo visivo compromesso, l'attivazione di vie visive alternative, l'età dei pazienti e la plasticità neurale.

Oltre ai benefici portati da un eventuale recupero spontaneo, i pazienti emianoptici possono ricorrere a riabilitazioni specifiche che mirano a migliorare la funzionalità visiva nella vita di tutti i giorni. In particolare, gli approcci riabilitativi possono essere di tre tipologie, che si pongono obiettivi differenti e sfruttano principi differenti.

Il primo approccio riabilitativo è di tipo compensativo e mira ad ottimizzare i movimenti oculari dei pazienti nell'esplorazione del campo visivo, così che utilizzino la loro visione residua in maniera più efficiente (Goodwin, 2014). Ad esempio, un protocollo riabilitativo che rientra proprio in questa tipologia di approccio è basato su dispositivi di teleriabilitazione audiovisiva – come AVDesk – e sfrutta la stimolazione multisensoriale per allenare i movimenti oculari del paziente nella direzione del deficit campimetrico (Tinelli et al., 2017).

Il secondo approccio è definito sostitutivo in quanto si basa sul reindirizzamento delle immagini presenti nel campo visivo compromesso al lato preservato, mediante l'utilizzo di lenti prismatiche. Tuttavia, nonostante queste ultime siano utili, dunque, ad espandere il campo visivo, purtroppo possono comportare delle difficoltà nella discesa delle scale e nella lettura e creare spavento nel paziente nel momento in cui gli oggetti appaiono improvvisamente nel suo campo visivo (Goodwin, 2014).

Il terzo approccio, che è anche quello più recente, è di tipo restitutivo. Quest'ultimo sfrutta la plasticità cerebrale e l'apprendimento percettivo e, tramite la presentazione ripetuta di stimoli visivi nella zona più marginale dello scotoma, detta zona di transizione, mira a favorire un miglioramento delle funzioni visive (Casco et al., 2018). Questa tipologia di riabilitazione richiede un notevole impegno in quanto necessita di sessioni di allenamento quotidiane per diversi mesi affinché si possa sperare nell'ottenimento di risultati.

Alcuni dei protocolli sviluppati sulla base dell'approccio restitutivo sono: il VRT (*vision restoration therapy*), che sfrutta come stimoli dei punti bianchi luminosi presentati nell'area dello schermo del computer corrispondente al margine dello scotoma (Kasten et al., 1998), ma presenta diversi aspetti critici, quali il mancato controllo adeguato dei movimenti oculari dei pazienti, la mancanza di dati chiari ed il mancato studio clinico alla

base della sua approvazione (Horton, 2005); il protocollo di Huxlin e colleghi (2009) – che sarà brevemente descritto al paragrafo 3.3 –, alla base del quale vi sono stati prima diversi test su animali, uno studio su un campione uniforme di pazienti emianoptici con lesione in V1, il monitoraggio dei movimenti oculari e l'utilizzo di uno stimolo visivo che potesse attivare l'area temporale media (che riceve afferenze dal NGL anche quando V1 è compromessa).

CAPITOLO 2: IPOTESI SUI POSSIBILI FATTORI PROGNOSTICI DEL RECUPERO VISIVO

Come anticipato, i fattori che possono influire sulla possibilità che in pazienti con emianopsia si verifichi un recupero visivo spontaneo sono molteplici.

Similmente, anche l'efficacia dei protocolli riabilitativi specifici sembra essere influenzata da numerose variabili, tra le quali: l'età del paziente, il tempo trascorso tra l'insorgenza del disturbo e l'inizio del percorso riabilitativo, la presenza di eventuali deficit cognitivi, la natura della lesione, la sede della lesione e l'aderenza al trattamento.

Per quanto concerne la variabile dell'età, ad oggi in letteratura il dibattito sull'influenza della stessa sull'efficacia dei protocolli riabilitativi è ancora aperto. Nonostante nei giovani la plasticità cerebrale sia generalmente maggiore e, dunque, sembri essere più probabile che la riabilitazione visiva favorisca effettivamente una riorganizzazione funzionale dei neuroni sopravvissuti alla lesione cerebrale (Payne & Lomber, 2002), studi più recenti suggeriscono l'esistenza di una relazione molto più sfumata tra età del paziente, plasticità cerebrale ed efficacia dei protocolli di riabilitazione visiva (Zihl et al., 2021).

Anche il tempo trascorso tra l'esordio dell'emianopsia e l'inizio della riabilitazione visiva è da tenere in considerazione: i primi 6 mesi, ovvero il periodo di fase acuta del disturbo, sono quelli in cui la probabilità che si verifichino dei miglioramenti spontanei è maggiore (Goodwin, 2014).

In relazione alla presenza di eventuali deficit cognitivi, è bene precisare che l'emianopsia può presentarsi in comorbilità con altri disturbi se le lesioni cerebrali alla base della stessa hanno coinvolto strutture non implicate solamente nella visione. Proprio la presenza di deficit cognitivi (ad esempio attentivi, di memoria o delle funzioni esecutive) o di eminegligenza spaziale unilaterale può rendere più complesso il quadro clinico ed influenzare negativamente l'efficacia del trattamento, rendendo più difficoltoso il recupero visivo.

Per quanto riguarda la natura della lesione, anche questa può incidere sull'*outcome* della riabilitazione visiva nella misura in cui danni focali implicano un maggior numero di

neuroni e di connessioni sinaptiche preservati e, generalmente, maggiori possibilità di recupero, anche spontaneo (Perez & Chokron, 2014).

Sebbene le variabili potenzialmente rilevanti siano quindi numerose, nel presente elaborato ci si vuole concentrare sulla sede della lesione e sull'aderenza al training. Si ipotizza, infatti, che entrambe queste variabili possano influire sull'efficacia del percorso di riabilitazione visiva.

Per verificare se queste ipotesi sui possibili fattori prognostici del recupero siano effettivamente compatibili con la realtà, dunque, sono stati presi in considerazione e confrontati i casi clinici di due pazienti che hanno intrapreso un protocollo riabilitativo NRT (*Neuro Restoration Training*) presso il laboratorio NeuroVis.U.S. (Unità Operativa di Riabilitazione Neurovisiva) dell'Università degli Studi di Padova e le cui capacità percettive sono state valutate prima, durante ed al termine del periodo di svolgimento della procedura riabilitativa.

I due pazienti, che nel presente elaborato verranno indicati come “paziente A” e “paziente B”, riportano esiti di emianopsia omonima sinistra e sono stati presi in carico da NeuroVis.U.S. in fase cronica del disturbo. Nonostante i due casi presentino alcune caratteristiche comuni, come la giovane età, l'alta motivazione ad intraprendere il percorso di riabilitazione ed un'eziologia del disturbo simile di tipo emorragico, questi differiscono principalmente proprio per sede della lesione e aderenza al trattamento.

Nel caso della paziente A, infatti, l'emianopsia è il risultato di tre episodi di emorragia talamo-capsulare destra dovuti ad un angioma cavernoso, mentre nel caso del paziente B di un'emorragia cerebrale in sede di arteria posteriore destra dovuta alla rottura di una MAV (malformazione arterovenosa).

Per quanto riguarda la possibile variabile dell'aderenza al trattamento, la paziente A ha svolto in media meno di tre sessioni di allenamento alla settimana, mentre il paziente B è stato più costante nello svolgimento dei tre o quattro allenamenti alla settimana consigliati dal protocollo (Casco et al., 2018).

Prima di procedere con la presentazione dei casi clinici, è opportuno chiarire la portata conoscitiva del confronto proposto. I due pazienti differiscono non solo per sede della lesione, ma anche per aderenza al trattamento: poiché queste due variabili variano simultaneamente, non è possibile attribuire eventuali differenze nell'*outcome* a una delle

due in modo esclusivo. Il confronto non ha quindi valore inferenziale, nemmeno in senso esplorativo, rispetto alle ipotesi formulate. Il contributo dell'elaborato è piuttosto di natura descrittiva e clinica: i due casi rappresentano un'occasione per osservare come variabili teoricamente rilevanti si manifestino concretamente nella pratica riabilitativa, costituendo uno spunto per studi futuri con disegni più adeguati alla verifica delle ipotesi.

CAPITOLO 3: METODOLOGIA

3.1 Casi clinici presi in esame

Verranno ora descritti singolarmente i due casi clinici presi in esame. In particolare, verranno fornite informazioni anamnestiche relative alla natura e alla sede della lesione, ai deficit riportati, ad eventuali percorsi riabilitativi intrapresi ed alla valutazione iniziale presso il centro NeuroVis.U.S.

3.1.1 Paziente A

La paziente A è una donna che si presenta presso il servizio NeuroVis.U.S. all'età di 28 anni. Essa riporta esiti di emiparesi sinistra ed emianopsia omonima sinistra congrua, con zona di transizione nell'occhio sinistro e margine netto nell'occhio destro, in seguito a tre episodi di emorragia talamo-capsulare destra dovuta ad un angioma cavernoso, asportato poi tramite una craniotomia temporale destra.

In particolare, il primo episodio emorragico porta al ricovero in data 10/02/21 e si manifesta con “disestesie dapprima alla gamba sinistra, quindi nei giorni successivi anche all'avambraccio omolaterale” (disturbi della sensibilità) e “sensazione di ipostenia all'arto superiore sinistro” (riduzione della forza muscolare). Alla paziente viene fatta eseguire, dunque, una RM encefalo (risonanza magnetica) dalla quale emerge un ematoma talamico associato ad una malformazione vascolare.

Il secondo episodio di sanguinamento porta al ricovero in data 03/03/21 e si manifesta con cefalea frontale, ipostenia all'arto inferiore sinistro e difficoltà nell'eseguire movimenti fini con la mano sinistra. In questo caso alla paziente viene fatta eseguire una TC encefalo (tomografia computerizzata) che mostra un “dubbio risanguinamento del noto cavernoma talamico destro”, che data la sede della lesione e la giovane età della donna viene trattato con radiochirurgia frazionata in data 31/03/21.

