



di Mario Lecce,  
optometrista  
FCOVD  
e-mail:info@  
mariolecce.org

Parole chiave:  
*dislessia,  
Saccadi astratte,  
Visual Grasp  
Reflex*

*Dove non diversamente indicato il materiale illustrativo è di proprietà dell'autore. È vietata pertanto qualsiasi riproduzione fotostatica o digitale se non espressamente autorizzata dall'Autore stesso.*

# MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

*In questo articolo si sottolinea l'importanza, per la lettura di normolettori e di soggetti con disturbi specifici dell'apprendimento (DSA), dello sviluppo dei movimenti oculari saccadici volontari, sia automatici che controllati. Attraverso l'esposizione delle attuali conoscenze riguardanti la rete neurale saccadica e il coordinamento occhio-testa, e mostrando i risultati dell'applicazione del paradigma dell'antisaccade a soggetti dislessici e a normolettori, si giunge a: 1) individuare nello sviluppo della componente volontaria controllata esplicita dell'attenzione un importante elemento per l'acquisizione delle abilità di lettura; 2) evidenziare l'asse volontario-riflesso come nuova diade di riferimento per la gestione optometrica del paziente con problemi di attenzione visuo-spaziale e/o oculomotori.*

## ABSTRACT

*This article underlines how the development of automatic and controlled voluntary saccadic eye movements is important for reading, both in normal readers and in subjects with specific learning disabilities (SLD). By describing current knowledge as regards the saccadic neural network and the eye-head coordination and by showing results referring to the application of the anti-saccade paradigm to dyslexic subjects and normal readers, we get to: 1) identify in the development of the explicitly voluntary controlled element of attention an important factor for the acquisition of reading abilities; 2) underline the voluntary-reflex axis as a new reference dyad to handle the optometric patient with visual-spatial and/or oculomotor attention problems.*

## Definizioni

Le saccades sono rapidi spostamenti della fissazione degli occhi da un punto dello spazio ad un altro, finalizzati a porre una nuova immagine sulla fovea (foveazione): nel corso della lettura vengono usati per spostare la fissazione da una sillaba, parola o gruppo di parole all'altro al fine di ottenere le informazioni visive essenziali per la decodifica del testo. Nel contesto della lettura di una singola riga di testo, le saccades hanno un'ampiezza da 0,5 a 1,5 gradi circa (Steinman, 2004), una durata di circa 50 msec e una durata delle fissazioni che intercorrono tra una saccade e l'altra che va da 150 a 350 msec.

## Saccadi "astratte"<sup>1</sup> e movimenti oculari di lettura

Negli anni '80 Pavlidis (1981; 1983) esponeva i risultati delle sue ricerche sui movimenti oculari dei dislessici: il suo campione di 12 soggetti dislessici (+ 12 normolettori abbinati per età, intelligenza e background socio-economico, privi di "ovvi handicap emotivi o fisici") mostrava evidenti disfunzioni oculomotorie nell'esecuzione di saccadi "astratte". Il paradigma utilizzato da Pavlidis comportava la fissazione di 5 LED equidistanti (4° di intervallo) disposti in sequenza orizzontale, ed accesi in stretta successione (nessun gap o overlap<sup>2</sup>): nell'esecuzione di saccadi tra questi target i dislessici evidenziavano un pattern saccadico irregolare che l'autore interpretava come disfunzione oculomotoria responsabile della produzione dei tipici movimenti oculari irregolari rilevati nel corso della lettura di un testo da parte di soggetti dislessici (ricco di regressioni, rifissazioni, fissazioni dei funtori, ecc.) e capaci di generare lentezza e scarsa comprensione. Pavlidis propose il paradigma

come test diagnostico.

Tuttavia le successive ripetizioni dell'esperimento da parte di altri ricercatori (Stanley et al., 1983; Brown et al., 1983; Olson et al., 1983), non confermarono i risultati di Pavlidis. Quest'ultimo mise in dubbio la validità dei risultati delle altre ricerche sostenendo che gli studi in questione differivano per criteri di selezione dei soggetti, procedure sperimentali, procedure di analisi dei dati e caratteristiche temporospaziali dei target luminosi. Inoltre Pavlidis (1985) volle ripetere l'esperimento, e ottenne i medesimi risultati. Rayner (1985), oltre a mettere seriamente in discussione i criteri di selezione dei soggetti dislessici adottati da Pavlidis, sostenne che: «se i movimenti oculari erratici sono così pervasivi nei dislessici come sostiene Pavlidis, allora dovrebbero emergere indipendentemente dalla separazione spaziale tra target o dalla sequenza temporale dell'accensione dei target medesimi».

