



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione

**Corso di Laurea in Scienze Psicologiche dello Sviluppo, della Personalità e delle
Relazioni Interpersonali**

Tesi di Laurea triennale

Dinamiche dell'attenzione visuo-spaziale in seguito a callosotomia parziale e totale

Processing dynamics of visuospatial attention following partial and complete
callosotomy

Relatore:

Prof. Roberto Dell'Acqua

Laureando: Leonardo Giora

Matricola: 1220689

Anno accademico: 2021/2022

Indice

Introduzione.....	3
1. Introduzione al corpo calloso e alla callosotomia.....	4
1.1 Corpo calloso: struttura e funzioni.....	4
1.2 La callosotomia nel trattamento dell'epilessia: efficacia ed esiti.....	8
2. Introduzione all'attenzione visuo-spaziale.....	9
2.1 Attenzione visuo-spaziale: una definizione.....	9
2.2 Paradigmi utilizzati nella ricerca sull'attenzione visuo-spaziale.....	10
2.3 Networks cerebrali coinvolti nell'attenzione visuo-spaziale.....	13
3. Dinamiche dell'attenzione visuo-spaziale in seguito a callosotomia parziale e totale.....	15
3.1 Attenzione visuo-spaziale nei pazienti callosotomizzati: sistema unitario o diviso?.....	15
3.2 Spostare l'attenzione attraverso il meridiano verticale.....	27
3.3 Bias attentivo nei pazienti callosotomizzati.....	32
4. Conclusioni.....	36
Bibliografia.....	38

Introduzione

La callosotomia è una tecnica chirurgica utilizzata come palliativo in quei pazienti affetti da crisi epilettiche non trattabili con un intervento farmacologico o con una resezione chirurgica focale.

Tale intervento, sezionando in misura variabile il corpo calloso, è in grado di impedire la diffusione delle scariche epilettiche da un emisfero cerebrale all'altro, limitando di fatto la gravità della sintomatologia e migliorando dunque il benessere psicofisico del paziente.

Nonostante l'intervento vada a recidere la più grande commessura cerebrale, è ritenuto generalmente sicuro ed efficace, mostrando una bassa occorrenza di complicanze, soprattutto grazie alle recenti innovazioni tecniche e procedurali.

Se è vero che il trattamento non comporta conseguenze clinicamente gravi, è anche vero che persiste tutt'oggi un acceso dibattito sulle possibili conseguenze neuropsicologiche di tale operazione, soprattutto per quanto riguarda l'insorgenza, a breve e a lungo termine, di sintomatologie assimilabili allo spettro della sindrome da disconnessione, una condizione talvolta velata che rischia di sfuggire a una valutazione prettamente neurologica.

Uno dei processi presumibilmente compromesso a seguito della callosotomia, sia parziale che totale, risulta essere l'attenzione visuo-spaziale selettiva.

La seguente trattazione costituisce una disamina della letteratura psicologica e neurologica riguardante le dinamiche sottese all'allocazione delle risorse attentive nel dominio visuo-spaziale osservate in pazienti trattati con la callosotomia parziale o totale.

1. Introduzione al corpo calloso e alla callosotomia

1.1 Corpo calloso: struttura e funzioni

Il corpo calloso costituisce la commessura cerebrale più ampia che interconnette anatomicamente e funzionalmente i due distinti emisferi cerebrali, realizzando pertanto l'istmo privilegiato attraverso il quale la maggior parte dell'informazione neuronale viene convogliata da un emisfero cerebrale all'altro.

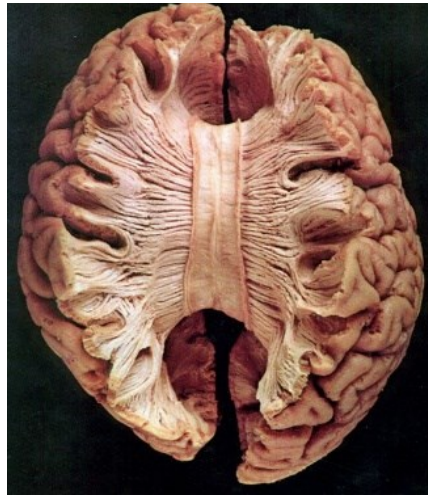


Figura 1a. Corpo calloso reso evidente allontanando i due emisferi cerebrali.

La quasi totalità delle aree corticali, infatti, si appoggia direttamente al corpo calloso per la comunicazione interemisferica.

La densità delle connessioni callosali è tuttavia non uniforme, ovvero, non tutte le aree corticali partecipano nella stessa misura alla connettività callosale. Ad esempio, i lobi occipitali mostrano assenza o scarsità di proiezioni callosali, mentre le aree corticali che invece rappresentano la linea mediana del corpo hanno la densità più elevata di connessioni mediante il corpo calloso, verosimilmente per il grado di coordinazione interemisferica richiesto per i movimenti nello spazio centrale.

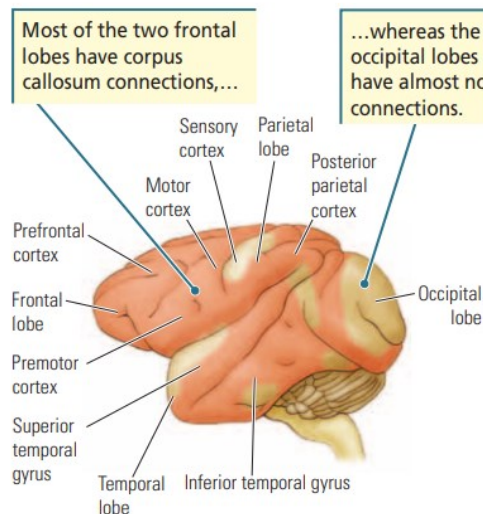
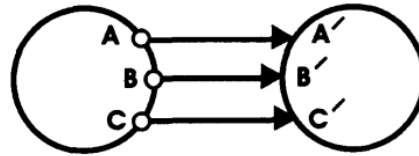


Figura 1b. Rappresentazione delle densità di connessioni callosali delle varie aree corticali tratta dalla scimmia Rhesus. Fonte: Fundamentals Of Human Neuropsychology, B. Kolb and I. Q. Whishaw.

Da un punto di vista anatomico, si è soliti distinguere tra due tipi di connessioni callosali. Un tipo di connessione, detta omotopica, è costituita da fasci di fibre callosali che connettono specifiche aree corticali di un emisfero con le relative aree anatomicamente omologhe dell'altro emisfero cerebrale, lasciando presumere che le aree siano anche connesse funzionalmente (figura 1c). È opportuno specificare che alcune zone che proiettano intra-emisfericamente verso altre zone corticali ipsilaterali sono caratterizzate dalle medesime connessioni con zone omologhe dell'emisfero controlaterale. Ad esempio, l'area occipitale V1, normalmente comunicante con l'area V2 ipsilaterale, mantiene connessioni anche con l'area V2 controlaterale.

Un altro tipo di connessione, detta eterotopica, connette reciprocamente differenti aree dei due emisferi cerebrali (figura 1c).

A. Homotopic



B. Heterotopic

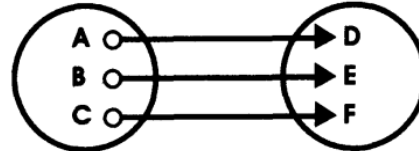


Figura 1c. Illustrazione schematica dei tipi di connettività callosale. Fonte: Epilepsy and the Corpus Callosum 2, Reeves & Roberts (1995).

Anatomicamente il corpo calloso è suddivisibile in diverse porzioni, la cui topografia segue in distribuzione la mappatura corticale in direzione fronto-occipitale. Così, ad esempio, il ginocchio del corpo calloso, posto in posizione anteriore, realizza il ponte interemisferico tra le cortecce prefrontali, mentre lo splenio media le connessioni di aree corticali più occipitali.

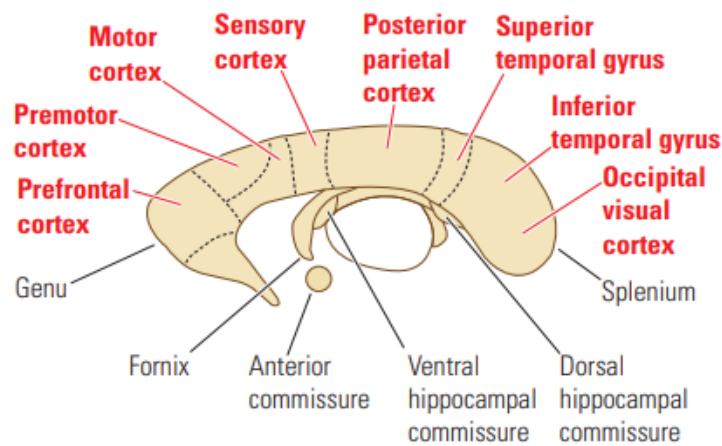


Figura 1d. Fonte: Fundamentals Of Human Neuropsychology, B. Kolb end I. Q. Whishaw.

Il corpo calloso può essere compromesso da varie lesioni, tumori ed eventi vascolari, può essere altresì assente congenitamente in misura variabile (agenesia del corpo calloso) o venire sezionato appositamente per trattare a fini palliativi alcuni tipi di epilessia farmacoresistenti.

La resezione del corpo calloso può comportare l'insorgenza di una serie di sintomi e disturbi, molti dei quali generalmente collocabili nello spettro della sindrome da disconnessione.¹

Con sindrome da disconnessione si intende generalmente un insieme di sintomi neurologici e comportamentali causati da lesioni ai fasci assonali che costituiscono le principali vie di comunicazione cerebrale. Tale condizione può dunque emergere da lesioni alle fibre associative o commessurali e consiste in una segregazione anatomica delle regioni cerebrali la cui connessione reciproca è stata interrotta.

Michael Gazzaniga ha ampiamente studiato questa serie di fenomeni nei soggetti callosotomizzati. Alcuni pazienti erano in grado di riconoscere un oggetto quando questo veniva posto nella mano sinistra, ma non erano invece in grado di nominarlo o descriverlo, condizione chiamata a posteriori anomia tattile unilaterale sinistra.

Questo fenomeno risulta essere la conseguenza della disconnessione funzionale dei due emisferi cerebrali, in particolare della resezione delle aree callosali deputate al trasferimento interemisferico dell'informazione linguistica. Essendo la produzione linguistica una funzione generalmente lateralizzata nell'emisfero sinistro, l'informazione tattile recepita dalla mano sinistra rimane segregata nell'emisfero destro e non può essere dunque elaborata linguisticamente (e pertanto espressa).

Allo stesso modo, i pazienti esaminati da Gazzaniga non erano in grado di leggere ciò che veniva loro presentato tachistoscopicamente nell'emisfero sinistro o di scrivere con la mano sinistra (rispettivamente alessia unilaterale sinistra e agrafia unilaterale sinistra).

Questa collezione di sintomi è considerata parte dello spettro della sindrome da disconnessione.

Similmente, il corpo calloso risulta cruciale per l'integrazione dell'informazione attentiva; in particolare, le regioni posteriori, comprendenti soprattutto lo splenio, sono responsabili dell'interazione interemisferica delle due omologhe zone parietali implicate nel controllo attentivo.

¹ Alcuni sintomi appartenenti alla sindrome da disconnessione sono spiegabili tenendo in considerazione la peculiare configurazione decussata del sistema sensoriale e motorio, nonché la natura lateralizzata di molte funzioni cognitive, quali ad esempio il linguaggio.