Il terzo sanguinamento porta al ricovero in data 08/06/21 in seguito ad un nuovo episodio di cefalea associato al peggioramento dell'emiparesi sinistra. In questa occasione vengono svolte una TC encefalo, che mostra un risanguinamento della lesione talamica

destra, ed un EON (esame obiettivo neurologico), dal quale emergono una quadrantopsia omonima inferiore sinistra ed un quadro cognitivo nella norma.

L'angioma cavernoso viene infine asportato in data 20/07/21 tramite una craniotomia temporale destra.

In data 02/11/2022 la paziente svolge una visita oculistica dalla quale emerge un'acuità visiva di 10/10 in entrambi gli occhi.

Successivamente la paziente A svolge alcune sedute con AVDesk, ovvero un approccio riabilitativo di tipo compensativo che attraverso la stimolazione di neuroni multisensoriali allena i movimenti oculari del paziente nella direzione del deficit campimetrico, e riporta di aver riscontrato beneficio dalle stesse. Intraprende inoltre un percorso di riabilitazione neurocognitiva che porta ad un buon miglioramento nella deambulazione e nel reclutamento dell'arto superiore sinistro.

Tra gennaio e febbraio 2023 la paziente svolge anche alcune sedute riabilitative ortottiche per migliorare la fusione, ovvero la capacità del cervello di fondere in una sola immagine tridimensionale le informazioni visive provenienti dai due occhi, e la convergenza, vale a dire il movimento coordinato effettuato dagli occhi verso l'interno durante la visione di oggetti vicini.

In data 08/03/2023 svolge una perimetria Humphrey (Figura 3.1), volta a valutare il campo visivo, grazie alla quale viene confermata l'emianopsia omonima laterale sinistra, con una leggera apertura nel campo visivo superiore dell'occhio sinistro, già emersa anche in altri esami del campo visivo svolti nei mesi precedenti.

Nonostante lo stesso giorno la paziente abbia svolto anche una perimetria Rarebit, ovvero la tipologia di perimetria adottata anche dal laboratorio NeuroVis.U.S. come test funzionale, nel presente elaborato verrà riportata la rappresentazione grafica della sola perimetria Humphrey della paziente A in quanto di quella Rarebit risultano disponibili esclusivamente i risultati quantitativi, che saranno comunque riportati al paragrafo 4.1. Per quanto riguarda il paziente B, invece, verranno riportati sia la rappresentazione grafica sia i risultati quantitativi della perimetria Rarebit. Purtroppo nella ricerca clinica a volte può risultare difficoltoso, infatti, avere a disposizione per tutti i pazienti presi in carico le medesime misurazioni.

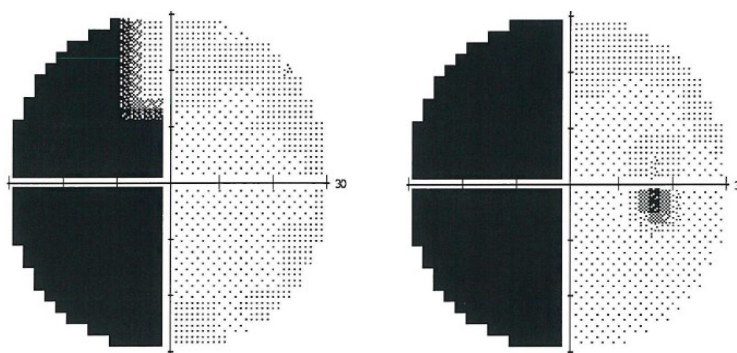


Figura 3.1 Perimetria Humphrey dell'08/03/2023. A sinistra l'occhio sinistro, a destra l'occhio destro.

La paziente A viene sottoposta ad una valutazione iniziale presso il servizio NeuroVis.U.S. in data 08/03/23, circa 2 anni dopo il primo episodio emorragico e quindi in fase cronica del disturbo.

Nel corso della valutazione emergono difficoltà soggettive nello svolgimento di numerose attività quotidiane, tra cui: identificare i cibi nel piatto, vestirsi, pulire casa, compilare moduli, cercare oggetti riposti negli scaffali, scendere le scale nella penombra, utilizzare mezzi di trasporto, muoversi nella folla, riconoscere le persone, leggere i cartelli stradali, leggere i titoli dei notiziari, fare attività fisica e lavorare all'esterno.

In questa occasione la paziente A viene sottoposta anche a diversi test funzionali (le cui caratteristiche e modalità di somministrazione saranno esposte al paragrafo 3.2) volti a valutare le sue capacità percettive.

Al termine della valutazione iniziale si decide di intraprendere un percorso riabilitativo neurocomportamentale NRT (le cui caratteristiche e modalità di svolgimento saranno descritte al paragrafo 3.3), con l'obiettivo di migliorare le capacità visive nella zona di transizione e di tentare di ampliare il campo visivo.

La paziente si allena quindi per 12 mesi da maggio 2023 a maggio 2024, svolgendo in media meno di tre sessioni di allenamento alla settimana.

Per monitorare eventuali cambiamenti nel vissuto soggettivo e/o nei test funzionali, a luglio e a novembre 2023 la paziente viene sottoposta a delle valutazioni intermedie, mentre a maggio 2024 ad una valutazione finale.

3.1.2 Paziente B

Il paziente B è un giovane uomo che si presenta presso il servizio NeuroVis.U.S. all'età di 19 anni. Egli riporta esiti di emiplegia incompleta sinistra ed emianopsia omonima sinistra in seguito ad un episodio di emorragia cerebrale dovuto alla rottura di una MAV (malformazione arterovenosa) in territorio di arteria cerebrale media destra, avvenuto in data 20/04/2020. A novembre 2021 il paziente è andato incontro, inoltre, ad un episodio di crisi epilettica indotta dallo stress.

Da una prima valutazione neurologica svolta durante il ricovero, emergono anche: eminegligenza spaziale sinistra personale e peripersonale, deficit dell'attenzione sostenuta e selettiva, eloquio lievemente disartico, difficoltà a livello delle funzioni esecutive e anosognosia per i deficit cognitivi.

Successivamente il paziente svolge più cicli di riabilitazione motoria ed un percorso di riabilitazione cognitiva.

Ad aprile 2023 il paziente B è stato sottoposto ad una visita oculistica dalla quale è risultata un'acuità visiva di 9/10 in entrambi gli occhi.

La valutazione iniziale del paziente presso il servizio NeuroVis.U.S. viene svolta in data 03/07/2023, oltre tre anni dopo l'episodio di emorragia cerebrale e quindi, anche in questo caso, in fase cronica del disturbo.

Nel corso della valutazione si rileva un buon funzionamento cognitivo e non si rileva invece, a differenza che nella prima valutazione neurologica svolta ad aprile 2020 durante il ricovero per emorragia cerebrale, la presenza di eminegligenza spaziale sinistra personale e peripersonale. Questa remissione potrebbe essere spiegata sia da un recupero spontaneo post-acuto, che anche nel caso del neglect è possibile nei primi mesi successivi alla sua insorgenza, sia dai benefici portati dal percorso di riabilitazione cognitiva svolto, che potrebbe aver favorito un recupero delle funzioni attentive e visuo-spaziali.

A livello soggettivo, il paziente riporta difficoltà nel muoversi in luoghi all'aperto e nell'attraversare la strada al semaforo, mentre riferisce di non riscontrare particolari difficoltà nello svolgimento di altre attività quotidiane.

Tra i vari test funzionali, nel corso della valutazione iniziale al paziente B viene fatta eseguire anche una perimetria Rarebit (Figura 3.2), volta a valutare il campo visivo

binoculare, grazie alla quale viene confermata l'emianopsia omonima sinistra rilevata anche in precedenti esami del campo visivo ritenuti poco affidabili a causa dell'alto numero di perdite di fissazione dello sguardo.

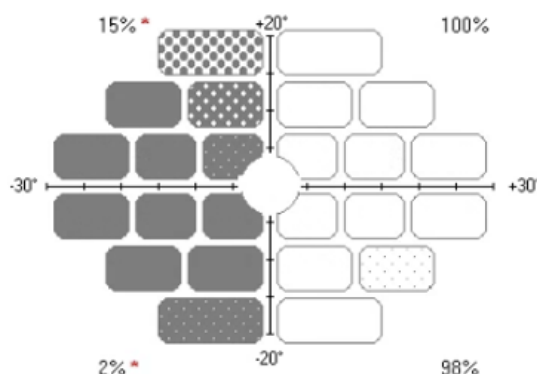


Figura 3.2 Perimetria Rarebit binoculare del 03/07/2023

Al termine della valutazione iniziale si decide di intraprendere un percorso riabilitativo neurocomportamentale NRT con l'obiettivo di migliorare le capacità visive nella zona di transizione e di tentare di ampliare il campo visivo.

Il paziente B si allena quindi da luglio 2023 a dicembre 2023, quando interrompe temporaneamente il percorso di riabilitazione visiva a causa di un ricovero per l'avvio di un programma di riabilitazione motoria. Al termine di quest'ultimo, ad aprile 2024, egli riprende ad allenarsi fino a giugno 2024, mantenendo come nel periodo pre-interruzione una media di quattro o più allenamenti alla settimana.

Per monitorare eventuali cambiamenti nel vissuto soggettivo e/o nei test funzionali, a novembre 2023 il paziente viene sottoposto ad una valutazione intermedia, mentre a giugno 2024 ad una valutazione finale.

3.2 Test funzionali

Come precedentemente anticipato, nel corso delle valutazioni iniziali, intermedie e finali i due pazienti presi in considerazione nel presente elaborato sono stati sottoposti ad alcuni test funzionali volti a valutare le loro capacità percettive. Tra questi risultano: perimetria Rarebit binoculare, perimetria dinamica, acuità visiva con singole lettere SLOAN, riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes) e deteazione di uno stimolo *gabor flicker*.