Questa convinzione è rimasta un criterio di riferimento per tutti i successivi studi sui movimenti oculari dei dislessici, e può essere riletta a questo modo: visto che non è possibile creare un paradigma sperimentale in grado di estrapolare completamente i contenuti visivi da quelli lessicali/fonologici del testo riuscendo ad analizzare come cambia il comportamento oculare nei due *ambienti* in modo perfettamente separato, l'unica via disponibile per dimostrare la presenza di un problema oculomotorio "di base" nel dislessico è la totale "decontestualizzazione" (linguistica e visiva) delle saccadi.

Secondo il paradigma scelto, delle componenti visive presenti nel testo vero e proprio si potrà salvare: la serialità, la permanenza dei target di fissazione, l'angolo di movi-

---

1 Saccadi astratte - Definiamo così le saccadi eseguite in un ambiente e con un task set che riducono al minimo la necessità di estrarre informazioni dalle fissazioni intersaccadiche (per es., la fissazione di consecutiva di punti luminosi).

2 Gap e Overlap – Due modalità di esposizione del punto di fissazione iniziale. In modalità Gap 1) compare il punto di fissazione; 2) scompare il punto di fissazione per un "periodo di gap"; 3) compare lo stimolo periferico. In modalità Overlap 1) compare il punto di fissazione; 2) compare lo stimolo periferico che rimane presente assieme al punto di fissazione per un "periodo di overlap"; 3) scompare il punto di fissazione.

Per un ulteriore approfondimento dell'argomento consultare l'articolo di Mario Lecce pubblicato sul numero 31-2 della Rivista Italiana di Optometria pag. 68-84.

Riv It Optom  
vol.

n.1 **32**

GEN-MAR 2009  
pagg. 28-46

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

mento oculare simile a quello medio eseguito nella lettura; oppure si potrà prevedere l'uso gruppi di X di differente lunghezza che simulano la disposizione delle parole lungo una linea di testo, ecc. Ma sicuramente non sarà presente un testo vero e proprio. Quindi, se in determinati ambienti e task "astratti", privi della necessità di ottenere informazioni di qualsiasi tipo da ciò che viene osservato, il dislessico riproduce un deficit oculomotorio qualsiasi (per esempio, nei tempi di fissazione, latenza, o nella velocità e accuratezza della saccade), allora, e solo allora, l'oculomotricità verrà considerata come co-fattore nell'eziopatogenesi della dislessia.

### **Teoria magnocellulare, attenzione visuo-spaziale e rete neurale delle saccades**

La teoria magnocellulare<sup>3</sup> ha dato alimento a ricerche nel settore dell'attenzione visuo-spaziale: in particolare Facoetti et al. hanno individuato particolari deficit attentivi in gruppi di dislessici (Lorusso et al., 2003; Facoetti et al., 2000; 2001; 2002; 2005). Anche Benso et al. (2005a) (sebbene su differenti basi teoriche) hanno di recente individuato deficit simili.

Tuttavia in questa sede ci preme sottolineare che in ambito neurologico e neurofisiologico la ricerca ha tentato invano di distinguere la rete necessaria allo spostamento implicito dell'attenzione (*covert*) da quella necessaria allo shifting esplicito della fissazione (*overt*).

Sebbene alcuni autori abbiano sostenuto che il dialogo tra campi oculari frontali (FEF) e

gli strati superficiali del collicolo superiore (SC), contenga risposte attentive solo quando è richiesta una selezione del target specificamente correlata alla generazione di una saccade (Wurtz et al., 1980; 1982) e nonostante altri (Gattass e Desimone, 1996) non siano riusciti a dimostrare l'inesistenza di un legame inestricabile tra accrescimento dell'attività dei neuroni degli strati superficiali del collicolo superiore e generazione della saccade, la ricerca successiva ha dimostrato una notevole sovrapposizione tra la rete dell'orientamento<sup>4</sup> implicito dell'attenzione e quella della saccade (Culham et al., 1998; Corbetta et al., 1998; Nobre et al., 2000; Schall JD, 2002; Ignashchenkova et al., 2003).