1.2 La callosotomia nel trattamento dell'epilessia: efficacia ed esiti

Utilizzata per la prima volta nel 1940, la callosotomia rappresenta una tecnica chirurgica utilizzata nel trattamento palliativo dei casi di epilessia dove l'applicazione farmacologica o la resezione dei foci epilettici non sono resi possibili.

Il corpo calloso, pur non avendo un ruolo diretto nella genesi della crisi epilettica, costituisce il principale percorso per la generalizzazione delle scariche attraverso i due emisferi; la sua resezione, pertanto, si è mostrata in grado di contenere la diffusione della crisi.

L'intervento chirurgico può sezionare il corpo calloso in misura variabile, ad esempio nella callosotomia anteriore a 2/3 viene risparmiata la porzione posteriore del corpo calloso, mentre nella callosotomia totale l'intera commessura callosale viene recisa. Rimane tuttavia poco chiaro quale sia la migliore estensione da preferirsi nella callosotomia anteriore in termini di miglioramento delle crisi epilettiche (Markosian, Patel, Kosach, Goodman & Tomycz, 2022).

Alcune analisi hanno mostrato la superiorità della callosotomia totale nel ridurre le crisi epilettiche rispetto a quella anteriore. Nonostante ciò, la callosotomia anteriore risulta essere l'intervento più praticato a causa della sua bassa percentuale di complicanze e per la sua alta efficacia (Thohar Arifin et al., 2020).

Secondo una metanalisi del 2018, comprendente 1742 pazienti provenienti da 58 studi differenti, il 18.8% dei pazienti si era mostrato libero da nuove crisi epilettiche dopo l'intervento di callosotomia, mentre il 55.3% dei pazienti aveva mostrato un recesso degli attacchi con caduta dopo lo stesso intervento (Chan, Rolston, Lee, Vadera & Englot, 2018).

Precedentemente si è detto a proposito del ruolo del corpo calloso nel trasferimento interemisferico dell'informazione e si è accennato al tema della sindrome da disconnessione, quest'ultima risulta essere una conseguenza possibile dell'intervento chirurgico, tuttavia, tale complicazione sembra essere più frequente nei casi di callosotomia totale rispetto a quelli di callosotomia anteriore ed è particolarmente influenzata dall'età del soggetto, verosimilmente per questioni di plasticità cerebrale (Graham, Tisdall & Gill, 2016).

2. Introduzione all'attenzione visuo-spaziale

2.1 Attenzione visuo-spaziale: una definizione

L'ambiente circostante offre agli apparati sensoriali degli organismi una sovrabbondanza di stimoli che dev'essere in qualche modo gestita al fine di elaborare una risposta coerente e finalizzata.

Il sistema nervoso centrale costituisce il mezzo incaricato di produrre l'output appropriato a fronte della moltitudine di stimoli. Per costituzione, la capacità elaborativa di tale sistema è limitata e l'elaborazione neurale dell'informazione richiede un alto costo energetico, cosicché solo un certo quantitativo di informazione può essere processato per volta. I processi attentivi permettono la selezione degli stimoli rilevanti per un impiego ottimale delle risorse cognitive e per la produzione di risposte coerenti con gli obiettivi dell'organismo, il tutto orchestrando un trade-off che porta all'esclusione di una vasta quantità di input ritenuti meno importanti.

L'attenzione visuo-spaziale è un insieme di operazioni cognitive attraverso il quale è resa possibile la selezione dell'informazione nel campo visivo, selezione che può avvenire indipendentemente dallo spostamento degli occhi.

Tale processo dirige in via esclusiva le limitate risorse cognitive verso un punto privilegiato nel campo visuo-spaziale rendendo massima la sua disponibilità per un'elaborazione cognitiva, pertanto il concetto di attenzione visuo-spaziale selettiva si riferisce al vantaggio in accuratezza e velocità nel processamento degli oggetti che ricadono nelle regioni attenzionate, rispetto alle zone rimaste escluse (Posner, 1980).

L'attenzione visuo-spaziale può essere allocata spostando lo sguardo (orientamento overt o esplicito), foveando il punto d'interesse, oppure diretta nelle aree periferiche senza alcun movimento oculare (orientamento covert o implicito) e può essere direzionata volontariamente mediante uno spostamento endogeno oppure essere attratta automaticamente da uno stimolo esogeno saliente.

L'attenzione di tipo covert permette un monitoraggio dell'ambiente e può guidare il movimento degli occhi verso le porzioni dello spazio dove si sono individuati stimoli salienti.

Storicamente è stata concettualizzata attraverso la metafora del "faro" che attraverso la sua luce illumina di volta in volta una sola area, lasciando all'oscuro tutto il

resto; nel tempo è stata proposta una metafora migliore, basata su evidenze sperimentali, ovvero quella delle lenti zoom. Secondo questa metafora l'attenzione potrebbe estendersi su un'ampia area così come su un'area ristretta, allargando o restringendo il fuoco ove l'elaborazione degli stimoli risulta enfatizzata.

2.2 Paradigmi utilizzati nella ricerca sull'attenzione visuo-spaziale

I paradigmi comunemente utilizzati per studiare l'attenzione visuo-spaziale sono il paradigma di Posner (*spatial cueing paradigm*) e il test di ricerca visiva (*visual search task*).

Il primo, inventato per l'appunto da Michael Posner, prevede che il soggetto fissi il suo sguardo verso un punto di fissazione centrale (figura 2a), mentre un'indicazione fisica o simbolica (come una freccia o un lampeggio) appare per un breve periodo per guidare l'attenzione implicita verso una precisa regione periferica. I *cues* simbolici presuppongono un movimento dell'attenzione endogeno, mentre quelli fisici elicitano uno spostamento esogeno dell'attenzione, che viene magneticamente attratta in direzione del *cue*.

I soggetti sono quindi tenuti a rilevare il più velocemente possibile un successivo stimolo *target* che apparirà con molta probabilità nella zona attesa, almeno nelle prove valide (figura 2b), mentre apparirà in un'altra posizione nelle prove invalide (figura 2c).

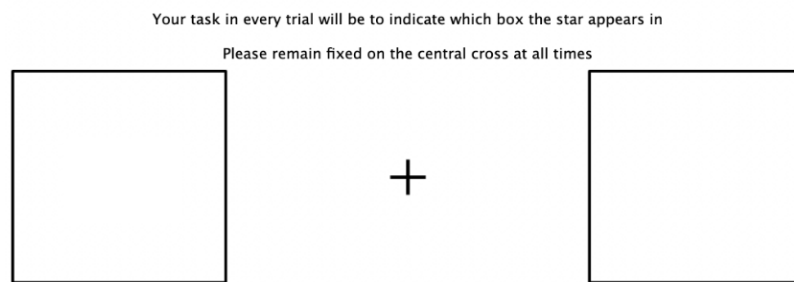


Figura 2a. Disposizione schematica degli elementi secondo il paradigma di Posner. Al centro è presente il punto di fissazione mentre i due riquadri posti bilateralmente ospiteranno secondo combinazioni variabili il *cue* e il *target*. Fonte: Testable, guides to classic experiments.

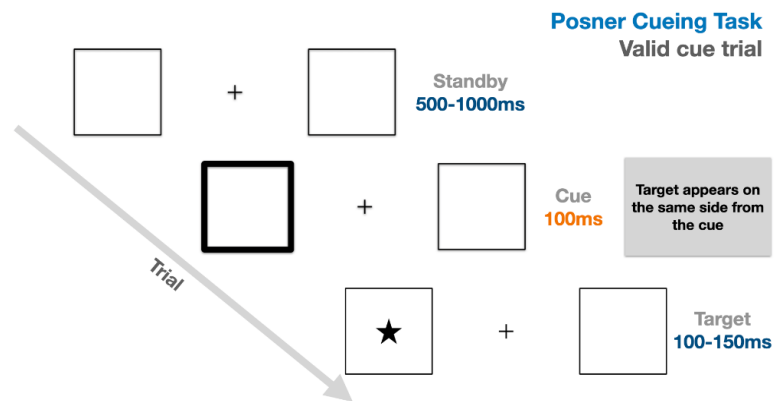


Figura 2b. Esempio di prova valida nel paradigma di Posner. In questo caso il cue elicitava un orientamento automatico dell'attenzione verso il riquadro posto a sinistra del punto di fissazione. Il target appare successivamente nella regione predetta e, relativamente alla prova neutra, si assiste a una riduzione dei tempi di reazione nella detezione dello stimolo. Fonte: Testable, guides to classic experiments.

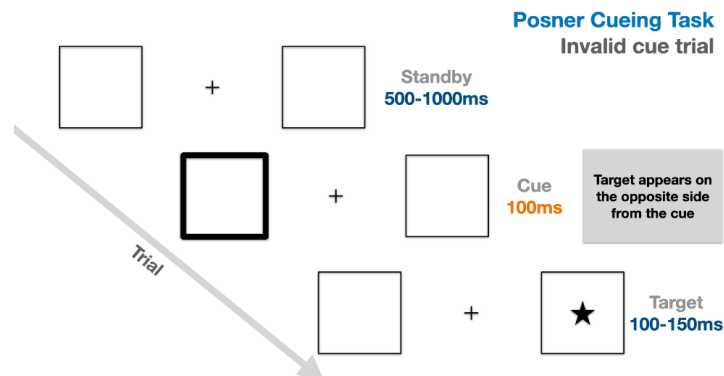


Figura 2c. Esempio di prova invalida nel paradigma di Posner. In questo caso il cue elicitava un orientamento dell'attenzione verso il riquadro posto a sinistra del punto di fissazione. Il target appare successivamente nel riquadro opposto, ovvero nella regione non attenzionata, richiedendo un riorientamento dell'attenzione verso la nuova posizione. Si assiste a un incremento dei tempi di reazione nella detezione dello stimolo target relativamente alla prova neutra.

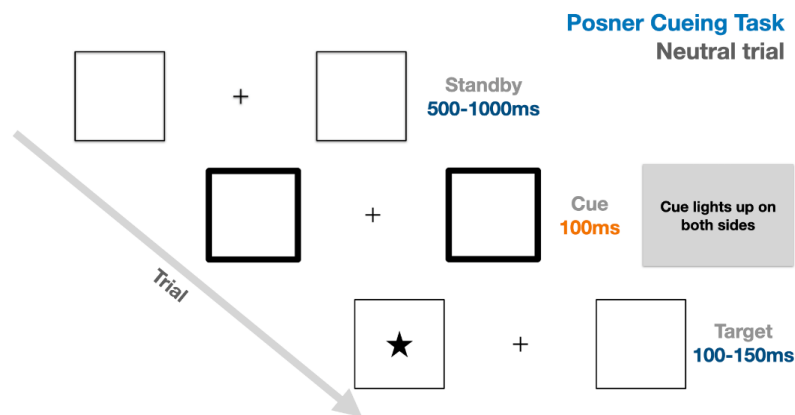


Figura 2d. Esempio di prova neutra. In questo caso il cue è bilaterale e non attrae l'attenzione in una delle due regioni in particolare. Si assiste nelle prove neutre a dei valori nei tempi di reazione compresi tra i tempi di reazione rilevati nelle prove valide e i tempi di reazione rilevati nelle prove invalide. Fonte: Testable, guides to classic experiments.

La discrepanza nei tempi di risposta nei casi delle prove valide e di quelle invalide riflettono presumibilmente l'effetto dell'attenzione visuo-spaziale nelle regioni dello spazio selezionate, che renderebbe vantaggiosa la rilevazione del *target* qualora questo apparisse nella zona attesa rispetto al maggior tempo richiesto per orientare nuovamente l'attenzione verso il *target* apparso in una zona non attenzionata.