I risultati ottenuti dai pazienti nella valutazione iniziale, precedente quindi all'inizio del percorso di riabilitazione visiva con training NRT, sono stati poi messi a confronto con quelli ottenuti nella valutazione finale così da individuare eventuali cambiamenti dell'acuità visiva, del campo visivo e dell'accuratezza e consapevolezza in compiti di *blindsight*.

3.2.1 Perimetria Rarebit binoculare

La perimetria Rarebit è una delle tipologie di perimetria utilizzabili per valutare il campo visivo di un paziente, ovvero la porzione di spazio che gli occhi sono in grado di percepire mantenendo lo sguardo su un punto fisso centrale.

Sviluppata dal professor Lars Frisén dell'Università di Goteborg, si tratta di un esame clinico che, tra l'altro, viene svolto tramite il solo impiego di un computer. Non è dunque previsto l'utilizzo di un dispositivo eye-tracker che rilevi i movimenti oculari del paziente. La perimetria Rarebit per la valutazione del campo visivo binoculare viene svolta in una stanza completamente buia ed in due condizioni: *outer* ed *inner*. Nella prima condizione il paziente si trova seduto ad una distanza di 0.5 m dallo schermo del computer, mentre nella seconda si trova ad una distanza di 1 m.

Nel corso del test il paziente ha il compito di cliccare una volta il tasto sinistro del mouse se vede comparire sullo schermo nero un solo *microdot* luminoso, di cliccare due volte se ne vede apparire due e di non cliccare affatto se non percepisce alcun *microdot*. Questi punti luminosi possono infatti apparire per breve tempo (100 o 200 millisecondi) in 24 aree distinte dello schermo corrispondenti al campo visivo periferico fino a 27.5° di eccentricità orizzontale, mentre il paziente deve mantenere lo sguardo su una piccola croce di fissazione che nel corso della perimetria si sposta sullo schermo.

Al termine del test il software genera automaticamente un resoconto grafico del campo visivo del paziente, una sorta di mappa in cui rettangoli scuri indicano aree in cui i *microdots* non sono stati percepiti e rettangoli chiari indicano quelle in cui sono stati visti correttamente (Figura 3.2 al paragrafo 3.1.2). Per ogni quadrante di campo visivo è riportata la percentuale di risposte corrette, che nei normovedenti è attesa essere 100%. Generalmente per una maggiore affidabilità la perimetria Rarebit viene poi ripetuta una seconda volta (re-test).

3.2.2 Perimetria dinamica con controllo TOBII

Questa tipologia di perimetria viene generalmente utilizzata per identificare i margini dello scotoma del paziente.

Lo stimolo è costituito da un puntino luminoso con diametro pari a 0.5° che compare dal bordo sinistro o da quello destro dello schermo del computer con uguale probabilità e a diversi gradi di eccentricità verticale e si sposta orizzontalmente verso il margine opposto del monitor (Figura 3.3).

Il compito del paziente, che si trova seduto a 0.6 m dallo schermo, è quello di premere degli specifici tasti non appena vede apparire o scomparire il puntino bianco, mantenendo lo sguardo sulla croce di fissazione centrale. La prova termina dopo 96 trials e permette di delineare il margine dello scotoma attraverso l'interpolazione dei vari punti disposti lungo l'asse verticale (Casco et al., 2018).

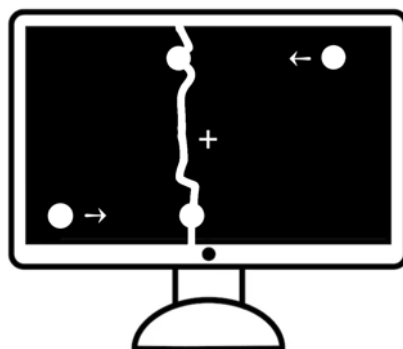


Figura 3.3 Rappresentazione semplificata di come appare visivamente il test. La linea irregolare posta alla sinistra della croce di fissazione raffigura il margine dello scotoma ricavato dall'interpolazione dei punti.

Per rendere la perimetria dinamica più affidabile è possibile monitorare i movimenti oculari del paziente attraverso un dispositivo eye-tracker, come ad esempio il sistema TOBII Pro Spectrum 600 Hz. Quest'ultimo ha la capacità di registrare la posizione degli occhi del paziente 600 volte al secondo ed è utile a verificare, quindi, che nel corso del compito il paziente non abbia spostato lo sguardo dalla croce di fissazione centrale.

3.2.3 Acuità visiva con lettere SLOAN

Il test dell'acuità visiva con lettere SLOAN ha l'obiettivo di valutare l'acuità visiva del paziente, ovvero la *“capacità di discriminare due stimoli separati nello spazio ad alto contrasto rispetto allo sfondo”* (Kniestedt & Stamper, 2003).

Il test viene svolto attraverso il software *Matlab Psychtoolbox* e con il paziente seduto ad una distanza di 0.57 m dallo schermo del computer. Su quest'ultimo appaiono in ordine casuale 10 possibili lettere SLOAN bianche (C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z), ognuna anticipata da un *cue* sonoro e presentata per soli 200 millisecondi nella porzione di campo visivo cieco o in quella di campo visivo non compromesso. Il paziente ha il compito di riportare verbalmente la lettera percepita, rispondendo in modo casuale nel caso in cui non abbia visto nulla, mentre è compito dello sperimentatore registrare la risposta tramite la tastiera del computer. In base alla correttezza o scorrettezza della risposta data dal paziente la dimensione della lettera successiva varia, sulla base quindi di una procedura psicofisica adattiva.

Per quanto riguarda la posizione degli stimoli, questi compaiono ad un'eccentricità verticale di 0° e ad un'eccentricità orizzontale che varia ad ogni trial fino a giungere a quella che rende l'acuità del paziente pari a 40 arcmin (Casco et al., 2018).

Al termine di ciascun trial, il software restituisce l'acuità visiva del paziente, espressa in minuti d'arco (arcmin), corrispondente alla specifica eccentricità orizzontale a cui sono appena stati presentati gli stimoli. Dato che il valore restituito costituisce, dunque, la minima dimensione angolare degli stimoli che il paziente è in grado di identificare correttamente, più basso è il risultato al test, migliore è la performance del paziente.

3.2.4 Riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes)

Il presente compito è volto a valutare l'eventuale presenza di *blindsight*, un fenomeno apparentemente paradossale che consiste nella capacità, che solo alcuni pazienti hanno, di localizzare o discriminare stimoli collocati completamente nel campo visivo cieco, senza esserne però consapevoli (Covey, 2010). L'interpretazione più condivisa di questo fenomeno, che è stato indagato principalmente in pazienti con danni alla corteccia visiva primaria (V1), è che sia possibile grazie al risparmio e al coinvolgimento di vie visive "alternative" che bypassano V1 (Ajina et al., 2015).

Se presente, questo fenomeno può essere individuato in compiti a scelta forzata e si può manifestare in due modalità: mentre alcuni pazienti hanno la sensazione di aver percepito qualcosa, ma non sanno definire cosa, altri sono convinti di non aver percepito nulla e di aver risposto in modo assolutamente casuale.

Nel test di riconoscimento di forme geometriche statiche (*Silhouettes*) il paziente si trova seduto ad una distanza di 0.57 m dallo schermo del computer ed ha il compito di mantenere lo sguardo su una croce di fissazione centrale ed indicare verbalmente se nella porzione di schermo del computer corrispondente al campo visivo cieco è apparso un cerchio, un quadrato, un triangolo oppure una stella (Figura 3.4). Dopo aver fornito la risposta il paziente deve inoltre riferire il grado di sicurezza, e quindi di consapevolezza, con cui ha risposto (Casco et al., 2018).

Al termine del compito, che si compone di 80 trials, il software (*Matlab Psychtoolbox* anche in questo caso) restituisce la percentuale di accuratezza delle risposte e la percentuale di consapevolezza degli stimoli comparsi. Nei normovedenti la percentuale di accuratezza attesa è del 100%, mentre una percentuale del 25% è attribuibile a delle risposte date in modo casuale. Se un paziente con emianopsia ottiene una percentuale di accuratezza superiore a quella del caso, è possibile che presenti *blindsight*. Tuttavia, è bene precisare che per rendere il test attendibile sarebbe necessario l'utilizzo di un dispositivo eye-tracker che rilevi eventuali spostamenti dello sguardo, anche involontari, dalla croce di fissazione.

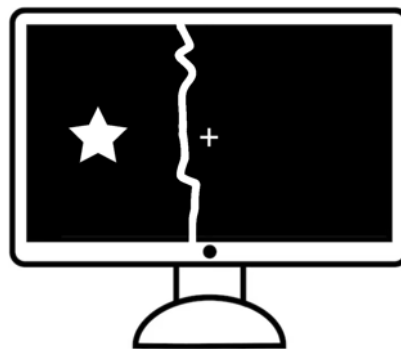


Figura 3.4 Rappresentazione semplificata di come appare visivamente il test. La linea irregolare posta a sinistra della croce di fissazione raffigura il margine dello scotoma.

3.2.5 Detezione di uno stimolo *gabor flicker*

Un altro compito utilizzato per testare l'eventuale presenza di *blindsight* è quello di detezione di uno stimolo *gabor flicker*.

Lo stimolo utilizzato in questo test è, appunto, un filtro *gabor flicker*, ovvero una variazione di luminanza sinusoidale vista attraverso una finestra gaussiana, presentata in questo caso non in maniera statica ma come “sfarfallio”.