In altre parole, è ragionevole pensare che l'orientamento implicito dell'attenzione rivesta un ruolo decisivo nella programmazione motoria della saccade (Liversedge & Findlay, 2000; per un'opinione contraria vedi Castet et al., 2006), e si avvalga di una rete neurologica quasi sovrapponibile a quella dello spostamento esplicito dell'attenzione che è alla base delle saccadi di lettura.

All'interno della dinamica dell'attenzione volontaria (o *goal-directed*) (Corbetta & Shulman, 2002), - certamente coinvolta nella lettura "normale" molto più di quella involontaria/riflessa (guidata dallo stimolo) - ipotizziamo che, nel corso della lettura, esista un'interazione continua tra spostamenti dell'attenzione volontaria implicita (*covert*) e spostamenti dell'attenzione volontaria esplicita (*overt*, ovvero le saccades) in quanto funzioni diverse di una rete quasi sovrappo-

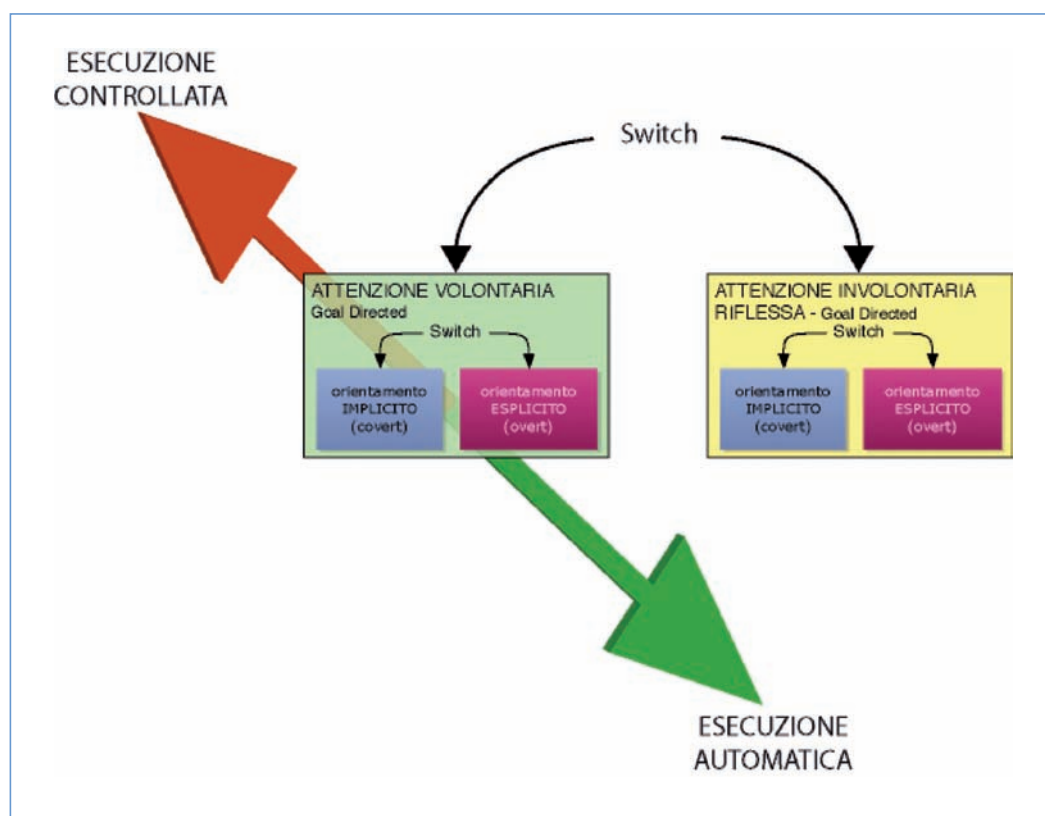
---

3 (Stein, 2004; Stein e Fowler, 1981; Stein, 2001; Stein e Walsh, 1997) elaborano la teoria magnocellulare della dislessia sulla base degli studi anatomici di Livingstone et al. (1991): La TM individua la causa della dislessia in un deficit dello sviluppo cellulare della via magnocellulare (riferendosi inizialmente solo alla via visiva - stream dorsale - ed estendendo successivamente il concetto ad altre parti del SNC - per es., ipotizzando deficit magnocellulari nelle vie uditive).