Portare l'attenzione in una regione dello spazio, infatti, migliora l'accuratezza e la velocità nel riportare la comparsa del *target* entro quella stessa regione.

Nel paradigma di ricerca visiva invece, al soggetto viene presentata una serie di stimoli e gli viene chiesto se un determinato stimolo *target* sia presente in mezzo alla serie di distrattori. Cruciali nella difficoltà di questo compito sono le caratteristiche strutturali degli stimoli in quanto, tanto più *target* e distrattori sono simili, tanto più la difficoltà nel trovare lo stimolo *target* aumenta, e la difficoltà aumenta linearmente con l'aggiunta degli items.

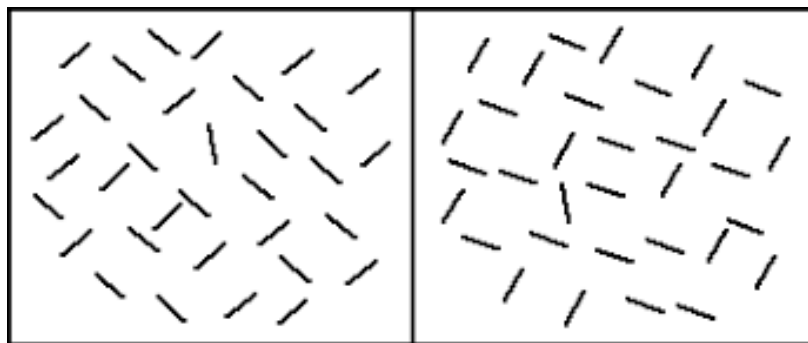


Figura 2e. Un possibile array di una prova di ricerca visiva. In questo caso lo stimolo target, a causa della sua peculiare conformazione, cattura l'attenzione e non è necessario procedere con una ricerca seriale. Fonte: Wolfe, 2002.

Per questa ragione, uno stimolo *target* che possenga una caratteristica unica, quale ad esempio il colore verde - in mezzo a distrattori di colore rosso -, verrà subito trovato senza fatica poiché spiccherà “catturando” l’attenzione, mentre se le caratteristiche dello stimolo *target* e dei distrattori sono in larga parte condivise, allora sarà necessaria un’accurata scansione seriale per trovare lo stimolo *target*.

2.3 Networks cerebrali coinvolti nell’attenzione visuo-spaziale

Sono stati individuati diversi networks e strutture cerebrali coinvolti nell’orientamento dell’attenzione visuo-spaziale, i quali sembrerebbero includere la corteccia prefrontale dorsolaterale (PFC) e la corteccia parietale posteriore (PPC).

Studi di risonanza magnetica sugli umani hanno indicato l’esistenza di più networks fronto-parietali per il controllo dell’attenzione spaziale (Corbetta & Shulman, 2002).

Un primo network attentivo dorsale (DAN), composto dal solco intraparietale (IPS), dal lobulo parietale superiore (SPL), dai campi visivi frontali (FEF) e dalla corteccia prefrontale dorsolaterale (dPFC), mostra livelli di attività in risposta alla visione dei *cue* simbolici; pertanto, tale network sembra essere fondamentale per l’orientamento spaziale (implicito ed esplicito) volontario dell’attenzione (Bartolomeo, Thiebaut De Schotten & Chica, 2012).

La risonanza magnetica funzionale ha altresì rivelato l’esistenza di un network attentivo più ventrale (VAN) che comprende la giunzione temporo-parietale (TPJ) e la

corteccia frontale ventrale (VFC), mostrando in tale zona un aumento di segnale BOLD² nel momento in cui i soggetti esaminati si trovavano a rispondere ai *target* con *cues* invalidi (ovvero *target* erroneamente predetti dal *cue*), da ciò si è inferito che tale network sia importante per la detezione di eventi inaspettati e rilevanti (Bartolomeo, Thiebaut De Schotten & Chica, 2012).

Il network DAN mostra un assetto bilaterale e simmetrico, mentre il VAN risulta essere estremamente lateralizzato nell'emisfero destro, anche se alcuni studi hanno mostrato il coinvolgimento della giunzione temporo-parietale sinistra nelle funzioni attentive (DiQuattro & Geng, 2011; Weidner et al., 2009).

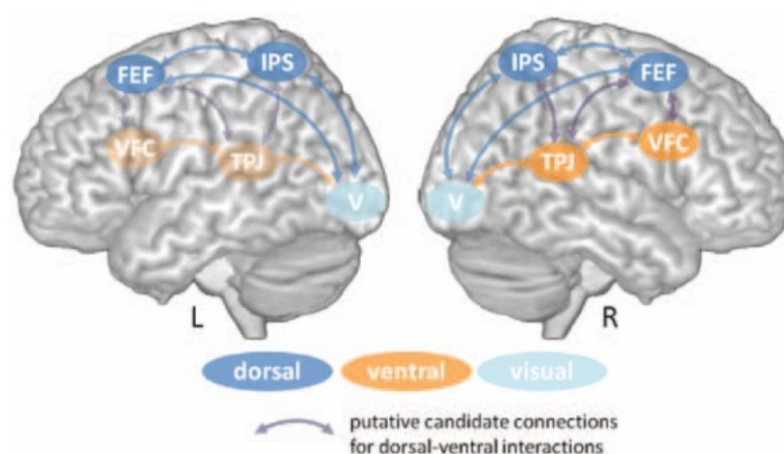


Figura 2f. Illustrazione schematica delle aree costituenti i due network fronto-parietali implicati nel controllo dell'attenzione negli umani. Fonte: Vossel, Geng & Fink, 2014.

I due network fronto-parietali risultano essere anatomicamente segregati e ciascuno operante specifici sotto-processi implicati nel controllo dell'attenzione, come ad esempio la selezione attentiva endogena degli stimoli e la detezione di stimoli inaspettati e rilevanti; è chiaro che simili processi debbano venire integrati a qualche livello per consentire un funzionamento flessibile del controllo attentivo, integrazione che sembrerebbe essere governata dalle aree frontali, come il giro frontale medio e inferiore (Vossel, 2014).

Secondo il modello di Kinsbourne (1993) l'emisfero destro ha un ruolo preponderante nell'orientamento dell'attenzione. Ciascun emisfero possiede i

² Blood Oxygenation level dependent. Segnale di imaging a risonanza magnetica dipendente dal rapporto tra emoglobina ossigenata ed emoglobina de-ossigenata, utilizzato come indicatore indiretto dell'attività metabolica del tessuto neuronale.

meccanismi nervosi specializzati per orientare l'attenzione in direzione controlaterale, ma la tendenza a dirigere l'attenzione verso sinistra da parte dell'emisfero destro risulta più debole della tendenza dell'emisfero sinistro a dirigere l'attenzione verso destra.

3. Dinamiche dell'attenzione visuo-spaziale in seguito a callosotomia totale e parziale

3.1 Attenzione visuo-spaziale nei pazienti callosotomizzati: sistema unitario o diviso?

Una questione a lungo dibattuta nella ricerca sull'attenzione visuo-spaziale nei soggetti callosotomizzati riguarda la dicotomia nella gestione del controllo attentivo che vede da una parte la permanenza di un sistema unitario e integrato e dall'altra due meccanismi attentivi indipendenti ciascuno operato in autonomia dai separati emisferi cerebrali.

Se nei soggetti sani diversi studi hanno già confermato ciò che l'esperienza comune sembrava suggerire, ovvero che non si possano normalmente scindere le risorse attentive per avere contezza simultanea di due punti spazialmente separati nel campo visivo, nei soggetti callosotomizzati, parzialmente e totalmente, una risoluzione a favore dell'integrità o della divisione del sistema attentivo risulta decisamente meno netta, visti i risultati sperimentali eterogenei e a volte contraddittori.

In questa sede verrà preso come riferimento lo studio di Arguin et al. (2000) che articola al suo interno un tentativo di unificazione sui risultati contraddittori pervenuti dagli studi precedenti di Holtzman, Volpe & Gazzaniga (1984) e Mangun et al. (1994).

Lo studio di Holtzman et al. (1984) si proponeva di verificare l'ipotesi dell'esistenza nei pazienti callosotomizzati di due sistemi di orientamento dell'attenzione indipendenti, ciascuno situato nei due emisferi separati; data tale assunzione l'aspettativa era che fosse possibile per questi pazienti dislocare l'attenzione su più punti dello spazio contemporaneamente.

L'esperimento utilizzava il paradigma di Posner, in cui venivano misurati i tempi di reazione in risposta a dei *target* presentati lateralmente nella regione destra del campo visivo o in quella sinistra.

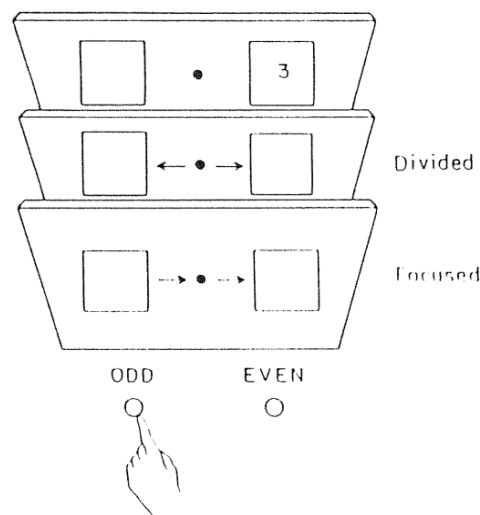


Figura 3a. Rappresentazione schematica delle prove utilizzate nello studio di Holtzman et al. (1984). Fonte: Holtzman et al., 1984.

Il soggetto veniva posto di fronte a un monitor raffigurante due quadrati vuoti posti ai due lati del punto di fissazione (figura 3a). In ciascuna prova una cifra-target appariva in uno dei due box e l'osservatore doveva indicare mediante la pressione di un tasto se la cifra apparsa fosse pari o dispari.

In ogni prova, il *cue* - delle frecce poste a cavallo del punto di fissazione indicanti in anticipo dove probabilmente sarebbe apparso il *target* - appariva 1.5 secondi prima del *target*, suggerendo uno spostamento dell'attenzione verso il box indicato.

Nel 44% delle prove, i *cues* (i.e. le frecce) puntavano congiuntamente verso il box che probabilmente avrebbe contenuto il *target*; nel 22% delle prove le frecce puntavano in direzioni opposte, suggerendo una dislocazione disgiunta e bilaterale dell'attenzione; un 22% di prove conteneva indicazioni neutre, ovvero simboli non informativi sulla presunta posizione del *target*, mentre nel restante 11% delle prove le frecce puntavano verso il box sbagliato.

Seguendo l'assunzione che i due emisferi separati dispongano di propri sistemi attentivi indipendenti, si dovrebbe trovare che i tempi di reazione nelle prove valide con frecce concordi e con frecce indicanti entrambi i box siano similmente ridotti.

Se invece l'attenzione visuo-spaziale è ristretta a una sola area, la prestazione nelle prove *divided-attention* (i.e. *cues* che suggeriscono di attendere entrambi i box) dovrebbe essere più simile alla prestazione ottenuta nelle prove in cui le indicazioni erano neutre.