Nel corso di questo compito lo stimolo, impostato ad un contrasto di Michelson pari a 0.99, appare posizionato completamente nella zona cieca del campo visivo e per una durata di 250 millisecondi (Figura 3.5). Il paziente, anche in questo caso seduto ad una distanza di 0.57 m dallo schermo del computer, ha il compito di indicare se il filtro *gabor* è apparso nel primo o nel secondo intervallo di tempo (i due intervalli sono scanditi da due segnali acustici) e se è consapevole o meno di averlo visto (Casco et al., 2018).

Il test si compone di 60 trials, 12 dei quali prevedono la comparsa dello stimolo nella zona non compromessa del campo visivo, alla stessa eccentricità orizzontale delle altre prove. Anche in questo caso al termine del compito il software restituisce la percentuale di accuratezza delle risposte e la percentuale di consapevolezza dello stimolo, con la differenza che trattandosi di un compito a scelta forzata con due alternative di risposta (e non quattro) la percentuale di accuratezza attribuibile al caso è del 50%.

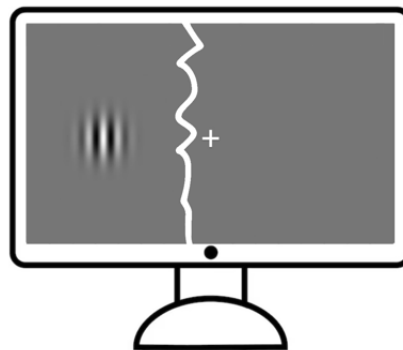


Figura 3.5 Rappresentazione semplificata di come appare visivamente il test. La linea irregolare posta alla sinistra della croce di fissazione raffigura il margine dello scotoma.

3.3 Training NRT (*Neuro Restoration Training*)

Il *Neuro Restoration Training* (NRT) consiste in un protocollo di riabilitazione neurovisiva non invasivo sviluppato e approvato nel 2018 dall'Università degli Studi di Padova, in particolare dalla professoressa Casco e dal suo team di ricerca del laboratorio NeuroVis.U.S. (Unità Operativa di Riabilitazione Neurovisiva) del Centro di Ateneo dei Servizi Clinici Universitari Psicologici.

Il protocollo sfrutta i meccanismi della plasticità cerebrale e dell'apprendimento percettivo per potenziare la risposta dei neuroni sopravvissuti alla lesione cerebrale e stimolare la riorganizzazione funzionale delle connessioni sinaptiche tra gli stessi, con l'obiettivo di ampliare di qualche grado il campo visivo vedente del paziente.

Il protocollo NRT rientra, dunque, tra gli approcci riabilitativi dell'emianopsia di tipo restitutivo, dei quali fa parte anche un altro protocollo particolarmente studiato e conosciuto, ovvero quello sviluppato da Huxlin e colleghi nel 2009.

Quest'ultimo prevede che il paziente, seduto a 0.42 m di distanza dallo schermo del computer, mantenga lo sguardo su una croce di fissazione centrale e discrimini la direzione del movimento coerente (destra o sinistra) di un piccolo pattern di punti posto all'interno di un secondo insieme di punti che si muovono in maniera casuale in una zona dello schermo corrispondente al campo visivo cieco o alla zona di transizione. Questo approccio prevede che il paziente svolga sessioni di allenamento giornaliere per almeno cinque giorni alla settimana, fino a quando le sue performance risultano stabili e simili a quelle di un normovedente (Huxlin et al., 2009).

Come quello sviluppato da Huxlin e colleghi, anche il protocollo NRT presenta il vantaggio di poter essere svolto dal paziente in autonomia da casa. Nel corso della valutazione iniziale presso il laboratorio NeuroVis.U.S., infatti, sul computer portatile del paziente vengono effettuate la calibrazione dello schermo e l'installazione del software (*Matlab*) che gli permetterà di allenarsi nella propria abitazione 4 volte alla settimana per circa 9 mesi. Nel caso in cui il paziente non possieda un computer portatile, se disponibile può concordarne il noleggio di uno di NeuroVis.U.S.

Nel NRT lo stimolo utilizzato è il filtro *gabor*, che può apparire in tre modalità differenti: statico, movimento (scorrimento alla velocità di 6° al secondo) e *flicker* (sfarfallio a 20 Hz).

Per quanto riguarda la frequenza spaziale dello stimolo, questa varia tra 1 e 4 cicli/grado a seconda dell'eccentricità e della modalità di presentazione: è maggiore per stimoli presentati al margine dello scotoma ed in modalità statico.

La dimensione del filtro *gabor* può essere modificata a seconda della dimensione dello scotoma, mentre il contrasto di Michelson è impostato inizialmente a 0.99, per poi adattarsi alle risposte del paziente secondo una *staircase 3-down 1-up* (servono tre risposte corrette consecutive affinché diminuisca, rendendo il compito più difficile, mentre basta una sola risposta errata perché aumenti).

Mentre nelle modalità movimento e *flicker* lo stimolo *gabor* può assumere una sola orientazione, ovvero quella verticale (0°), nella condizione statico può assumerne 4: verticale (0°), orizzontale (90°), inclinato a 45° o inclinato a 135° .

Per quanto riguarda la posizione degli stimoli, questi possono apparire in 4 posizioni differenti dello schermo del computer, e quindi del campo visivo del paziente (Figura 3.6), individuate proprio sulla base delle perimetrie svolte nel corso della valutazione iniziale.

I primi due stimoli, quelli target, sono collocati lungo i margini dello scotoma del paziente, ovvero nella zona di transizione, situati per il 90% nella zona cieca e per il 10% nella zona vedente. Con il passare dei mesi di allenamento ci si auspica di notare un progressivo miglioramento delle prestazioni proprio in queste due posizioni target.

Il terzo stimolo, legato al potenziamento del *blindsight*, appare completamente all'interno del campo visivo cieco del paziente e proprio per questo motivo ci si aspetta che in questa posizione il paziente abbia delle prestazioni scadenti.

Infine, il quarto stimolo si trova completamente nel campo visivo vedente, simmetrico al terzo stimolo, e funge da posizione di controllo. In questa posizione ci si aspettano infatti delle ottime prestazioni e nel caso in cui non dovesse essere così, il paziente potrebbe non aver davvero compreso il compito o potrebbe aver spostato lo sguardo dalla croce di fissazione (Casco et al., 2018).

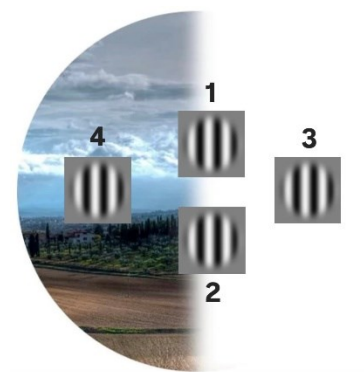


Figura 3.6 Rappresentazione esemplificativa della possibile posizione degli stimoli rispetto al campo visivo di un paziente con emianopsia omonima destra. Adattato da: Borghetti (2020).

Durante lo svolgimento del training il paziente si deve trovare in una stanza buia ad una distanza di 0.57 m dallo schermo del computer e deve mantenere lo sguardo sulla croce di fissazione centrale.

Nel corso del compito egli sentirà due segnali sonori, uno dei quali fungerà da anticipatore della comparsa dello stimolo *gabor* in una delle quattro possibili posizioni dello schermo. Il paziente dovrà svolgere, dunque, un compito di scelta forzata tra due alternative temporali indicando tramite due tasti differenti se lo stimolo è apparso dopo il primo suono o dopo il secondo. Alla risposta del paziente seguirà un terzo segnale acustico che fungerà da feedback: si tratterà di un suono grave nel caso di una risposta corretta o di un suono acuto nel caso di una risposta errata.

Come anticipato, la difficoltà del compito si modifica nel corso dello stesso a seconda delle risposte fornite dal paziente attraverso una procedura adattiva chiamata “*staircase 3-down 1-up*”: il contrasto di Michelson degli stimoli è impostato inizialmente a 0.99, ma diminuisce ogni tre risposte consecutive corrette e aumenta ad ogni risposta errata (Casco et al., 2018).

Al termine dell’esercizio il software calcola in automatico quattro soglie di contrasto, una per ogni posizione dello stimolo *gabor*, ed invia i dati al laboratorio NeuroVis.U.S. affinché vengano analizzati. Quando le soglie del paziente in una delle due posizioni target raggiungono valori inferiori a 0.2 (contrasto di Michelson) e si mantengono tali per tre o quattro settimane, il programma viene aggiornato e lo stimolo viene spostato di 1° verso il campo visivo cieco, così che il training risulti più complesso e, auspicabilmente, allenante.

Per tenerlo aggiornato sull’andamento del training e per fornirgli gli eventuali aggiornamenti del software, al paziente viene inviato un feedback settimanale.

Come precedentemente accennato, il protocollo (Casco et al., 2018) consiglia lo svolgimento di tre o quattro sessioni di allenamento alla settimana.

Una sessione di allenamento giornaliera comprende l’esecuzione di tre esercizi, due dei quali da eseguire nella condizione statico e uno da eseguire nella condizione movimento o nella condizione *flicker* a giorni alterni. Per quanto riguarda la condizione statico, è previsto che l’orientazione dello stimolo *gabor* cambi ad ogni sessione giornaliera: il primo giorno i due esercizi vengono eseguiti entrambi con un’orientazione di 0°, il secondo giorno con un’orientazione di 90°, il terzo giorno con un’orientazione di 135° e

il quarto giorno con un'orientazione di 45° (secondo lo schema riportato nella Tabella 3.1).

	ESERCIZIO 1	ESERCIZIO 2	ESERCIZIO 3
GIORNO 1	Statico - 0°	Statico - 0°	Movimento - 0°
GIORNO 2	Statico - 90°	Statico - 90°	Flicker - 0°
GIORNO 3	Statico - 135°	Statico - 135°	Movimento - 0°
GIORNO 4	Statico - 45°	Statico - 45°	Flicker - 0°

Tabella 3.1 Schema di riferimento per lo svolgimento delle sessioni di allenamento.