4 Il termine orientamento è citato in questo articolo con due possibili significati: 1) orientamento dell'attenzione implicito (spostamento del focus attentivo non manifestato comportamentalmente) o esplicito (spostamento del focus attentivo che si manifesta comportamentalmente); 2) movimenti di orientamento, ossia quei movimenti eseguiti da occhi e/o testa e/o busto al fine di centrare un oggetto di interesse nel campo visivo del soggetto.

ponibile. Oltre a questa sorta di “switch volontario”, nella figura 1 abbiamo tentato di rappresentare anche la flessibilità di gestione dell’attenzione volontaria tra due modalità di esecuzione: automatica a controllata.

Lo sviluppo della componente volontaria controllata esplicita di questo schema, sembra avere particolare importanza per l’acquisizione delle abilità di lettura, come vedremo nei prossimi paragrafi.



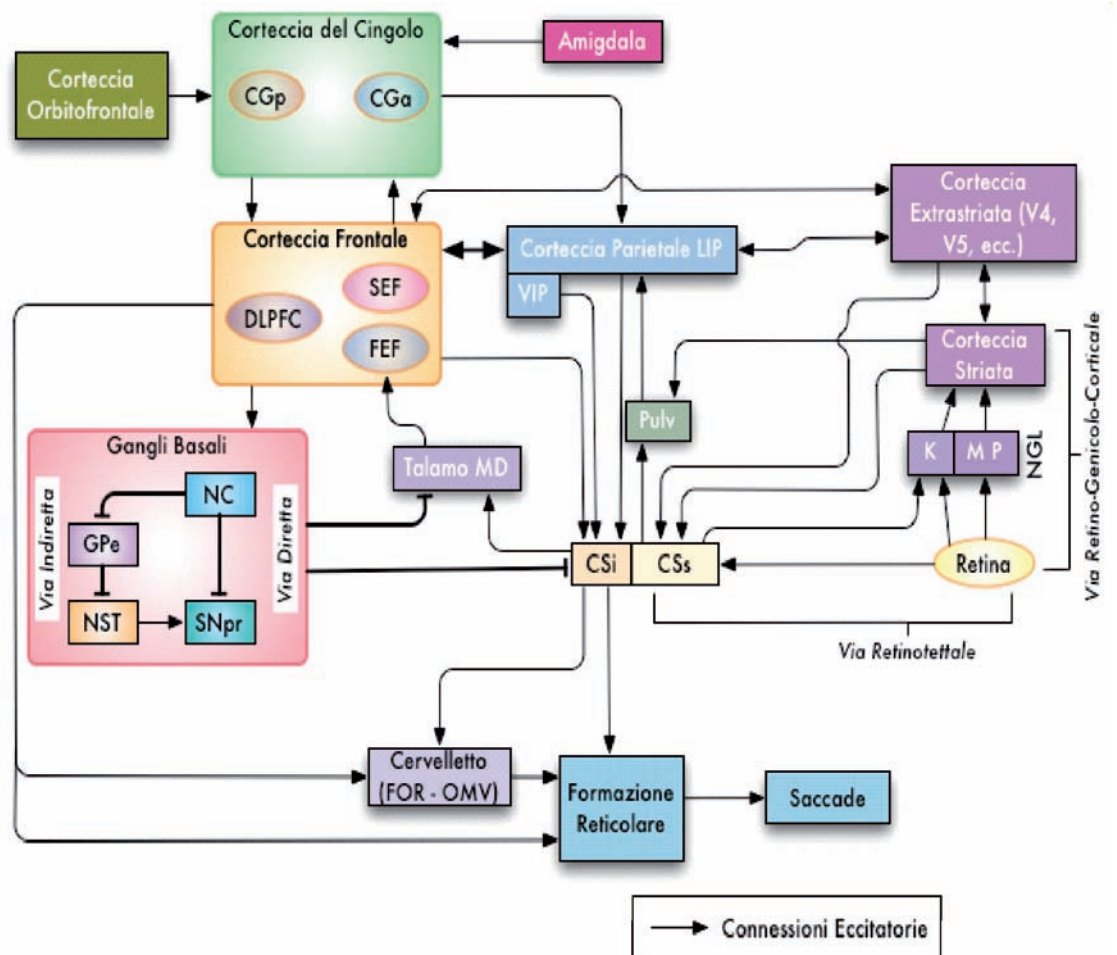
**Figura 1.** Schema semplificato delle interazioni tra attenzione volontaria implicita ed esplicita, automatica e controllata.