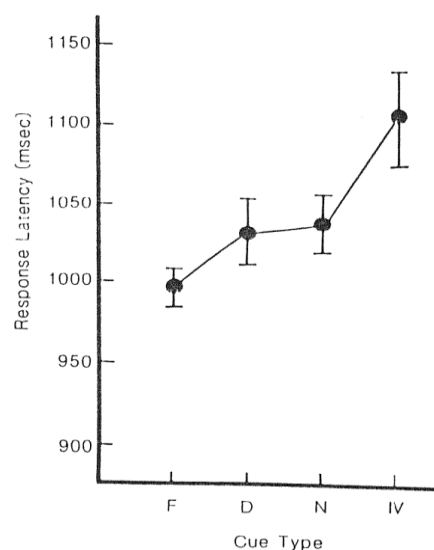


Figura 3b. In ordinata sono riportati i tempi di reazione in funzione del tipo di prova, dove F sta per *focused*, D per *divided-attention*, N per *neutral-cue* e IV per *invalid-cue*. Dal grafico è possibile vedere che nelle prove *divided-attention* si hanno tempi di reazione generalmente più alti di quelli nelle prove valide (*focused*) e più simili a quelli trovati nelle prove neutre. Fonte: Holtzman et al., 1984.

Ciò che ottennero Holtzman et al. (1984) in seguito a 720 prove eseguite su un unico soggetto è sintetizzato nel grafico in alto, dove le lettere F, D, N e IV stanno rispettivamente per *focused* (freccie valide e concordi), *divided-attention* (freccie discordi indicanti entrambi i box), *neutral-cue* e *invalid-cue*.

Come si può vedere dall'assetto della distribuzione dei tempi di reazione nei vari tipi di prova, i tempi di reazione nelle prove in cui le frecce suggerivano una dislocazione bilaterale dell'attenzione sono molto simili ai tempi di reazione ottenuti nelle prove con gli indizi neutri. Ciò porta a concludere che i due emisferi cerebrali separati dalla callosotomia non siano in grado di orientare e manipolare indipendentemente e simultaneamente l'attenzione visuo-spaziale, e che dunque l'attenzione nei soggetti callosotomizzati rimane in qualche modo unificata.

Lo studio di Mangun et al. (1994) si propone di indagare degli aspetti più ampi oltre alla questione dell'unità del meccanismo di orientamento dell'attenzione. Ingloba al suo interno delle domande che pervengono dall'evidenza clinica tratta dai pazienti che hanno

sviluppato neglect e/o estinzione a seguito di lesioni cerebrali destre, ovvero sull'asimmetrica capacità dei due emisferi nel controllo dell'attenzione.

Considerando l'aspetto dei sistemi attentivi divisi, il paradigma utilizzato è molto simile a quello dello studio di Holtzman et al. (1984), ma differiva per l'entità del *cue*. Il *cue* simbolico è stato sostituito con un'indicazione luminosa che appariva direttamente sulla regione del campo visivo in cui era probabile che apparisse il *target* (figura 3c).

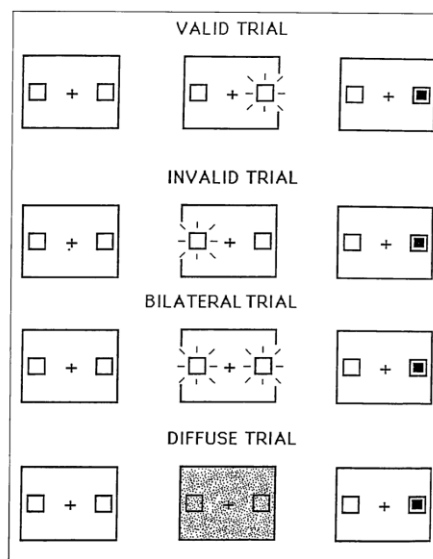


Figura 3c. Rappresentazione schematica delle varie prove. Il *cue* luminoso sostituisce il *cue* simbolico, favorendo lo spostamento automatico dell'attenzione. Fonte: Mangun et al., 1994

I risultati ottenuti da Mangun et al. (1994) aprono alla possibilità che i due emisferi cerebrali possano autonomamente e simultaneamente orientare l'attenzione nel campo visivo, suggerendo che non siano in competizione per l'utilizzo di presunte risorse attentive unitarie subcorticali, poiché i tempi di reazione nelle prove con *cue* bilaterale sono altrettanto ridotti di quelli misurati nelle prove con *cue* valido unilaterale.

Tornando allo studio di Arguin et al. (2000), vengono avanzate due possibili spiegazioni per rendere conto dei risultati contraddittori dei due studi precedenti ed entrambe vertono su questioni di metodo.

Un primo aspetto riguarda l'entità dei *cues*; nello studio di Holtzman et al. (1984) i *cues* sono costituiti da frecce, ovvero oggetti simbolici che invitano l'osservatore a indirizzare l'attenzione nella direzione indicata, presupponendo la partecipazione di un

atto volontario (o *top-down*); nello studio di Mangun et al. (1994) invece, i *cues*, sottoforma di lampeggio, vengono posti direttamente nella regione dello spazio dove con probabilità si verrà a trovare il target, elicitando presumibilmente uno spostamento dell'attenzione automatico (stimolazione *bottom-up*).

Un'altra differenza metodologica importante fra i due studi ricade sull'SOA (*Stimulus Onset Asynchronies*), ovvero sulla frazione di tempo interposta fra l'inizio della presentazione del *cue* e l'inizio della presentazione del *target*. Nello studio di Holtzman et al. (1984) l'SOA è di 1500 ms, un valore di gran lunga più elevato di quello utilizzato da Mangun et al. (1994) che varia tra i 150 e 600 ms.

Un SOA di 1500 ms potrebbe aver lasciato tempo sufficiente per un'integrazione interemisferica dell'informazione visuo-spaziale mediante vie extra-callosali.

Arguin et al. (2000) si sono proposti dunque di replicare lo stesso paradigma, utilizzando i *cues* simbolici in modo da elicitare l'attenzione endogena, per verificare se i soggetti callosotomizzati mostrassero qualche evidenza di possedere due sistemi autonomi di orientamento dell'attenzione.

Nello studio sono stati coinvolti 10 individui sani come soggetti di controllo e 10 pazienti callosotomizzati per lenire un'epilessia intrattabile, di cui 7 avevano subito una callosotomia anteriore di entità compresa tra il 50-80% della lunghezza totale del corpo calloso e i restanti 3 una callosotomia totale.

Gli individui sani sono stati utilizzati in particolare per accertare che la procedura utilizzata nello studio desse risultati concordi con quelli già presenti in letteratura, ovvero che suggellasse l'evidenza di un sistema attentivo unitario nei soggetti normali.

I soggetti venivano posti di fronte a uno schermo con sfondo bianco, a una distanza di 57 cm; un punto di fissazione permaneva al centro dello schermo assieme a due box vuoti posti bilateralmente, a destra e a sinistra del punto di fissazione.

I *cues* erano frecce che puntavano a destra, a sinistra o di segno uguale mostrati bilateralmente e posti a 1.6° dal punto di fissazione. I *focused attention cues* erano composti da un paio di frecce che puntavano nella stessa direzione, ovvero laddove sarebbe comparso il *target* nelle prove valide. I *divided-attention cues* erano costituiti invece da un paio di frecce discordi, che puntavano lontano dal punto di fissazione (i.e. indicanti entrambi gli emicampi).

I *cues neutrali* erano invece formati da segni uguali senza valore informativo, mostrati su ciascun lato del punto di fissazione. Il *target* era una “X” che poteva apparire in posizione centrale in uno dei due box periferici.

Ogni prova iniziava con la presentazione del *cue* per un tempo di 250ms ed era seguito dal *target* dopo un intervallo di 500ms. Il compito del soggetto era quello di rispondere il più velocemente possibile alla rilevazione del *target*, risposta che avveniva con mezzi diversi nelle due classi di soggetti.

Gli individui sani dovevano premere la barra spaziatrice di una tastiera, mentre i soggetti callosotomizzati dovevano tirare una leva.

Il 52% delle prove mostrava concordanza fra la posizione attesa del *target* indicata dai *cues* e la sua effettiva posizione di apparizione (prove valide), il 16% delle prove mostrava invece discordanza (prove invalide), il 16% erano per l’attenzione divisa (*divided-attention cues*), mentre il restante 16% mostravano *cues* neutrali.

L’istruzione data ai soggetti era quella di mantenere lo sguardo centrato sul punto di fissazione e di spostare l’attenzione laddove i *cues* avrebbero suggerito.

Come è possibile vedere dalla figura 3d, i soggetti normali hanno mostrato risposte congruenti con quelle attese nei casi di *cues* validi e invalidi, ovvero hanno rivelato un beneficio nei tempi di reazione dovuto alla presenza del *cue* nei casi in cui il *target* era apparso nella regione predetta e uno svantaggio nel caso del *target* apparso in regioni inattese, mentre i tempi di reazione nelle condizioni di *cues* neutrali e *cues* per l’attenzione divisa si equivalevano, suggellando l’ipotesi che i soggetti sani posseggano un sistema dell’attenzione integrato e indiviso (Arguin et al., 2000).

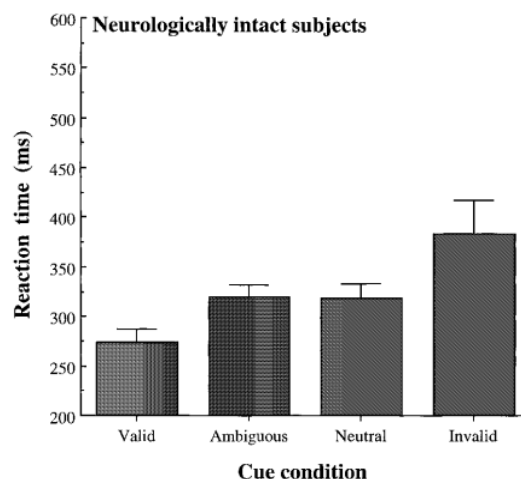


Figura 3d. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione in funzione del tipo di prova. I soggetti di controllo mostrano nessuna differenza tra i tempi di reazione nelle prove ambigue (i.e. cue indicanti entrambi i box) e nelle prove neutre. Fonte: Arguin et al., 2020.

Nei soggetti callosotomizzati (figure 3e, 3f), parzialmente e totalmente, si assiste invece a un beneficio nei tempi di reazione nelle prove per l'attenzione divisa: i tempi di reazione in questa condizione sono molto più simili, se non inferiori, ai tempi di reazione trovati nelle prove valide con indicazione unilaterale, rispetto a quelli relativi alle prove neutre (Arguin et al., 2000).

Più precisamente, un totale di 6 pazienti callosotomizzati su 10 mostrava tale beneficio in termini di vantaggio nei tempi di reazione, di cui 2 soggetti appartenevano al gruppo con callosotomia totale e 4 al gruppo con callosotomia anteriore (Arguin et al., 2000).

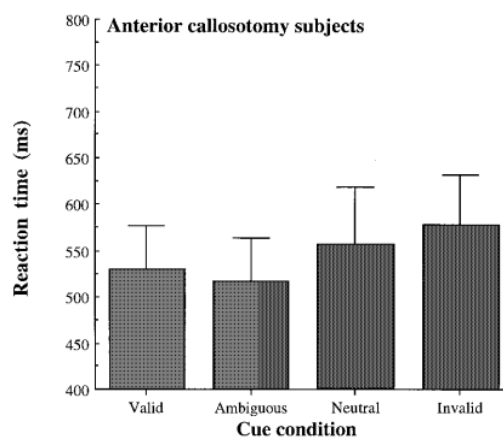


Figura 3e. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione in funzione del tipo di prova. In questo caso, i pazienti con callosotomia anteriore mostrano tempi di reazione inferiori nelle prove ambigue (i.e. per l'attenzione divisa) rispetto a quelli nelle prove valide con indicazione unilaterale e comunque significativamente più simili a questi ultimi rispetto a quelli rilevati nelle prove neutre, suggerendo che in questo gruppo ciascun emisfero cerebrale possa indipendentemente allocare l'attenzione visuo-spaziale nel proprio emicampo. Fonte: Arguin et al., 2020.