Dagli studi condotti dalla professoressa Casco e colleghi, lo svolgimento del training NRT per diversi mesi sembrerebbe portare ad un miglioramento delle soglie di sensibilità al contrasto tra la valutazione iniziale e la valutazione finale per gli stimoli *gabor* target e per quello collocato nel campo visivo cieco e ad un ampliamento del campo visivo vedente di qualche grado.

Gli studi hanno inoltre evidenziato un miglioramento dell'acuità visiva periferica SLOAN tra valutazione iniziale e valutazione finale e anche un miglioramento dell'accuratezza e della consapevolezza nello svolgimento di compiti di *blindsight* (Casco et al., 2018).

Questi risultati, riscontrati quindi in diverse tipologie di test funzionali svolti con stimoli anche differenti rispetto a quelli utilizzati nel corso del training, sembrerebbero suggerire il fatto che il protocollo NRT e l'utilizzo di filtri *gabor* presentati in diverse modalità possano portare ad una maggiore generalizzazione dei risultati rispetto a quella derivante da altri studi precedenti (come, ad esempio, quelli di Sabel e colleghi e di Huxlin e colleghi).

Tuttavia, il mondo al di fuori del laboratorio o di uno schermo del computer è caratterizzato da stimoli molto più complessi e ricchi di informazioni, per la percezione dei quali i miglioramenti portati dal protocollo NRT potrebbero non essere ancora sufficienti.

CAPITOLO 4: RISULTATI

Verranno ora presentati singolarmente i risultati ottenuti dai due pazienti ai test funzionali svolti presso il laboratorio NeuroVis.U.S. nel corso della valutazione iniziale e verranno confrontati con quelli ottenuti in sede di valutazione finale, svolta al termine del percorso di riabilitazione visiva neurocomportamentale NRT.

Verrà inoltre riportato quanto riferito soggettivamente dai pazienti in merito ad eventuali cambiamenti riscontrati nella vita quotidiana rispetto al periodo pre-training.

4.1 Pre- e post-test: paziente A

Come anticipato al paragrafo 3.1.1, la paziente A si è allenata con training NRT da maggio 2023 a maggio 2024 svolgendo in media meno di tre sessioni di allenamento alla settimana.

Si riporta di seguito il confronto tra i risultati ottenuti dalla paziente ai test eseguiti in data 08/03/2023 nel corso della valutazione iniziale e quelli ottenuti in data 07/05/2024 durante la valutazione finale.

Per quanto riguarda la perimetria Rarebit binoculare (paragrafo 3.2.1), nei due quadranti dell'emicampo visivo destro, ovvero quello non compromesso, l'ottima performance ottenuta in sede di pre-test è stata effettivamente replicata anche al post-test. Osservando i risultati riferiti all'emicampo visivo sinistro, vale a dire quello compromesso, è invece possibile notare che nel quadrante superiore si è registrato un lieve miglioramento della performance nella valutazione finale, mentre nel quadrante inferiore si è registrato un altrettanto lieve peggioramento (Tabella 4.1).

Perimetria Rarebit	Left-up	Left-down	Right-up	Right-down
Pre-test 08/03/2023	12%	3%	100%	100%
Post-test 07/05/2024	17%	0%	98%	100%

Tabella 4.1 Confronto tra la perimetria Rarebit pre-training e quella post-training. Si ricorda che i numeri indicano la percentuale di accuratezza delle risposte, che è attesa essere del 100% nei normovedenti.

Dalla perimetria dinamica con controllo TOBII Pro Spectrum (paragrafo 3.2.2) svolta in data 07/05/2024 nel corso della valutazione finale non emergono cambiamenti nell'ampiezza del campo visivo vedente particolarmente evidenti (Grafico 4.1). I margini dello scotoma tracciati tramite l'interpolazione dei punti disposti lungo l'asse verticale risultano infatti pressoché invariati rispetto a quelli della valutazione iniziale (08/03/2023).

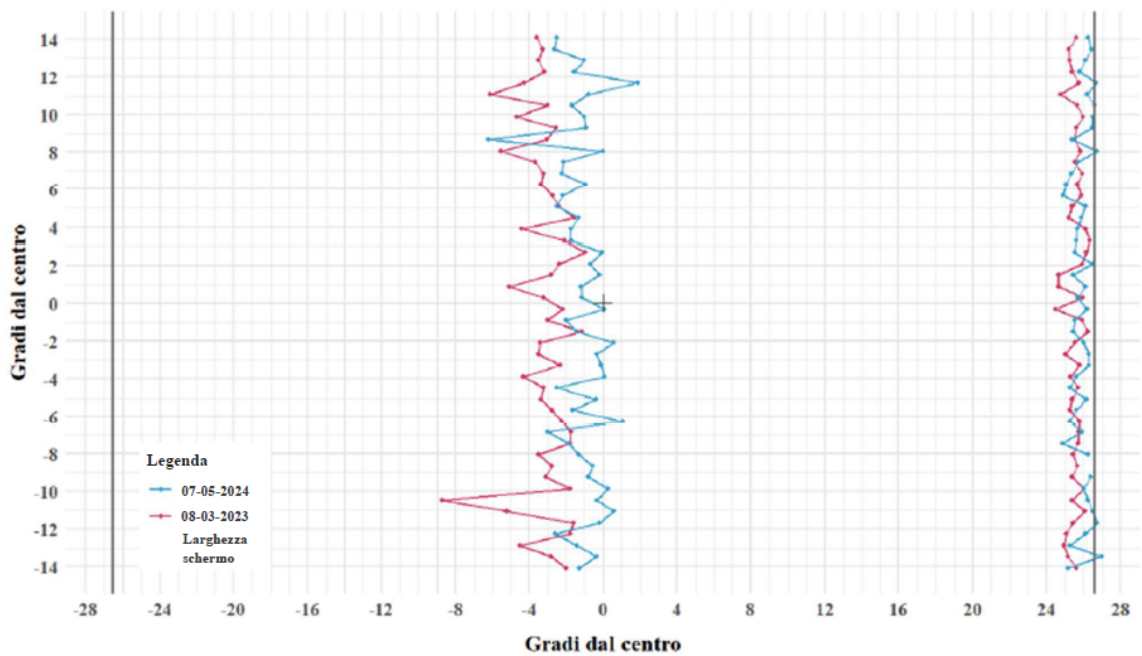


Grafico 4.1 Confronto tra la perimetria dinamica pre-training (linea rossa) e quella post-training (linea azzurra).

Per quanto riguarda il test dell'acuità visiva con singole lettere SLOAN (paragrafo 3.2.3), dal confronto tra i risultati ottenuti nella valutazione finale e quelli ottenuti in quella iniziale è possibile osservare un incremento dell'acuità visiva a 2° e 4° di eccentricità orizzontale nell'emicampo visivo sinistro, ovvero quello cieco. A 6° di eccentricità si può notare una lieve diminuzione dell'acuità visiva, che risulta invece pressoché stabile nell'emicampo visivo destro, quello non compromesso (Tabelle 4.2).

Acuità SLOAN campo visivo cieco	2° (eccentricità)	4° (eccentricità)	6° (eccentricità)
Pre-test 08/03/2023	31.8 arcmin	40 arcmin	34.4 arcmin
Post-test 07/05/2024	13.2 arcmin	23 arcmin	40 arcmin

Acuità SLOAN campo visivo vedente	2° (eccentricità)	4° (eccentricità)	6° (eccentricità)
Pre-test 08/03/2023	2.8 arcmin	2.8 arcmin	5.2 arcmin
Post-test 07/05/2024	2.8 arcmin	4.4 arcmin	4.4 arcmin

Tabella 4.2 Confronto tra l'acuità visiva SLOAN pre-training e quella post-training nel campo visivo cieco (in alto) e in quello vedente (in basso). Si ricorda che più bassi sono i valori, migliore è la performance.

Dal test di riconoscimento di forme geometriche statiche posizionate all'interno del campo visivo cieco (Silhouettes - paragrafo 3.2.4) eseguito in sede di valutazione finale per valutare l'eventuale presenza di *blindsight* non emergono particolari cambiamenti nella percentuale di accuratezza delle risposte rispetto alla valutazione pre-training (Tabella 4.3). In ogni caso in entrambe le occasioni questa risulta comunque leggermente superiore alla percentuale di risposte corrette attribuibile al caso (25%).

Si può invece notare un cambiamento legato alla consapevolezza degli stimoli comparsi, tanto che la paziente A passa dalla percezione di "un flash di luce" ad una "sensazione di forma".

Si specifica che né pre-test né post-test sono stati eseguiti con l'impiego di un dispositivo eye-tracker volto a monitorare i movimenti oculari della paziente.

Silhouettes	Accuratezza	Consapevolezza degli stimoli comparsi
Pre-test 08/03/2023	36%	Flash di luce
Post-test 07/05/2024	32%	Sensazione di forma

Tabella 4.3 Confronto tra il test di riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes) pre-training e quello post-training. Si ricorda che l'accuratezza attesa nei normovedenti è del 100% e che un'accuratezza del 25% è attribuibile al caso.

Per quanto riguarda il compito di detezione di uno stimolo *gabor flicker* (paragrafo 3.2.5), anche questo volto a valutare il fenomeno del *blindsight*, dal pre-training al post-training si osserva una notevole diminuzione sia della percentuale di accuratezza delle risposte sia della percentuale di consapevolezza degli stimoli comparsi (Tabella 4.4). Non essendo stato utilizzato in nessuna delle due occasioni un dispositivo eye-tracker per monitorare i

movimenti oculari della paziente, però, non è possibile determinare con esattezza se l'abbassamento delle percentuali sia dovuto ad un effettivo peggioramento della performance in sede di valutazione finale o ad un più accurato mantenimento dello sguardo sulla croce di fissazione centrale durante l'esecuzione del compito.