## La rete neurale saccadica e il paradigma dell’antigap

Per meglio illustrare le componenti della rete neurologica saccadica nelle parti che più la caratterizzano rispetto alla rete sottostante gli spostamenti d’attenzione volontaria implicita, nella figura 2 (a pagina seguente) si

mostra lo schema delle strutture cerebrali implicate nella soppressione e/o generazione dei movimenti oculari saccadici secondo Munoz e Everling (2004) da noi modificato sulla base dei risultati di Platt et al. (2004), Sommer e Wurtz (2004; 2006), Paré et al. (1999), Zee DS e Walker MF (2004) e di Bruce et al. (2004).

**MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI:  
LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI**



*Figura 2. Schema semplificato della rete saccadica.*

*Abbreviazioni:*

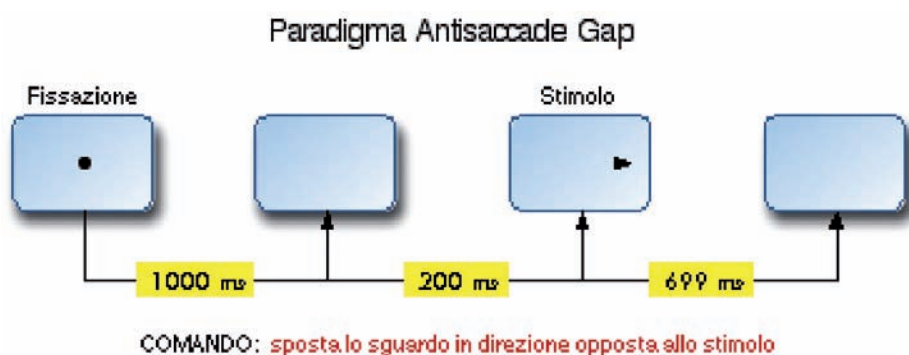
**GPe**= segmento esterno del globo pallido;  
**NST**= nucleo subtalamico;  
**SNpr** = substantia nigra pars reticulata;  
**NC**= nucleo caudato;  
**DLPFC**= corteccia prefrontale dorsolaterale;  
**SEF**= campi oculari supplementari;  
**FEF**= campi oculari frontali;  
**LIP**= area intraparietale laterale;  
**VIP**= area ventrale intraparietale;  
**CSi**= strati intermedi del collicolo superiore;  
**CSs**= strati superficiali del collicolo superiore;

**NGL**= nuclei genicolati laterali;  
**K** = strato koniocellulare;  
**M**= strato magnocellulare;  
**P**= strato parvocellulare;  
**CGa**= corteccia del cingolo anteriore – Brodmann 24 della corteccia mediale frontale;  
**CGp**= corteccia del cingolo posteriore – Brodmann 32, 29, 30 e 31;  
**Talamo MD**= talamo mediodorsale;  
**Pulv**= pulvinare;  
**FOR**= regione fastigiale oculomotoria;  
**OMV**= verme oculomotorio.

Il collicolo superiore (SC) riveste un ruolo cruciale nell'orientamento degli occhi e nei movimenti della testa. Si sa, per esempio, che l'attività nel SC predice sia la metrica che il timing dei movimenti di orientamento. Molti autori vedono il SC come percorso comune finale per la generazione di movimenti oculari rapidi nello stesso senso in cui Sherrington usava il termine percorso comune finale per descrivere i neuroni motori alfa nella spina dorsale. Di fatto il SC riflette l'output cumulativo dei

sistemi neurologici che selezionano ed eseguono i movimenti di orientamento. Tra questi, i più intimamente connessi al SC sono i campi oculari frontali (FEF), la cui circuiteria sembra essere fortemente parallela alle proprietà funzionali dei circuiti del SC verso i quali proietta.

Allo scopo di conoscere meglio le componenti di questa rete e le loro funzioni, è stato utilizzato, tra gli altri, il paradigma dell'antisaccade (vedi figura 3) proposto per la prima volta da Hallet (1978; Hallet e Adams, 1981).



**Figura 3.** Schema del paradigma dell'antisaccade con gap.

Tratto da Fischer B, Gezeck S, Hartnegg K. *The analysis of saccadic eye movements from gap and overlap paradigms. Brain Research Protocols*, 2 (1997) 47-52.