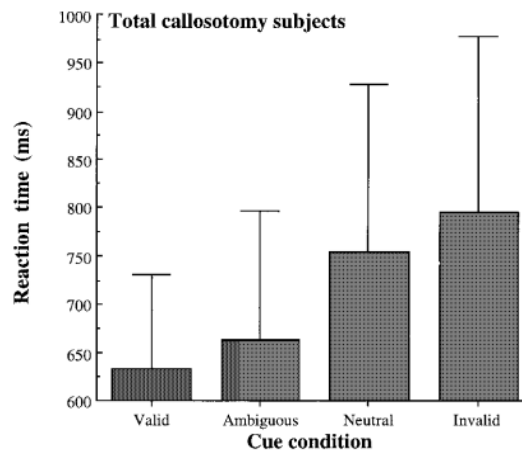


Figura 3f. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione in funzione del tipo di prova. In questo caso, il gruppo dei pazienti che aveva subito una callosotomia totale ha mostrato dei tempi di reazione nelle prove per l'attenzione divisa molto più simili a quelli trovati nelle prove valide con cue per l'attenzione unilaterale, rispetto a quelli trovati nelle prove neutre, suggerendo che vi sia un'effettiva capacità nei due emisferi di allocare indipendentemente l'attenzione. Fonte: Arguin et al., 2020.

Dal momento che tale beneficio nei tempi di reazione nella condizione di *cue* con indicazione bilaterale è usato come indice della presenza di due meccanismi attentivi separati, è stato possibile concludere che la maggioranza dei pazienti callosotomizzati esaminati mostravano evidenza di tale fenomeno.

Il risultato ottenuto è tuttavia eterogeneo e non riesce a spiegare perché tale fenomeno non sia stato trovato in tutti i soggetti esaminati. Se infatti si assume che la funzione del corpo calloso sia invariante tra gli individui, allora si dovrebbe osservare che, a parità di sezione, tutti gli individui esaminati esitano in simili conseguenze a livello del controllo dell'attenzione. Arguin et al. (2000) a tal proposito hanno esaminato mediante analisi correlazionale l'influenza di possibili fattori implicati nella variabilità degli esiti, come il QI, l'età di esordio dell'epilessia, l'età al momento dell'operazione ecc., senza tuttavia trovare una correlazione significativa per nessuno di questi.

La callosotomia totale non può essere altresì assunta come discriminante principale, nonostante l'assunzione che sia la regione posteriore del corpo calloso la zona critica per l'integrazione del controllo attentivo, dacché 4 pazienti su 7 con callosotomia anteriore hanno invece mostrato il fenomeno dell'attenzione divisa; ancora più sorprendentemente, il paziente del campione che aveva subito la più piccola resezione anteriore del corpo calloso mostrava la presenza di un sistema dell'attenzione diviso (figura 3g), nonostante

lo stesso soggetto mostrasse di avere una preservata comunicazione interemisferica fra i lobi parietali destro e sinistro, comunicazione ritenuta necessaria per l'integrazione unitaria dell'attenzione visuo-spaziale.

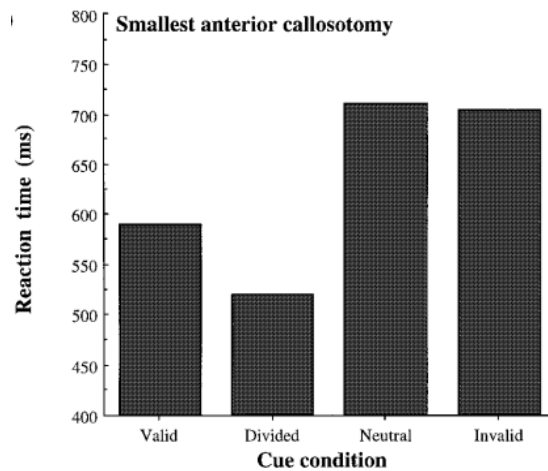


Figura 3g. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione in funzione del tipo di prova. Il presente grafico riporta la distribuzione dei tempi di reazione relativo al gruppo di soggetti che avevano subito la resezione anteriore di minore entità. Fonte: Arguin et al., 2020.

Quest'ultima osservazione stride con le aspettative basate sulla letteratura precedente, che mostrano il ruolo predominante dei lobi parietali nel controllo dell'attenzione visuo-spaziale. Dal momento che tali regioni risultano interconnesse mediante la regione posteriore del corpo calloso, ci si aspetterebbe che una sezione a questo livello, stroncando ogni possibilità di comunicazione e integrazione, esiti nel fenomeno dell'attenzione divisa.

Secondo Arguin et al. (2000), una spiegazione di questo risultato inaspettato potrebbe risiedere nel metodo di presentazione del *cue* utilizzato nello studio, che come descritto precedentemente elicitava un orientamento volontario dell'attenzione.

Questo tipo di orientamento coinvolge i lobi frontali, che a loro volta sono responsabili del controllo del sistema attentivo posteriore (e quindi dei lobi parietali) nell'orientamento dell'attenzione. Dal momento che i lobi frontali nei pazienti con callosotomia anteriore risultano separati, gli stessi potrebbero aver operato un controllo autonomo sui meccanismi attentivi posteriori, consentendo un orientamento indipendente e simultaneo dell'attenzione in ciascun emicampo visivo.

Gli autori dello studio avanzano infine l'ipotesi che la variabilità interindividuale nella presenza del fenomeno dell'attenzione divisa possa essere dovuta a differenze pre-operatorie nei soggetti nell'affidarsi al corpo calloso per la comunicazione e integrazione interemisferica dei meccanismi attentivi, alcuni pazienti pertanto potrebbero aver impegnato percorsi subcorticali piuttosto che callosali per convogliare e integrare l'informazione visuo-spaziale.

In conclusione, lo studio presente ha altresì mostrato la poca rilevanza della distinzione fra orientamento volontario e automatico dell'attenzione, ipotizzata come fondamento metodologico delle discrepanze ottenute negli studi precedenti di Holtzman et al. (1984) e Mangun et al. (1994), trovando evidenze dell'attenzione divisa anche laddove lo *shift* dell'attenzione era volontario. Rimane invece probabile che la prima causa delle divergenze nei risultati sia da attribuirsi alla lunghezza dell'SOA (1500 ms nello studio di Holtzman et al. contro i 500ms dello studio di Arguin et al. e i 150-600 ms dello studio di Mangun et al.) come detto precedentemente.

Le conclusioni a cui giungono Arguin et al. (2000), circa l'idea di un sistema attentivo diviso nei pazienti callosotomizzati, ancorché non presente in tutti i soggetti esaminati, concordano con quanto trovato in precedenza nello studio di Luck, Hillyard, Mangun & Gazzaniga (1989) che, utilizzando un paradigma diverso, quello della ricerca visiva, hanno mostrato che i pazienti commissurotomizzati erano in grado di dividere l'attenzione e quindi svolgere una ricerca visiva seriale bilaterale.

L'esperimento prevedeva l'utilizzo della configurazione classica del *visual search task* (figura 3h). Il soggetto era posto in posizione centrale ed era tenuto a tenere lo sguardo fisso in direzione del punto di fissazione. L'array di stimoli era costituito da rettangoli formati da un quadrato blu e uno rosso posti l'uno in cima all'altro; fra questi, lo stimolo target aveva la configurazione con il quadrato rosso sopra a quello blu.

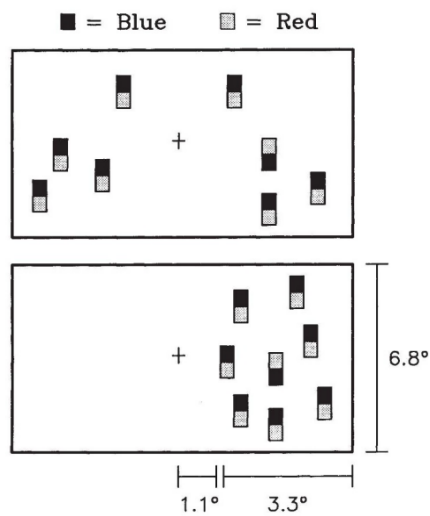


Figura 3h. Rappresentazione della disposizione degli elementi nel paradigma di ricerca visiva. In questo caso, i target sono costituiti da rettangoli formati a loro volta dalla giunzione di due quadrati di colore rosso e blu. Il target ha configurazione rosso sopra e blu sotto. Fonte: Luck et al., 1989.

La serie di *target* poteva apparire unilateralmente oppure bilateralmente, mantenendo comunque la stessa numerosità totale di stimoli, che poteva cambiare (set da 2,4 e 8).

Il soggetto era tenuto a premere un pulsante disposto alla sua sinistra se il *target* fosse apparso nello spazio visivo di sinistra, mentre era tenuto a premere un pulsante alla sua destra se il *target* fosse apparso nello spazio visivo di destra.

Il presente studio ipotizzava che, se ogni emisfero nei pazienti commissurotomizzati poteva controllare autonomamente il suo focus attentivo, allora una ricerca visiva del *target* quando la configurazione degli stimoli era di tipo bilaterale doveva essere più rapida, a parità di numerosità globale, della stessa ricerca nel caso di una disposizione unilaterale degli stimoli.

Come riportano le figure 4a e 4b (rispettivamente la funzione dei tempi di reazione nei soggetti normali e nei soggetti commissurotomizzati), vi è una certa differenza nei valori della pendenza e delle intercette delle varie rette rappresentanti i due gruppi.

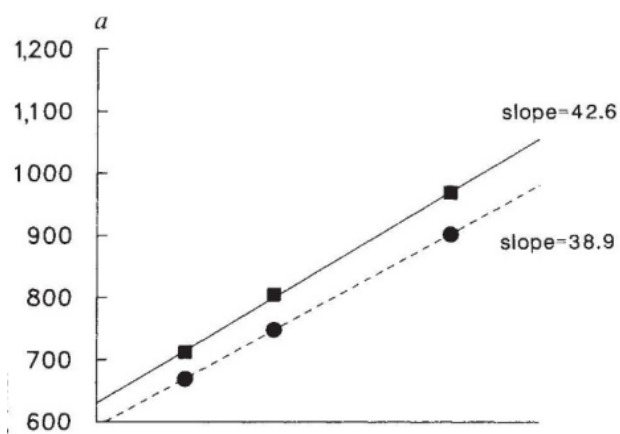


Figura 4a. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione (in ordinata) in funzione della grandezza dell'array (in ascissa) nei soggetti di controllo. La retta tratteggiata rappresenta l'esito delle prove con scansione bilaterale, mentre la retta continua rappresenta l'esito delle prove con ricerca unilaterale. In questo caso, le due rette non differiscono significativamente nei due casi, rivelando che il beneficio nei tempi di reazione di una scansione bilaterale è minimo e suggerendo quindi che sia un sistema attentivo indiviso a operare la ricerca seriale. Fonte: Luck et al., 1989.