Gabor flicker	Accuratezza	Consapevolezza degli stimoli comparsi
Pre-test 08/03/2023	80%	31%
Post-test 07/05/2024	50%	1.8%

Tabella 4.4 Confronto tra il compito di detezione di uno stimolo *gabor flicker* pre-training e quello post-training. Si ricorda che l'accuratezza attesa nei normovedenti è del 100% e che un'accuratezza del 50% è attribuibile al caso.

Nel complesso, dunque, dai test funzionali svolti dalla paziente A nella valutazione finale (07/05/2024) non emergono cambiamenti particolarmente evidenti rispetto alla valutazione iniziale (08/03/2023), se non un miglioramento dell'acuità visiva a 2° e 4° di eccentricità orizzontale.

Anche la paziente riferisce di non aver riscontrato particolari miglioramenti delle funzioni visive a livello soggettivo, ma riporta di avere l'impressione che il protocollo di riabilitazione visiva con training NRT abbia stimolato, insieme ad altri fattori, una ripresa di alcune funzioni esecutive, come l'attenzione sostenuta e la concentrazione.

La paziente riferisce, inoltre, di trovare l'esplorazione degli ambienti circostanti meno faticosa, di urtare meno frequentemente persone e oggetti e di avere meno difficoltà nel vedere la televisione e seguire la trama dei film rispetto a prima di intraprendere il protocollo riabilitativo.

Permangono, invece, le altre difficoltà quotidiane riportate in sede di valutazione iniziale (paragrafo 3.1.1).

4.2 Pre- e post-test: paziente B

Come anticipato al capitolo 3.1.2, il paziente B si è allenato con training NRT da luglio a dicembre 2023, quando ha temporaneamente interrotto il percorso di riabilitazione visiva

a causa del ricovero per l'avvio di un programma di riabilitazione motoria. Ad aprile 2024 ha poi ripreso ad allenarsi fino ad inizio giugno 2024.

Egli è stato costante nello svolgimento delle tre o quattro sessioni di allenamento alla settimana consigliate dal protocollo (Casco et al., 2018).

Si riporta di seguito il confronto tra i risultati ottenuti dal paziente ai test eseguiti in data 03/07/2023 nel corso della valutazione iniziale e quelli ottenuti in data 04/06/2024 in sede di valutazione finale.

Per quanto riguarda la perimetria Rarebit binoculare (3.2.1), i risultati ottenuti dal paziente B durante la valutazione finale sembrano suggerire un ampliamento clinicamente rilevante del campo visivo vedente rispetto alla valutazione iniziale (Tabella 4.5). Nei due quadranti dell'emicampo visivo sinistro è infatti possibile osservare un importante aumento della percentuale di risposte corrette, riscontrabile anche nel resoconto grafico del test (Figura 4.1).

I risultati riferiti all'emicampo visivo destro, ovvero quello non compromesso, restano invece ottimi e pressoché invariati rispetto a quelli della perimetria pre-training.

Perimetria Rarebit	Left-up	Left-down	Right-up	Right-down
Pre-test 03/07/2023	15%	2%	100%	98%
Post-test 04/06/2024	70%	82%	97%	100%

Tabella 4.5 Confronto tra la perimetria Rarebit pre-training e quella post-training. Si ricorda che i numeri indicano la percentuale di accuratezza delle risposte, che è attesa essere del 100% nei normovedenti.

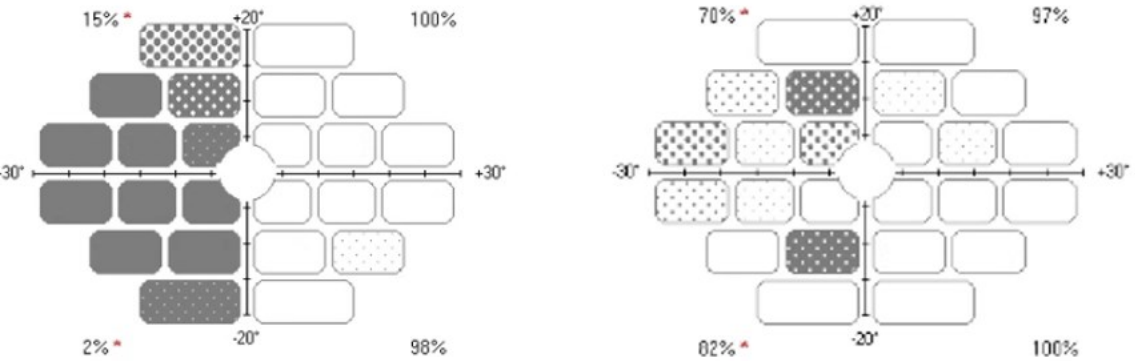


Figura 4.1 Confronto tra la perimetria Rarebit pre-training (sinistra) e quella post-training (destra). Si ricorda che più scuri sono i rettangoli, minore è la percentuale di accuratezza.

Dalla perimetria dinamica con controllo TOBII Pro Spectrum (paragrafo 3.2.2) svolta durante la valutazione finale sembra emergere un evidente spostamento del margine dello scotoma verso sinistra e, quindi, un ampliamento del campo visivo di diversi gradi rispetto alla valutazione pre-training (Grafico 4.2).

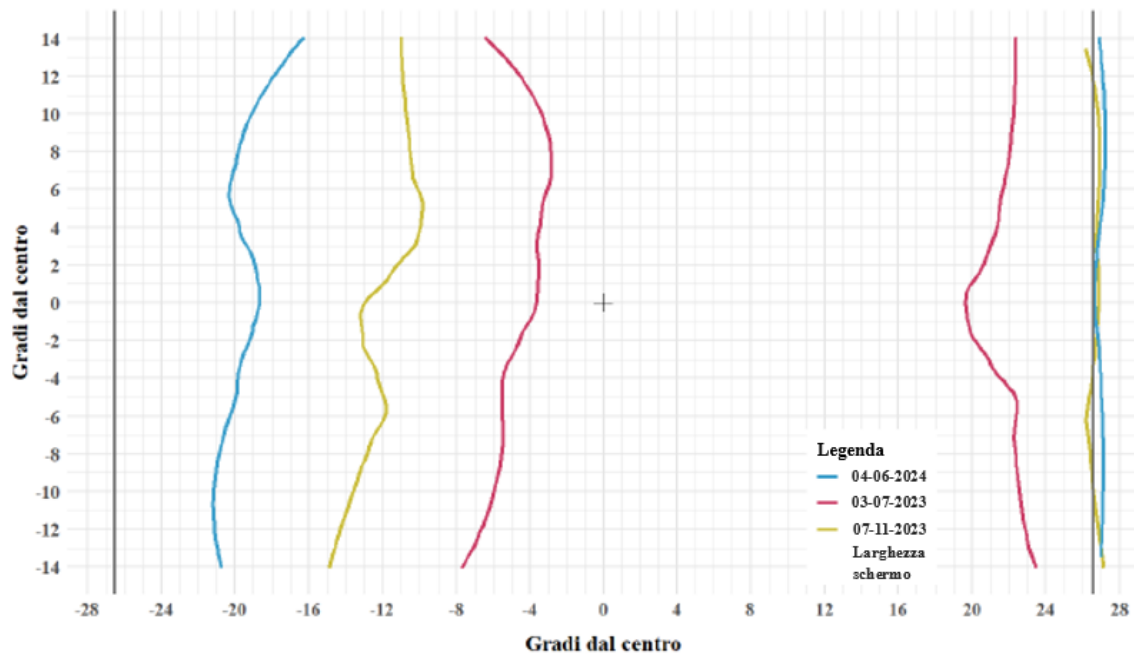


Grafico 4.2 Confronto tra la perimetria dinamica pre-training (linea rossa) e quella post-training (linea azzurra). La linea gialla rappresenta, invece, la valutazione intermedia.

Per quanto concerne il test dell'acuità visiva con singole lettere SLOAN (paragrafo 3.2.3), dal pre-test al post-test sembra esserci stato un incremento dell'acuità visiva nell'emicampo visivo cieco a 6°, 10°, 14° e 16° di eccentricità orizzontale. Nell'emicampo visivo vedente, invece, è possibile osservare una leggera diminuzione dell'acuità visiva a 6°, 10° e 14° di eccentricità (Tabelle 4.6), cosa che potrebbe far pensare che il paziente abbia avuto la tendenza a spostare leggermente lo sguardo dalla croce di fissazione centrale durante lo svolgimento del test.

Acuità SLOAN campo visivo cieco	6° (eccentricità)	10° (eccentricità)	14° (eccentricità)	16° (eccentricità)
Pre-test 03/07/2023	10.8 arcmin	17.4 arcmin	40 arcmin	40 arcmin
Post-test 04/06/2024	6.8 arcmin	4.4 arcmin	14.8 arcmin	6 arcmin

Acuità SLOAN campo visivo vedente	6° (eccentricità)	10° (eccentricità)	14° (eccentricità)	16° (eccentricità)
Pre-test 03/07/2023	6.4 arcmin	6 arcmin	6.8 arcmin	26.6 arcmin
Post-test 04/06/2024	9.2 arcmin	14.8 arcmin	17.4 arcmin	9.2 arcmin

Tabella 4.6 Confronto tra l'acuità visiva SLOAN pre-training e quella post-training nel campo visivo cieco (in alto) e nel campo visivo vedente (in basso). Si ricorda che più bassi sono i valori, migliore è la performance.

Dal test di riconoscimento di forme geometriche statiche posizionate completamente all'interno del campo visivo compromesso (Silhouettes - paragrafo 3.2.4) eseguito durante la valutazione finale per valutare il fenomeno del *blindsight* è possibile notare un aumento della percentuale di accuratezza delle risposte (Tabella 4.7), che già in sede di valutazione iniziale risultava comunque ampiamente superiore a quella attribuibile al caso (25%). In particolare, nel test post-training l'accuratezza raggiunge quasi la percentuale attesa nei normovedenti (100%).