Descrivendo step-by-step la procedura di Anti-gap (antisaccade con periodo di gap) utilizzata da Fischer et al. (1997a), possiamo distinguere le seguenti fasi:

1. Periodo di esposizione del punto di fissazione centrale di 1 secondo (dimensioni del punto di fissazione 0,1°). Compito del soggetto: mantenere la fissazione stabile e costante sul punto.
2. Periodo di Gap: allo scopo di svincolare la fissazione, per 200 msec scompare qualsiasi punto di fissazione dallo schermo.
3. Comparsa dello stimolo (dimensioni an-

golari dello stimolo 0,2°) a 14° di eccentricità rispetto al punto di fissazione, casualmente a destra o a sinistra. Compito del soggetto: da questo momento in poi, deve sopprimere in comando interno che porta al movimento riflesso degli occhi verso lo stimolo, e programmare ed eseguire una saccade sul lato opposto (rispetto al luogo di comparsa dello stimolo).

4. Scomparsa dello stimolo dopo 699 msec.

La misurazione dei risultati viene spesso eseguita con strumenti ad infrarossi che arri-

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

vano ad una risoluzione temporale di 1 msec, e ad una risoluzione spaziale di 0,2°.

Questo paradigma è stato utilizzato sull'uomo, ma quello utilizzato sulle scimmie per gli esperimenti neurofisiologici è molto simile.

Il soggetto deve sempre dissociare la codifica dello stimolo rispetto alla preparazione della risposta: in altre parole deve sopprimere una risposta congruente rispetto allo stimolo (prosaccade<sup>5</sup>), e generare una mappatura stimolo-risposta incongruente (antisaccade). Il processo di aborto della risposta automatica è "time-consuming" e porta a tempi di reazione più lunghi per le risposte esatte (antisaccadi generate correttamente): questo perché nel SC e nei FEF, alla comparsa dello stimolo, sono state rilevate attivazioni automatiche della prosaccade congruente, ma scorretta rispetto al compito, che debbono essere sostituite con le attivazioni desiderate (Riehle et al., 1994, Zhang et al., 1997).

Questo esercizio di mappatura stimolo-risposta arbitraria assomiglia al compito di Stroop<sup>6</sup> o al compito di fiancheggiamento di Eriksen<sup>7</sup>.

La valutazione degli errori tipici commessi sia nella prosaccade gap che nell'antigap fornisce informazioni preziose. In particolare, in tutte le condizioni gap (periodo di rimozione del punto di fissazione prima della comparsa dello stimolo periferico), sembra emergere

un maggior numero di saccadi espresse (Munoz e Everling, 2004), ossia di saccadi con latenza breve (attorno ai 100 msec nell'uomo) (Fischer e Ramsperger, 1984)

Si tratta di manifestazioni comportamentali del *Visual Grasp Reflex* (VGR, o riflesso di afferramento visivo), cioè di saccades talmente rapide da manifestarsi con tempi di latenza vicini ai minimi ritardi di conduzione dell'impulso nervoso afferenti ed efferenti (Carpenter, 1981), e per questo si suppone siano innescate dalla diretta trasformazione del segnale visivo entrante in comando motorio che guida gli occhi immediatamente verso lo stimolo (Dorris et al., 1997).

Nello schema da noi presentato, l'informazione visiva subirebbe questa immediata "traduzione" passando per la via retinotettale, e proseguendo dal SC (dagli strati superficiali agli intermedi) alla formazione reticolare fino ai nuclei oculomotori.

L'antigap è il paradigma che evidenzia maggiormente il VGR, con una precisazione importante sugli errori commessi nell'assolvere il compito: mentre le prosaccadi riflesse corrette dopo un breve intervallo intersaccadico indicano comunque una capacità di generare l'antisaccade volontaria, gli errori netti di direzione sono il risultato di un fallimento nel sopprimere il VGR (Everling et al., 1998)<sup>8</sup>.

Sebbene in base a quanto esposto la via re-

---

5 Prosaccade – saccade eseguita verso uno stimolo che compare in periferia (spesso di tipo riflesso): per es., il paradigma scelto da Pavlidis (1981; 1983) prevede l'uso di prosaccadi.

6 Compito di Stroop - vengono presentati ai soggetti i nomi di colori stampati a colori, e poi i soggetti vengono istruiti a nominare i colori di stampa ed ignorare le parole. I tempi di reazione sono più rapidi quando i colori di stampa e i nomi del colore sono compatibili [invece che incompatibili].

7 Compito di Eriksen - si mostra ai soggetti una stringa di lettere con l'istruzione di premere un tasto sulla base della lettera centrale. I tempi di reazione sono più rapidi quando lettera centrale e lettere fiancheggianti sono compatibili.