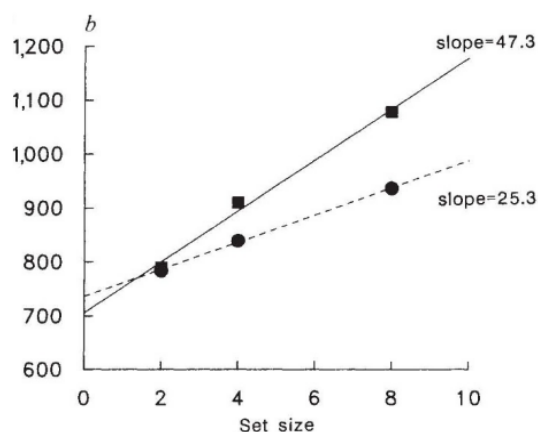


Figura 4b. Rappresentazione grafica dei tempi di reazione (in ordinata) in funzione della grandezza dell'array (in ascissa) nei soggetti commisurotomizzati. La retta tratteggiata rappresenta l'esito delle prove con scansione bilaterale, mentre la retta continua rappresenta l'esito delle prove con ricerca unilaterale. È possibile osservare come in questo caso la retta della condizione di ricerca bilaterale abbia inclinazione quasi dimezzata rispetto alla retta della ricerca unilaterale, nonché un'intercetta sensibilmente più alta. Ciò suggerisce che nei pazienti commisurotomizzati ogni emisfero separato sia in grado di svolgere indipendentemente una ricerca seriale nel proprio emicampo. Fonte: Luck et al., 1989.

I soggetti di controllo infatti mostrano una certa congruenza nei tempi di reazione nei due casi, sebbene la ricerca bilaterale si sia dimostrata sensibilmente più efficace.

Nei pazienti commissurotomizzati invece, la pendenza della retta era quasi doppia nel caso della disposizione unilaterale rispetto a quella bilaterale, rapporto che suggerisce una velocità maggiore nella scansione bilaterale e quindi l'effettiva esistenza di due meccanismi attentivi separati, ciascuno in grado di operare autonomamente la ricerca visiva nel proprio emicampo.

Un aspetto interessante, visibile anche dai grafici cartesiani delle rette, riguarda le intercette delle rette relative alla ricerca unilaterale e bilaterale; com'è possibile vedere, infatti, nel caso dei soggetti di controllo l'intercetta della retta in caso di ricerca bilaterale si assesta a un valore più basso rispetto a quello trovato nella funzione della ricerca unilaterale, in altre parole i tempi di reazione erano generalmente più brevi rispetto alla condizione unilaterale, cosa che invece non si trova nei soggetti commissurotomizzati, dove l'intercetta relativa alla funzione di ricerca bilaterale si posiziona a un valore più alto, dando prova di un rallentamento relativo nel processo di ricerca visiva.

Secondo Luck et al. (1989) questo risultato potrebbe suggerire la permanenza di una condivisione di risorse attentive. Il reclutamento di un emisfero nella ricerca bilaterale, infatti, potrebbe rallentare la velocità globale nella detezione del *target* da parte dell'altro emisfero.

3.2 Spostare l'attenzione attraverso il meridiano verticale

Un'altra questione rilevante nell'analizzare i cambiamenti nei meccanismi attentivi in seguito a callosotomia, riguarda lo spostamento dell'attenzione visuo-spaziale da un emicampo visivo a un altro, attraverso il naturale confine costituito dal meridiano verticale.

Lo studio di Reuter-Lorenz & Fendrich (1990) si è proposto di indagare il ruolo dell'interazione interemisferica, mediata dal corpo calloso, nello spostamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale, ovvero il confine centrale nella rappresentazione corticale del campo visivo.

Ricerche precedenti hanno mostrato che i costi nei tempi di reazione nel *cueing task* nelle prove invalide sono maggiori quando *cue* e *target* vengono presentati in emicampi differenti, rispetto a quando vengono presentati nello stesso emicampo (Hughes & Zimba, 1985, 1987; Downing & Pinker, 1985; Rizzolati et al. 1987).

Questi risultati portano a concludere che riorientare l'attenzione nello stesso emicampo sia più efficace che riorientarla attraverso gli emicampi (Reuter-Lorenz & Fendrich, 1990).

Presupponendo che il controllo dell'attenzione segua la stessa controlateralità della rappresentazione del campo visivo, è verosimile supporre che uno spostamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale richieda una collaborazione interemisferica non necessaria nell'orientamento attentivo nello stesso emicampo, e che tale interazione avvenga per mezzo del corpo calloso e/o attraverso percorsi subcorticali (Reuter-Lorenz & Fendrich, 1990).

I maggiori costi trovati nei tempi di reazione nelle prove invalide quando *cue* e *target* si trovavano in diversi emicampi sembrano essere conseguenza di questa necessaria integrazione.

Tornando alla ricerca in questione, lo studio si proponeva di chiarire il ruolo del corpo calloso nell'orientamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale, comparando, nei pazienti callosotomizzati, l'efficienza dell'orientamento dell'attenzione nello stesso emicampo rispetto all'orientamento tra emicampi visivi.

In un primo esperimento in cui era utilizzato il classico *cueing task* venivano comparati i costi nei tempi di reazione (tempo di reazione nelle prove valide meno il tempo di reazione nelle prove invalide) associati rispettivamente alle prove invalide con *cue* e *target* appartenenti al medesimo emicampo e a quelle invalide con *cue* e *target* presentati in emicampi differenti.

Prendevano parte all'esperimento 2 pazienti che avevano subito una callosotomia totale e uno trattato con callosotomia parziale, assieme a 8 individui di controllo selezionati per età.

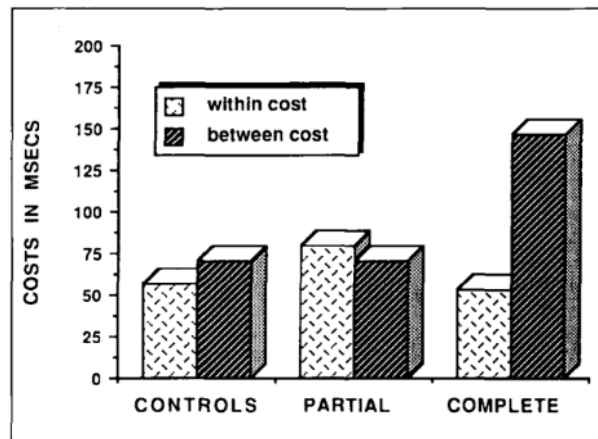


Figura 5a. Rappresentazione grafica dei risultati del primo esperimento. Si può osservare come solo tra i pazienti con callosotomia totale si assista a un aumento significativo nei costi relativamente alla condizione con cue e target presentati in emicampi opposti.

Fonte: Reuter-Lorentz & Fendrich, 1990.

Dal grafico riportato in figura 5a si nota un maggiore costo nei tempi di reazione nello spostamento dell'attenzione attraverso gli emicampi nelle prove invalide nei soggetti che avevano subito callosotomia totale, suggerendo che la completa resezione del corpo calloso comprometta l'efficienza nell'orientare l'attenzione tra emicampi visivi.

Il fatto che questo dato non sia stato trovato nei soggetti parzialmente callosotomizzati suggerisce altresì che sia la porzione posteriore del corpo calloso a contribuire all'orientamento attentivo attraverso gli emicampi (Reuter-Lorenz & Fendrich, 1990).

Per verificare che questa difficoltà nell'orientare l'attenzione fosse specifica dello spostamento attraverso il meridiano verticale, gli autori dello studio hanno modificato le condizioni sperimentali, valutando gli stessi costi nello spostamento dell'attenzione attraverso il meridiano orizzontale e all'interno dello stesso emicampo (superiore e inferiore).

Come mostrato in figura 5b, i pazienti callosotomizzati non hanno rivelato alcuna difficoltà nel riorientamento dell'attenzione attraverso il meridiano orizzontale, a riprova del fatto che a essere compromesso sia specificamente lo spostamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale.

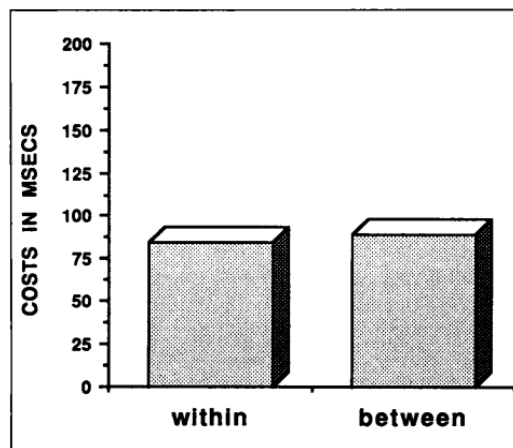


Figura 5b. Rappresentazione grafica dei risultati del secondo esperimento. Si può osservare come i costi, associati ai tempi di reazione, non varino nel caso in cui cue e target si trovano nello stesso emicampo (inferiore o superiore) e nel caso in cui si trovano in emicampi differenti, in entrambi i lati del meridiano verticale. Fonte: Reuter-Lorentz & Fendrich, 1990.

Un altro possibile fattore confondente riguarda la distinzione fra il meridiano verticale retinotopico e il piano sagittale relativo a coordinate egocentriche; prendendo come riferimento quest'ultimo, la difficoltà a riorientare l'attenzione visuo-spaziale si avrebbe allora nello spostamento da un emispazio all'altro, attraverso il piano sagittale.

Per scartare questa ipotesi concorrente, gli autori hanno modificato nuovamente le condizioni sperimentali, chiedendo al soggetto di ruotare di 90° la testa e al contempo ruotando il monitor di 90°. Grazie a questo espediente è stato possibile dissociare i due sistemi di coordinate, di modo da disporli in relazione perpendicolare; in queste condizioni, uno spostamento attraverso il meridiano verticale retinotopico sarebbe equivalso a uno spostamento attraverso gli emispazi superiore e inferiore.

Dal momento che il precedente esperimento non aveva rivelato alcuna difficoltà nello spostamento dell'attenzione tra l'emicampo superiore e quello inferiore, attraverso il meridiano orizzontale, qualsiasi svantaggio rilevato nelle prove così strutturate non può che attribuirsi all'orientamento attentivo attraverso il meridiano verticale retinico.

Come mostrato in figura 5c, si ritrova lo stesso rapporto di costi fra le due condizioni (spostamento intra- e inter- emispazio) osservato nel primo esperimento, ovvero una maggiore difficoltà nello spostamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale retinico.

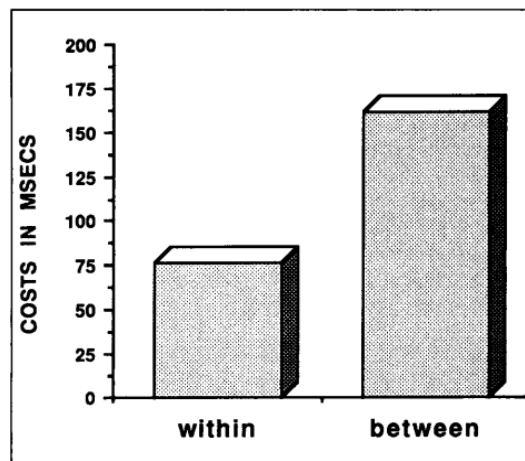


Figura 5c. Rappresentazione grafica degli esiti dell'esperimento con coordinate dissociate. È possibile osservare che, al pari del primo esperimento, si sono trovati ancora alti costi nell'orientamento dell'attenzione attraverso il meridiano verticale retinico, nonostante la peculiare configurazione dell'esperimento abbia dissociato quest'ultimo dalle coordinate spaziali egocentriche. Fonte: Reuter-Lorentz & Fendrich, 1990.