Per quanto riguarda la consapevolezza degli stimoli comparsi, il paziente B passa dal percepire “contorni sfuocati” al percepire “quasi tutta la figura”.

Come per la paziente A, anche in questo caso è necessario precisare che sia il pre-test sia il post-test sono stati eseguiti senza l'impiego di un dispositivo eye-tracker e che, quindi, è doveroso essere cauti nell'attribuire il miglioramento della performance ad un effettivo potenziamento del fenomeno del *blindsight* o ad un importante ampliamento del campo visivo vedente.

Silhouettes	Accuratezza	Consapevolezza degli stimoli comparsi
Pre-test 03/07/2023	66%	Contorni sfuocati
Post-test 04/06/2024	92%	Quasi tutta la figura

Tabella 4.7 Confronto tra il test di riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes) pre-training e quello post-training. Si ricorda che l'accuratezza attesa nei normovedenti è del 100% e che un'accuratezza del 25% è attribuibile al caso.

Per quanto riguarda il compito di detezione di uno stimolo *gabor flicker* posto completamente nel campo visivo cieco (paragrafo 3.2.5), anche questo volto a valutare

l'eventuale presenza di *blindsight*, i risultati ottenuti al post-test evidenziano un aumento sia della percentuale di accuratezza delle risposte sia di quella di consapevolezza dello stimolo (Tabella 4.8). Anche in questo caso la percentuale di accuratezza, già ampiamente superiore a quella attribuibile al caso (50%) in sede di valutazione iniziale, nella valutazione finale sfiora quella attesa nei normovedenti (100%).

Si specifica che né pre-test né post-test sono stati eseguiti con l'impiego di un dispositivo eye-tracker.

Gabor flicker	Accuratezza	Consapevolezza degli stimoli comparsi
Pre-test 03/07/2023	80%	40%
Post-test 04/06/2024	98.3%	90%

Tabella 4.8 Confronto tra il compito di detezione di uno stimolo *gabor flicker* pre-training e quello post-training. Si ricorda che l'accuratezza attesa nei normovedenti è del 100% e che un'accuratezza del 50% è attribuibile al caso.

Nel complesso, dai risultati ottenuti dal paziente B ai test funzionali svolti in sede di valutazione finale (04/06/2024) emergono miglioramenti clinicamente rilevanti rispetto a quelli svolti in sede di valutazione iniziale (03/07/2023). In particolare, è possibile osservare un ampliamento del campo visivo vedente, un incremento dell'acuità visiva nell'emicampo visivo sinistro a 6°, 10°, 14° e 16° di eccentricità ed un miglioramento di prestazione e consapevolezza nei compiti di riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes) e di detezione di uno stimolo *gabor flicker*, volti a valutare il fenomeno del *blindsight*.

A livello soggettivo, il paziente riporta un miglioramento della sensibilità nell'emicampo visivo sinistro ed una migliore capacità di esplorazione e movimento nello spazio rispetto a prima di intraprendere il percorso di riabilitazione visiva con training NRT. Egli riferisce, inoltre, di urtare meno frequentemente persone e oggetti, di non avere più difficoltà ad attraversare la strada al semaforo e di essere in grado di percepire il bordo dello schermo del computer a 0.57 m di distanza dallo stesso ed i montanti del parabrezza dell'automobile, a differenza che nel periodo pre-training.

CAPITOLO 5: DISCUSSIONE DEI RISULTATI ED IMPLICAZIONI

5.1 Discussione dei risultati

Dopo aver analizzato e confrontato singolarmente i risultati ottenuti dalla paziente A e dal paziente B nelle rispettive valutazioni iniziale e finale, quest'ultima svolta al termine del percorso di riabilitazione visiva neurocomportamentale NRT, è ora possibile procedere al confronto tra i due casi clinici al fine di rilevare eventuali differenze negli esiti del trattamento riabilitativo.

Per quanto riguarda il campo visivo dei due pazienti, esaminato tramite la perimetria Rarebit, sembrerebbe che il paziente B abbia ottenuto un maggior beneficio dal training NRT. Nel suo caso, infatti, nel quadrante superiore dell'emicampo visivo sinistro è possibile notare un aumento del 55% dell'accuratezza delle risposte, mentre nel quadrante inferiore addirittura dell'80%. Nella paziente A, che in sede di valutazione iniziale aveva ottenuto dei risultati simili a quelli del paziente B, si può invece riscontrare un aumento del 5% nel quadrante superiore e un decremento del 3% in quello inferiore. Questi risultati sembrerebbero essere rispecchiati anche dai resoconti soggettivi dei due pazienti (paragrafo 4.1 e 4.2), ma è opportuno tenere in considerazione il fatto che le perimetrie sono state svolte senza l'utilizzo di un dispositivo eye-tracker, motivo per cui i pazienti potrebbero aver leggermente spostato lo sguardo dalla croce di fissazione durante l'esecuzione dei test e averne reso meno attendibili, anche involontariamente, i risultati. Sono invece state eseguite con l'ausilio di un eye-tracker (TOBII Pro Spectrum) le perimetrie dinamiche, i cui risultati sembrano essere compatibili con quanto rilevato dalle perimetrie Rarebit. Anche in questo caso, infatti, nella paziente A non emerge un ampliamento del campo visivo vedente clinicamente rilevante, mentre nel paziente B è possibile osservare già in fase di valutazione intermedia uno spostamento dei margini dello scotoma verso sinistra, spostamento che risulta ulteriormente accentuato in fase di valutazione finale. In base a quanto emerso dai test, dunque, il paziente B dovrebbe aver beneficiato di un ampliamento del campo visivo vedente di diversi gradi.

Dal confronto tra i test dell'acuità visiva con singole lettere SLOAN sembra emergere in entrambi i pazienti un incremento dell'acuità nell'emicampo visivo sinistro. In particolare, la paziente A ha ottenuto un miglioramento della performance a 2° e 4° di eccentricità, mentre il paziente B lo ha ottenuto anche a 6°, 10°, 14° e 16° di eccentricità. Per quanto riguarda il test di riconoscimento di forme geometriche statiche (Silhouettes) presentate all'interno del campo visivo cieco, il paziente B sembrerebbe nuovamente aver ricevuto maggior beneficio dal percorso riabilitativo, con un'accuratezza delle risposte aumentata del 26% e vicina a quella dei normovedenti ed una percezione delle figure più definita, quasi completa, rispetto alla valutazione iniziale. Nella paziente A è invece possibile notare una diminuzione del 4% della percentuale di accuratezza, ma un miglioramento nella consapevolezza degli stimoli comparsi, che in sede di valutazione iniziale venivano percepiti esclusivamente come un "flash di luce", mentre nella valutazione finale ne viene percepita vagamente anche la forma.

Simile è ciò che emerge anche dal confronto tra i compiti di detezione di uno stimolo *gabor flicker* posto nel campo visivo emianoptico: nel paziente B si è verificato un incremento della percentuale di accuratezza del 18.3% ed uno di quella di consapevolezza dello stimolo del 50%, mentre nella paziente A è possibile riscontrare un decremento dell'accuratezza del 30% e della consapevolezza del 29.2%.

Come spiegato ai paragrafi 3.2.4 e 3.2.5, gli ultimi due test nominati sono volti ad indagare il fenomeno del *blindsight*. Osservando i risultati ottenuti dai due pazienti, non è possibile escludere che nella paziente A sia presente questo fenomeno, in quanto la percentuale di accuratezza delle risposte è superiore in entrambi i test a quella del 25%, attribuibile al caso, ed è accompagnata da una consapevolezza molto ridotta della comparsa degli stimoli. Nel paziente B, invece, non si osserva questa dissociazione accuratezza/consapevolezza: l'alta percentuale di accuratezza è infatti accompagnata anche da una consapevolezza molto elevata. In questo caso è possibile che le ottime performance del paziente B, ottenute soprattutto in fase di valutazione finale, siano legate ad una funzionalità visiva residua e all'ampliamento del campo visivo vedente, piuttosto che al fenomeno del *blindsight*.

Confrontando i due casi clinici, dunque, nel complesso il paziente B sembrerebbe aver ottenuto maggiori benefici dallo svolgimento del percorso riabilitativo con training NRT,

conseguendo dei miglioramenti clinicamente rilevanti sia nell'ampiezza del campo visivo sia nell'acuità visiva e nella consapevolezza della presenza di stimoli nell'emicampo visivo sinistro.

Al contrario, la paziente A sembrerebbe aver ottenuto dei miglioramenti solo in relazione all'acuità visiva, e comunque più limitati rispetto al paziente B.

I risultati osservati sembrerebbero essere compatibili, dunque, con le ipotesi formulate inizialmente sul ruolo dell'aderenza al trattamento e della sede della lesione nel recupero dell'emianopsia omonima.

In particolare, in base a quanto emerso si potrebbe ipotizzare che una maggiore costanza nello svolgimento delle tre o quattro sessioni di allenamento settimanali consigliate dal protocollo (Casco et al., 2018) possa contribuire a massimizzare i benefici portati dal training e che, al tempo stesso, un'emorragia cerebrale dovuta alla rottura di una MAV in territorio di arteria cerebrale media lasci spazio a maggiori possibilità di riorganizzazione funzionale delle connessioni sinaptiche preservate e di recupero delle funzioni esecutive implicate nello svolgimento degli esercizi di riabilitazione visiva. Al contrario, una minore aderenza al trattamento ed una triplice emorragia talamo-capsulare dovuta ad un angioma cavernoso potrebbero rendere il quadro clinico meno favorevole al recupero dell'emianopsia.

Come premesso al termine del capitolo 2, non è comunque possibile attribuire la differenza negli *outcome* della riabilitazione visiva neurocomportamentale ad una delle due variabili in modo esclusivo, così come non è possibile escludere che altre variabili non tenute in considerazione nel presente elaborato abbiano avuto invece un ruolo nella determinazione degli esiti del trattamento.