8 La maggior quantità di prosaccadi errate nella condizione gap (scomparsa del punto di fissazione prima della comparsa del target della saccade) rispetto a quella overlap (compresenza di punto di fissazione e target), può essere dovuta al fatto che dopo 100 msec dalla scomparsa del punto di fissazione si verifica un decadimento nella scarica dei neuroni di fissazione e un lento accumulo di attività a bassa frequenza in un subset di neuroni saccadici sia nel SC (collicolo superiore) che nei FEF. La rimozione del punto di fissazione nel compito antisaccadico servirebbe quindi da ulteriore evidenziatore delle componenti riflesse

tinotettale sembra la principale responsabile del VGR, Munoz ed Everling (2004) sostengono che anche le afferenze parietali e occipitali vadano a costituire elementi riflessi della saccade.

La soppressione della saccade automatica e l'innescò della saccade volontaria vengono gestite dalla corteccia frontale e dai gangli basali. Si sa che SC e FEF contengono popolazioni distinte di neuroni dedicati alla fissazione e ai movimenti saccadici<sup>9</sup> (per una rassegna dei segnali inviati dai FEF al SC, vedi Sommer & Wurtz, 2000). I neuroni che sono tonicamente attivi durante la fissazione visiva, cessano di scaricare durante l'esecuzione delle saccadi. I neuroni attivi durante le saccadi presentano un pattern reciproco di attività; sono silenziosi durante la fissazione e scaricano un scoppio ad alta frequenza di potenziali d'azione per le saccadi verso una certa regione del campo visivo controlaterale che definisce il loro campo di risposta. È stato ipotizzato che una rete di interneuroni inibitori partecipi alla formazione delle scariche reciproche dei due tipi di neurone. Un elemento che contribuisce al verificarsi delle saccadi espresse, è l'eccessiva attività precedente alla comparsa del target dei "neuroni saccadici" di FEF e SC: perciò diventa particolarmente importante l'attività inibitoria pretarget (Everling et al., 1998)

All'inibizione delle saccadi espresse parteciperebbe una rete molto complessa, composta dalla corteccia prefrontale dorsolaterale

(DLPFC) – si pensa capace di produrre importanti segnali top-down verso i FEF e il SC in merito all'attivazione preparatoria (presetting) della rete saccadica (Brown et al., 2007) – dai campi oculari supplementari (SEF) (Amador et al., 2004) – molto attivi nel periodo di istruzione che precede la presentazione del target, e scarsamente attivi nelle prove con errori – e dalla pars reticulata della substantia nigra – i cui neuroni che contengono acido gamma-aminobutirrico (GABA) potrebbero esercitare inibizione tonica sui neuroni saccadici di FEF e SC (Hikosaka et al., 2000).

Nel disturbo dell'attenzione con iperattività (ADHD), per esempio, si verifica un deficit dell'inibizione della risposta: bambini e adulti con ADHD mostrano marcate difficoltà nel sopprimere la prosaccade automatica nelle prove antigap (Munoz et al., 2003), forse prodotte da uno scarso controllo top-down dei neuroni saccadici di FEF e SC (Barkley, 1997) o, secondo la teoria del sistema attentivo supervisore (SAS; Shallice 1988), da una carenza di efficienza delle aree corticali che supportano questo modello mentale.

L'inversione del vettore saccadico (il calcolo del movimento antisaccadico) parrebbe gestito dai FEF (Sato & Schall 2003), dalla DLPFC (Pierrot-Deseillibny et al., 2002) e dall'area intraparietale laterale (LIP) (Gottlieb e Goldberg, 1999).

Sebbene più lontano dal centro neurologico principale della saccade, ovvero dal SC,

---

*del comportamento saccadico. Nel paradigma antigap, esistono quindi due processi in gara verso la soglia: un processo che viene iniziato dalla comparsa del target che serve per iniziare la prepotente risposta automatica, e un'altro processo che viene iniziato dall'inversione del vettore dello stimolo per avviare l'antisaccade volontaria. Per eseguire l'esercizio correttamente, i processi legati all'avvio della prosaccade automatica devono essere messi in svantaggio in qualche modo per consentire alla risposta di antisaccade volontaria di poter accumulare attività verso la soglia.*