Nello studio di Reuter-Lorentz & Fendrich (1990) viene infine indagato un ultimo aspetto. Inizialmente si era supposto che la difficoltà riscontrata nel riorientamento attraverso gli emicampi fosse relativa a un dispiegamento volontario dell'attenzione visuo-spaziale. Un'ipotesi concorrente, che potrebbe spiegare allo stesso modo l'esito svantaggioso delle prove con *cue* e *target* presentati ai due lati del meridiano verticale, riguarda il peculiare effetto che il *cue* potrebbe avere nell'emicampo reclutato. Il *cue* potrebbe infatti funzionare come segnale di allerta per l'emisfero controlaterale, aumentando di fatto la sua prontezza a rilevare un futuro stimolo *target* presentato entro il suo emicampo; complementariamente, l'altro emisfero cerebrale rimarrebbe in uno stato di bassa allerta, data la mancata inoculazione del *cue* nel suo emicampo.

Se fosse questa differente prontezza dei due emisferi a causare la difficoltà incontrata nel riorientamento attentivo attraverso il meridiano verticale, allora questo effetto non dovrebbe dipendere dalla validità predittiva del *cue* e dovrebbe manifestarsi ugualmente utilizzando dei *cue* senza alcuna validità informativa.

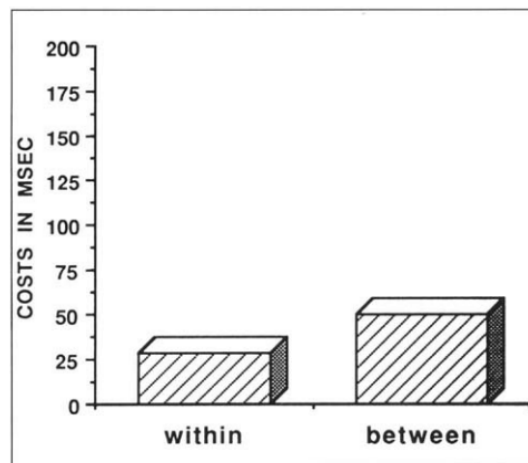


Figura 5d. In questa rappresentazione figurano gli esiti dell'esperimento volto a separare il possibile contributo (nel determinare i costi nello spostamento tra emicampi) dell'orientamento endogeno dell'attenzione attraverso il meridiano verticale da un possibile effetto del cue nello stimolare l'allerta e la prontezza generale dei due emisferi cerebrali. Fonte: Reuter-Lorentz & Fendrich, 1990.

In figura 5d sono illustrati gli esiti di quest'ultima variazione sperimentale, in cui *cues* periferici non informativi hanno sostituito *cues* con valore predittivo.

Come si può osservare, i *cues* non predittivi hanno contribuito a ridurre i costi osservati nella condizione di riorientamento attraverso il meridiano verticale, suggerendo che parte dei costi potrebbero essere attribuiti alla diseguale prontezza degli emisferi, tuttavia, sembrerebbe che l'orientamento volontario dell'attenzione in risposta del *cue* sia il primario responsabile degli effetti osservati nell'orientamento attraverso gli emicampi.

3.3 Bias attentivo nei pazienti callosotomizzati

Precedentemente si è accennato a proposito dei network fronto-parietali coinvolti nel controllo dell'attenzione visuo-spaziale. Si è visto come il network VAN sia fortemente lateralizzato a destra e regoli l'*orienting* esogeno. Normalmente i due network sono in equilibrio competitivo, per cui il DAN si occupa dei processi che richiedono l'orientamento volontario dell'attenzione, ma viene interrotto dal VAN qualora apparisse uno stimolo saliente.

Per come sono strutturati questi networks e considerando le evidenze cliniche, si è ipotizzato che entrambi gli emisferi cerebrali possano allocare l'attenzione nei rispettivi emicampi controlaterali, ma che solo l'emisfero destro sia in grado di dirigere l'attenzione anche nell'emispazio ipsilaterale.

Clinicamente si è infatti constatato che danni temporo-parietali all'emisfero destro risultano in forme di inattenzione verso l'emicampo sinistro (eminegligenza spaziale sinistra), mentre le stesse lesioni all'emisfero sinistro non comportano disagi altrettanto marcati nell'allocare l'attenzione nell'emicampo destro.

La dominanza dell'emisfero destro nel dispiegamento dell'attenzione visuo-spaziale in entrambi gli emicampi è suggellata anche dal cosiddetto *pseudoneglect*, ovvero la presenza nei soggetti sani di un debole bias attentivo verso sinistra.

Alcuni studi hanno mostrato che l'attenzione visuo-spaziale viene danneggiata non solo in seguito a lesioni focali temporo-parietali e frontali destre, ma anche quando queste stesse aree vengono funzionalmente disconnesse dalle loro omologhe nell'emisfero controlaterale, cosa che può avvenire sezionando completamente il corpo calloso (Hausmann, Corballis & Fabri, 2021).

Hausmann et al. (2021) hanno approfondito la questione in relazione alla callosotomia e si sono posti lo scopo di chiarire il ruolo del corpo calloso nell'integrazione dell'attenzione visuo-spaziale; considerando la letteratura empirica precedente, l'ipotesi prevedeva di trovare nei soggetti esaminati un forte bias attentivo verso destra (e quindi una marcata inattenzione verso l'emicampo sinistro, al pari di soggetti con lesioni parietali destre).

Allo studio hanno preso parte due soggetti trattati con callosotomia totale come rimedio a un'epilessia farmaco-resistente, D.D.C. e D.D.V.

Per valutare la presenza e l'entità del bias attentivo, Hausmann et al. (2021) si sono serviti del *grayscales test*, un tipo di compito che non necessita la produzione di una risposta manuale (isolando di fatto l'abilità visuo-spaziale da quella motoria) e che si è mostrato essere più sensibile del classico test della bisezione di linee nell'individuare la presenza di bias attentivi (Friedrich et al., 2016).

Descritto originariamente da Mattingley et al. (1994), il *grayscales task* prevedeva l'esposizione di uno stimolo costituito da due rettangoli orizzontali separati, di uguale lunghezza e posti l'uno sopra all'altro, come nell'immagine 6a.

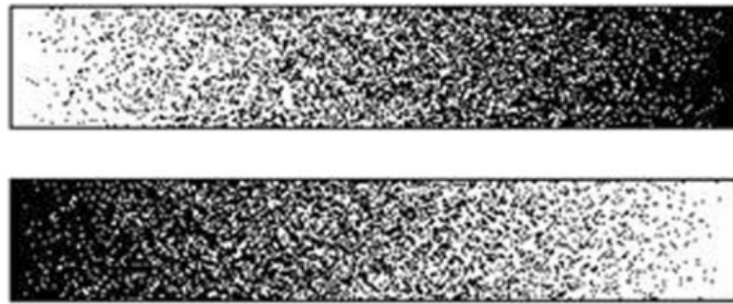


Figura 6a. Esempio di stimolo nel greyscales test. I due rettangoli simulano un cambiamento nella luminosità passando gradualmente da un'estremità bianca a una nera (e viceversa); i due stimoli hanno la medesima luminosità, essendo forme isomere specchiate. Fonte: Hausmann et al. 2021.

Lungo i rettangoli si realizzava mediante un totale di 50 incrementi il passaggio da un'estremità nera a una bianca, e tale andamento era opposto nei due rettangoli, ovvero le due figure risultavano specchiate.

Ad ogni incremento venivano aggiunti una serie crescente di pixels bianchi sfasati lungo la linea verticale, di modo da ricreare l'impressione globale di un cambiamento nella luminosità.

In uno studio di Mattingley et al. (1994) condotto su soggetti normali utilizzando il *grayscale test* si è trovato che, alla domanda su quale dei due stimoli fosse più scuro, i soggetti tendevano a scegliere quello che aveva l'estremità nera a sinistra, indicando la presenza di un bias *leftward*, similmente a quanto avviene nel test della bisezione di linee.

Il bias verso sinistra in questo caso favorirebbe la salienza della parte di stimolo posto in questa regione che, relativamente allo stimolo specchiato con estremità bianca a sinistra, verrà probabilmente percepita come più scura.

Lo studio presente utilizza una versione cartacea dello stesso stimolo creata da Nicholls et al. (1999), e alterna in 40 prove la presenza dei due stimoli scambiati di posizione e con lunghezze diverse, una corta e una più lunga. Ogni versione veniva equamente rappresentata.

Inizialmente ai soggetti, posti con la linea mediana del corpo centrata con il centro della pagina, veniva chiesto di selezionare quale stimolo apparisse più scuro. Successivamente veniva chiesto loro di riesaminare lo stesso set di stimoli e di selezionare quello che apparisse più chiaro. La risposta veniva fornita nominando sopra o sotto, rispettivamente per lo stimolo in alto e quello in basso.

Infine, veniva chiesto loro di indicare su una scala da 1 a 5 quanto simili percepissero i due stimoli in termini di luminosità.

L'entità della risposta avrebbe fornito un'indicazione della direzione del bias, poiché gli stimoli risultano in realtà identici dal punto di vista della luminosità.

I risultati sono stati analizzati calcolando la probabilità binomiale relativa al numero di risposte *leftward*, ovvero indicanti un bias verso sinistra, in entrambe le condizioni (chiaro/scuro) su un totale di 40 prove (figura 6b).

D.D.C. ha concluso la prova con nessuna risposta *leftward*, in entrambe le condizioni, mostrando un forte bias attentivo verso destra. In quanto a similarità dei due stimoli in termini di luminosità, ha riportato un punteggio di 3.5 (da 1 a 5), rivelando che i due stimoli oggettivamente identici in tale caratteristica venivano percepiti da lui come diversi.

D.D.V. ha invece mostrato 2 sole risposte *leftward* su 40 prove nella condizione “scuro” e 15 risposte *leftward* su 40 nella condizione “chiaro”, con un bias del 90% e del 25% rispettivamente per le due condizioni. Anche il secondo soggetto ha riportato di percepire diversamente i due stimoli in quanto a luminosità (2.5 su una scala da 1 a 5).

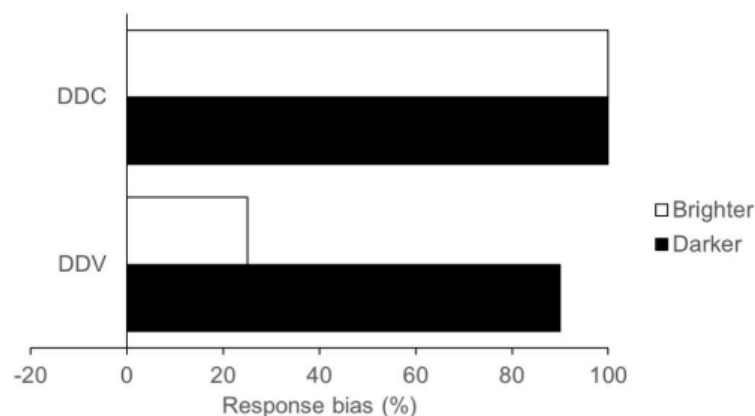


Figura 6b. Rappresentazione grafica dei risultati delle prove nei due soggetti esaminati. In ascissa si ha la percentuale di risposte con bias attentivo verso destra nelle due condizioni chiaro/scuro. Fonte: Hausmann et al. 2021.

Nello studio è stata altresì esclusa la partecipazione di un possibile fattore confondente, ovvero la possibilità che i due soggetti non fossero in grado di percepire gli stimoli nella loro interezza, escludendo pertanto una loro porzione; i soggetti si sono invece mostrati in grado di indicare i punti di inizio e fine della scala di grigio.