Si ribadisce, dunque, che il confronto proposto ha scopo puramente descrittivo ed intende fornire uno spunto per eventuali approfondimenti futuri con campioni di soggetti più numerosi e disegni più adatti alla verifica delle ipotesi.

5.2 Implicazioni psicologiche

Nel caso in cui in futuro le ipotesi formulate nel presente elaborato dovessero essere verificate, queste porterebbero con loro diverse implicazioni di tipo psicologico.

Innanzitutto, se venisse confermato il ruolo della sede della lesione nel recupero dell'emianopsia sarebbe possibile fornire ad ogni paziente delle informazioni più accurate e specifiche circa le possibilità di recupero in base al quadro clinico individuale, evitando sia che il paziente formuli delle aspettative irrealistiche sia che intraprenda il percorso con una scarsa fiducia nei confronti dello stesso. Nel primo caso, infatti, non osservare i benefici immaginati potrebbe generare nel paziente frustrazione e demotivazione, che a loro volta rischierebbero di compromettere ulteriormente l'*outcome* riabilitativo. Nel secondo caso, invece, il paziente potrebbe sentirsi poco motivato a svolgere il training e, di conseguenza, allenarsi in modo meno costante e preciso.

Per quanto riguarda l'ipotesi relativa all'aderenza al trattamento, se venisse verificata sarebbe possibile rendere il paziente ancora più consapevole del proprio ruolo nella determinazione degli esiti della riabilitazione visiva, cosa che potrebbe aumentare il suo senso di autoefficacia e renderlo effettivamente più motivato e costante nello svolgimento delle sessioni di allenamento consigliate. Allo stesso tempo, sarebbe comunque necessario non responsabilizzare eccessivamente il paziente, così da evitare che egli attribuisca alle proprie condotte la totale responsabilità di un eventuale *outcome* negativo.

5.3 Implicazioni sociali

Oltre alle possibili implicazioni sul piano psicologico, l'eventuale verifica delle ipotesi formulate, in particolare di quella relativa all'aderenza al trattamento, porterebbe con sé anche alcune implicazioni di tipo sociale.

Un buon grado di recupero in seguito allo svolgimento del training potrebbe infatti restituire al paziente, almeno in parte, l'autonomia e l'indipendenza precedentemente fortemente limitate dall'insorgenza dell'emianopsia. Egli potrebbe essere in grado, quindi, di tornare a svolgere alcune attività quotidiane la cui messa in atto era diventata particolarmente difficoltosa e potrebbe ridurre la propria dipendenza dall'assistenza di familiari ed enti sanitari.

Infine, grazie agli eventuali benefici portati dal training, al paziente potrebbe risultare più semplice mantenere il proprio ruolo all'interno del contesto sociale e lavorativo/scolastico in cui è inserito, o recuperarlo nel caso in cui le difficoltà legate al deficit visivo non gli avessero permesso di conservarlo.

5.4 Conclusioni

Per concludere, vista la compatibilità delle ipotesi formulate ed esposte nel presente elaborato con i risultati emersi dal confronto tra i due casi clinici presi in esame, potrebbe risultare utile approfondire ulteriormente il ruolo delle variabili considerate come potenziali fattori prognostici del recupero dell'emianopsia omonima. Una più ampia conoscenza di tali fattori potrebbe infatti consentire di fornire ai pazienti informazioni più accurate ed individualizzate in merito alle possibilità di recupero e, al tempo stesso, potrebbe consentire di individuare le condizioni ottimali per la massimizzazione dei benefici del training NRT in base alle specifiche prospettive di recupero di ogni paziente.

È infine doveroso riconoscere esplicitamente i limiti del presente elaborato. In primo luogo, il confronto si basa su soli due casi clinici, un numero evidentemente insufficiente per trarre conclusioni generalizzabili. In secondo luogo, i due pazienti differiscono simultaneamente per più variabili – sede della lesione, aderenza al trattamento, durata effettiva del training, presenza di comorbidità cognitive – rendendo impossibile isolare il contributo di ciascuna agli esiti osservati. In terzo luogo, alcuni test funzionali sono stati condotti senza eye-tracker, limitando l'attendibilità di specifici risultati.

Chi scrive è pienamente consapevole di questi limiti. L'obiettivo del presente lavoro non era dimostrare relazioni causali con certezza, bensì osservare e descrivere come variabili teoricamente rilevanti si manifestino concretamente in due percorsi riabilitativi reali, seppur diversi tra loro per molteplici aspetti.

Del resto, la scienza procede per gradi: l'osservazione sistematica precede la formulazione di ipotesi, e queste ultime devono poi essere sottoposte a verifica attraverso studi sperimentali rigorosi, con campioni più ampi, variabili controllate e disegni longitudinali adeguati. In questo senso, il presente elaborato intende proporsi come un primo sguardo esplorativo sul tema, uno spunto narrativo che possa motivare e orientare ricerche future più strutturate.

Osservare pazienti diversi – anche quando differiscono per più fattori contemporaneamente – permette di cogliere la complessità reale della clinica, che raramente si presta a condizioni sperimentali ideali. È proprio da questa complessità che nascono le domande più interessanti per la ricerca.

BIBLIOGRAFIA

- Ajina, S., Pestilli, F., Rokem, A., Kennard, C., & Bridge, H. (2015). Human blindsight is mediated by an intact geniculo-extrastriate pathway. *Elife*, 4, e08935.
- Atkinson, R. L., Hilgard, E. R., & Nolen-Hoeksema, S. (2014). *Atkinson & Hilgard's Introduzione alla psicologia* (16. ed. americana; presentazione dell'edizione italiana di Cesare Cornoldi; traduzione italiana aggiornata sulla 16. edizione di lingua inglese a cura di Chiara Mirandola). Piccin.
- Bear, M., Connors, B., & Paradiso, M. (2016, June). *Neuroscienze: Esplorando il cervello-Quarta Edizione*. Edra.
- Borghetti, D. (2020). Emianopsia omonima: cosa è, come si cura. Disponibile presso: <https://www.davideborghetti.it/2020/09/emianopsia-omonima-cosa-e-come-si-cura/>
- Bulboaca, A. (2019). Homonymous hemianopsia versus unilateral spatial neglect rehabilitation strategies in stroke patients. *Balneo Research Journal*.
- Casco, C., Barollo, M., Contemori, G., & Battaglini, L. (2018). Neural restoration training improves visual functions and expands visual field of patients with homonymous visual field defects. *Restorative neurology and neuroscience*, 36(2), 275-291.
- Cornsweet, T. (2012). *Visual perception*. Academic press.
- Cowey, A. (2010). The blindsight saga. *Experimental brain research*, 200(1), 3-24.
- Dumitrache, M., Lascu, R., & Burcea, M. (2025). Hemianopsia. *Ophthalmol Res*, 8(1), 1-6.
- Goodwin, D. (2014). Homonymous hemianopia: challenges and solutions. *Clinical Ophthalmology*, 1919-1927.
- Grunda, T., Marsalek, P., & Sykorova, P. (2013). Homonymous hemianopia and related visual defects: Restoration of vision after a stroke. *Acta neurobiologiae experimentalis*, 73(2), 237-249.
- Halbertsma, H. (2022). Towards the right way of seeing what is left in Homonymous Hemianopia. [Thesis fully internal (DIV), University of Groningen]. University of Groningen.
- Horton, J. C. (2005). Disappointing results from Nova Vision's visual restoration therapy. *British Journal of Ophthalmology*, 89(1), 1-2.

- Huxlin, K. R., Martin, T., Kelly, K., Riley, M., Friedman, D. I., Burgin, W. S., & Hayhoe, M. (2009). Perceptual relearning of complex visual motion after V1 damage in humans. *The Journal of Neuroscience*, 29(13), 3981-3991.
- Kasten, E., Wüst, S., Behrens-Baumann, W., & Sabel, B. A. (1998). Computer-based training for the treatment of partial blindness. *Nature medicine*, 4(9), 1083-1087.
- Kniestedt, C., & Stamper, R. L. (2003). Visual acuity and its measurement. *Ophthalmology Clinics of North America*, 16(2), 155-70.
- Papageorgiou, E., Hardiess, G., Schaeffel, F., Wiethoelter, H., Karnath, H. O., Mallot, H., ... & Schiefer, U. (2007). Assessment of vision-related quality of life in patients with homonymous visual field defects. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245(12), 1749-1758.
- Payne, B. R., & Lomber, S. G. (2002). Plasticity of the visual cortex after injury: what's different about the young brain?. *The Neuroscientist*, 8(2), 174-185.
- Perez, C., & Chokron, S. (2014). Rehabilitation of homonymous hemianopia: insight into blindsight. *Frontiers in integrative neuroscience*, 8, 82.
- Ruddy, J., Asuncion, R. M. D., & Cardenas, A. C. (2024). Hemianopsia. In *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
- Tinelli, F., Cioni, G., & Purpura, G. (2017). Development and implementation of a new telerehabilitation system for audiovisual stimulation training in hemianopia. *Frontiers in Neurology*, 8, 621.
- Wolfe, J. M., Kluender, K. R., Levi, D. M., Bartoshuk, L. M., Herz, R. S., Klatzky, R. L., ... & Merfeld, D. M. (2006). *Sensation & perception* (pp. 242-245). Sunderland, MA: Sinauer.
- Zhang, X., Kedar, S., Lynn, M. J., Newman, N. J., & Biousse, V. (2006). Natural history of homonymous hemianopia. *Neurology*, 66(6), 901-905.
- Zihl, J., Kentridge, R. W., Pargent, F., & Heywood, C. A. (2021). Aging and the rehabilitation of homonymous hemianopia: The efficacy of compensatory eye-movement training techniques and a five-year follow up. *Aging Brain*, 1, 100012.