I risultati dello studio confermano la presenza, nei pazienti callosotomizzati, di un forte bias attentivo verso destra; in particolare il paziente D.D.C. mostrava la presenza del bias al 100% in entrambe le condizioni, mentre D.D.V. mostrava il bias attentivo verso destra in misura maggiore nella condizione “scuro”, anche se tale bias risultava ancora presente nelle prove “chiare” quando lo stimolo aveva lunghezza maggiore (M. Hausmann et al., 2021).

L’entità dei *righward* bias nei pazienti callosotomizzati è stata trovata essere simile a quella riscontrata in 78 pazienti che avevano subito lesioni all’emisfero destro, suggerendo che il bias attentivo verso destra poteva essere una comune conseguenza di entrambi i tipi di lesione (Hausmann et al., 2021).

Per quanto riguarda invece il ruolo del corpo calloso nell’integrazione dell’attenzione visuo-spaziale, lo studio appena esaminato non è stato in grado di determinare quale porzione commessurale possa ritenersi responsabile di tale integrazione. Ricerche precedenti suggeriscono tuttavia che l’entità del bias vari in funzione della porzione di corpo calloso sezionata o danneggiata (Hausmann et al., 2003b).

Pazienti che hanno subito una callosotomia parziale o un danno ristretto alle aree anteriori del corpo calloso mostrano bias simili agli adulti neurotipici (*pseudoneglect*), suggerendo che il bias attentivo sia proporzionale all’estensione della disconnessione callosale e dipenda dalla porzione dello splenio risparmiata (Hausmann et al., 2003b).

L’importanza delle porzioni posteriori del corpo calloso nell’integrazione dell’attenzione visuo-spaziale trova conferma anche nel fatto che lo splenio è responsabile della connessione tra le aree temporo-parietali posteriori dei due emisferi cerebrali e danni in queste aree generalmente esitano in eminegligenza spaziale (Karnath & Rorden, 2012).

4. Conclusioni

Gli studi appena esaminati hanno contribuito a gettare luce su alcuni aspetti delle dinamiche dell’attenzione visuo-spaziale nei pazienti callosotomizzati. Sono emerse prove a favore della capacità dei due emisferi separati di orientare autonomamente e simultaneamente l’attenzione visuo-spaziale nei rispettivi emicampi, benché questa capacità non si ritrovi in tutti i pazienti callosotomizzati. Questi risultati corroborano

l'ipotesi che il corpo calloso sia cruciale per l'integrazione dell'informazione attentiva visuo-spaziale e che sia proprio la presenza intatta di quest'ultimo a forzare i soggetti sani ad avere un unico focus attentivo. L'eterogeneità degli esiti però, sembra suggerire che, malgrado il corpo calloso risulti il percorso prediletto, potrebbe non essere l'unico fascio di fibre destinato a integrare l'informazione attentiva, per cui in alcuni pazienti si avrebbe un impiego di vie subcorticali per il trasferimento interemisferico.

Ad essere compromessa sembra anche la capacità di spostare l'attenzione attraverso il meridiano verticale retinico, almeno per quanto riguarda il riorientamento dell'attenzione attraverso gli emicampi esaminato con il paradigma di Posner. Sebbene tale difficoltà sia in parte attribuibile all'effetto allertante che il *cue* inoculato in un emicampo produce sull'emisfero cerebrale controlaterale, e quindi alla mancata prontezza dell'altro emisfero rimasto all'oscuro di ogni indicazione, le evidenze precedentemente riportate supportano l'idea che sia proprio l'orientamento volontario dell'attenzione visuo-spaziale attraverso il meridiano retinico verticale a essere primariamente compromesso.

L'ultimo aspetto esaminato riguarda la presenza nei pazienti callosotomizzati di un bias attentivo verso destra, e quindi la presenza di inattenzione spaziale verso l'emicampo sinistro.

Considerando quanto già riportato in letteratura sul ruolo perlopiù dominante dell'emisfero destro nel controllo attentivo, desunto osservando l'insorgenza di eminegligenza spaziale e/o estinzione prevalentemente nei pazienti che avevano subito lesioni alle aree parietali destre, si è ipotizzato che anche una disconnessione di quelle stesse aree dalle loro omologhe dell'altro emisfero, per mezzo ad esempio della callosotomia, potesse comportare effetti neuropsicologici comparabili. Ciò che è stato trovato riflette proprio questa assunzione, difatti i pazienti callosotomizzati esaminati nello studio precedente mostravano di soffrire di un forte bias attentivo verso destra, e quindi di inattenzione verso l'emicampo sinistro.

Tutti gli studi precedentemente riportati enfatizzano il ruolo cruciale della regione posteriore del corpo calloso nel mediare l'integrazione dell'informazione attentiva visuo-spaziale, benché nella considerazione sul sistema attentivo unitario/diviso sembra avere un ruolo importante nella risposta attentiva integrata la sinergica interazione dei lobi frontali, anch'essi disgiunti nella callosotomia. Maggiormente compromesso dall'assenza

della regione posteriore del corpo calloso rimane l'orientamento dell'attenzione visuo-spaziale attraverso il meridiano verticale retinico, che verrebbe in questo caso operato con minore efficienza da percorsi subcorticali.

Il principale limite di questi studi è la loro scarsa generalizzabilità. Spesso in questo tipo di esperimenti si fa ricorso a un limitato campione di casi clinici, la cui eterogeneità interna è molto elevata. Ogni paziente callosotomizzato risulta infatti essere un caso *sé stante*, per il contributo negli esiti neuropsicologici di fattori individuali pre-operatori, come ad esempio il reclutamento di vie extra-callosali per l'integrazione dell'informazione inter-emisferica o per la peculiare strutturazione stessa delle vie callosali. Anche l'operazione potrebbe generare casi non assimilabili tra loro, per via dell'unicità di ogni singola resezione la cui entità non è comunque circoscrivibile nel dettaglio. Risultati meno eterogenei potrebbero essere trovati in futuro circoscrivendo meglio il campione e ampliando il numero dei soggetti esaminati.

A concorrere in questa difficoltà sono anche la complessità ed elusività del concetto stesso di attenzione, che si erge a elemento unificatore di un insieme variegato di operazioni cognitive.

Dal momento che è di grande interesse conoscere anche la rilevanza che questi possibili esiti neuropsicologici sul versante dell'attenzione visuo-spaziale abbiano nella vita quotidiana dei soggetti che hanno subito callosotomia, per poter eventualmente ricorrere a soluzioni riparatorie, uno slancio nella dettagliata ricerca di difficoltà attentive significative rimane auspicabile, considerando l'importante ruolo svolto dall'attenzione nella vita cognitiva, affettiva e sociale degli individui.

Bibliografia

Arguin M, Lassonde M, Quattrini A, Del Pesce M, Foschi N, Papo I. Divided visuo-spatial attention systems with total and anterior callosotomy. *Neuropsychologia*. 2000;38(3):283-91. doi: 10.1016/s0028-3932(99)00077-9. PMID: 10678694. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(99\)00077-9](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(99)00077-9)

Hausmann M, Corballis MC, Fabri M. Revisiting the attentional bias in the split brain. *Neuropsychologia*. 2021 Nov 12;162:108042. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2021.108042. Epub 2021 Sep 25. PMID: 34582822. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108042>

Reuter-Lorenz PA, Fendrich R. Orienting Attention across the Vertical Meridian: Evidence from Callosotomy Patients. *J Cogn Neurosci*. 1990 Summer;2(3):232-8. doi: 10.1162/jocn.1990.2.3.232. PMID: 23972046. <https://doi.org/10.1162/jocn.1990.2.3.232>

Mangun GR, Luck SJ, Plager R, Loftus W, Hillyard SA, Handy T, Clark VP, Gazzaniga MS. Monitoring the visual world: hemispheric asymmetries and subcortical processes in attention. *J Cogn Neurosci*. 1994 Summer;6(3):267-75. doi: 10.1162/jocn.1994.6.3.267. PMID: 23964976. <https://doi.org/10.1162/jocn.1994.6.3.267>

Vaddiparti A, Huang R, Blihar D, Du Plessis M, Montalbano MJ, Tubbs RS, Loukas M. The Evolution of Corpus Callosotomy for Epilepsy Management. *World Neurosurg*. 2021 Jan;145:455-461. doi: 10.1016/j.wneu.2020.08.178. Epub 2020 Sep 2. PMID: 32889189. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.08.178>

Bartolomeo P, Thiebaut de Schotten M, Chica AB. Brain networks of visuospatial attention and their disruption in visual neglect. *Front Hum Neurosci*. 2012 May 4;6:110. doi: 10.3389/fnhum.2012.00110. PMID: 22586384; PMCID: PMC3343690. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00110>

Markosian C, Patel S, Kosach S, Goodman RR, Tomycz LD. Corpus Callosotomy in the Modern Era: Origins, Efficacy, Technical Variations, Complications, and Indications. *World Neurosurg*. 2022 Mar;159:146-155. doi: 10.1016/j.wneu.2022.01.037. Epub 2022 Jan 13. PMID: 35033693. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2022.01.037>

Thohar Arifin M, Muttaqin Z, Bakhtiar Y, Andar E, Priambada D, Kurnia H, Risdianto A, Tsaniadi K, Kusnarto G, Bunyamin J. Seizure Outcomes in Patients with Complete versus Anterior Corpus Callosotomy: Analysis of Outcome. *Int J Gen Med*. 2020 Mar 31;13:105-110. doi: 10.2147/IJGM.S247438. PMID: 32280261; PMCID: PMC7127778. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s247438>

Graham D, Tisdall MM, Gill D. Corpus callosotomy outcomes in pediatric patients: A systematic review. *Epilepsia*. 2016 Jul;57(7):1053-68. doi: 10.1111/epi.13408. Epub 2016 May 29. PMID: 27237542. <https://doi.org/10.1111/epi.13408>

Chan AY, Rolston JD, Lee B, Vadera S, Englot DJ. Rates and predictors of seizure outcome after corpus callosotomy for drug-resistant epilepsy: a meta-analysis. *J Neurosurg*. 2018 May 1:1-10. doi: 10.3171/2017.12.JNS172331. Epub ahead of print. PMID: 29999448; PMCID: PMC6274594. <https://doi.org/10.3171/2017.12.jns172331>

Vossel S, Geng JJ, Fink GR. Dorsal and ventral attention systems: distinct neural circuits but collaborative roles. *Neuroscientist*. 2014 Apr;20(2):150-9. doi: 10.1177/1073858413494269. Epub 2013 Jul 8. PMID: 23835449; PMCID: PMC4107817. <https://doi.org/10.1177/1073858413494269>

DiQuattro NE, Geng JJ. Contextual knowledge configures attentional control networks. *J Neurosci*. 2011 Dec 7;31(49):18026-35. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4040-11.2011. PMID: 22159116; PMCID: PMC6634143. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4040-11.2011>

Kinsbourne, M. (1993). Orientational bias model of unilateral neglect: Evidence from attentional gradients within hemispace. In I. H. Robertson & J. C. Marshall (Eds.), *Unilateral neglect: Clinical and experimental studies* (pp. 63–86). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Kolb B., Whishaw Q. I. (1980). *Fundamentals of Human Neuropsychology*.

Holtzman D. J., Volpe T. B., Gazzaniga S. M. (1984). Spatial Orientation following Commissural Section.

Binder D. M., Hirokawa N., Windhorst U. (2009). Encyclopedia of Neuroscience.

Wolfe J. Visual attention. In: De Valois KK, editor. Seeing. 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press; 2000. p. 335-386.

Reeves G. A., Roberts W. D. (1995). Epilepsy and the Corpus Callosum 2, part of: Advances in Behavioural Biology (ABBI, volume 45).