*9 Si devono tuttavia precisare i limiti di tale "dedica". Per esempio, è importante sapere che approssimativamente solo un terzo dei neuroni dei FEF presentano attività presaccadica, e che due terzi circa di questi ultimi presentano anche una significativa attività visiva (alla presentazione di semplici spot luminosi). Ciò si verifica anche quando non è implicata la produzione di alcuna saccade. Al contrario, circa il 20% delle cellule dei FEF presenta attività visiva (e/o post-saccadica) in assenza assoluta di attività presaccadica (Bruce et al., 2004).*



## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

anche la corteccia del cingolo anteriore o CGa (Brodmann 24 della corteccia mediale frontale) e parte del cingolo posteriore o CGp (Brodmann 32, 29, 30 e 31) rivestono un ruolo significativo nella determinazione della saccade volontaria (Gaymard et al., 1998; Doricchi et al., 1997; Berman RA et al., 1999).

L'influenza sulla generazione della saccade da parte di CGa e CGp viene espletata principalmente attraverso le connessioni con i SEF (Huerta & Kaas, 1990) e interconnessioni limitate con i FEF (Van Hoesen et al., 1993). Si sa che la corteccia cingolata prende diretto contatto anatomico con le aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione motivazionale: per esempio, quasi tutte le parti della corteccia orbitofrontale proiettano sia verso il CGa che verso il CGp (Vogt e Pandya, 1987). Inoltre la CGa riceve proiezioni sostanziali dall'amigdala (Amaral & Price, 1984). Il CGa contiene neuroni che rispondono ai rinforzi primari nei compiti di annullamento della saccade (Schall et al., 2002); altre popolazioni producono risposte al compenso sia atteso che sperimentato associato a risposte manuali, che predicono le scelte di movimento oculare (Shima e Tanji, 1998; Shidara & Richmond, 2002).

Complessivamente sembra che il CGa esegua il monitoraggio dei risultati motivazionali delle saccadi visivamente guidate (in paradigmi che innescano l'attenzione riflessa) (Schall et al., 2002). Il CGp è meno coinvolto del CGa nella generazione di saccadi, ma è stato implicato nell'assegnazione di valore motivazionale ai segnali oculomotori. (Crowley et al., 2001; McCoy & Platt, 2002).

Un recente studio con fMRI rapida correlata agli eventi ed uso del paradigma antisaccadico (Brown et al., 2007), ha evidenziato un ruolo importante del CGa nel presetting della rete saccadica (forte attivazione nel periodo preparatorio dell'antisaccade), ma una sua minor influenza (come pure del DLPFC sinistro) sulla reale risposta antisaccadica<sup>10</sup>.

Questa scoperta non ci sembra contrastare, ma piuttosto avvalorare, le conoscenze in merito al ruolo della CGa nell'elaborazione del conflitto, in compiti di tipo flanker (Fan et al., 2007) e di tipo stroop (Fan et al., 2003).

### Dislessia e antisaccade

Tutti gli studi (troppi per essere citati) che in passato hanno tentato di differenziare i dislessici dai normolettori sulla base di differenti paradigmi prosaccadici, non hanno prodotto alcun risultato.

Gli studi condotti nel Laboratorio di Oculomotricità di Friburgo da Fischer (Fischer et al., 1997b; Fischer 2004; Fischer e Everling, 1998) sono partiti con l'applicazione del paradigma antigap a differenti fasce d'età, stabilendo l'inequivocabile presenza di un **trend evolutivo nello sviluppo dell'abilità antisaccadica**.

In uno studio del 1997 (Fischer et al., 1997b) è stata osservata una rapida decrescita del tempo di reazione antisaccadico (di 50 msec) dei tempi di correzione (di 70 msec) e del tasso di errore (dal 60% al 22%) tra i 9 e i 15 anni, seguita da un ulteriore periodo di più lenta riduzione fino all'età di 25 anni.

Il tempo medio richiesto da un soggetto per raggiungere il lato opposto alla comparsa dello stimolo si riduceva da circa 350 msec a circa 250 msec fino all'età di 15 anni, e si riduceva ulteriormente di 20 msec fino ai 20 anni prima di accrescersi ancora fino a circa 280 msec. Ad età maggiori, c'era una lieve indicazione di ritorno di sviluppo. Gli effetti dell'età sulle variabili del compito prosaccadico apparivano di minor rilievo. Anche studi più recenti (Klein, 2001; Klein e Foerster, 2001) sembrano confermare questi dati.

In seguito alla scoperta dello scarso controllo delle saccadi riflesse nei dislessici, (Biscaldi et al., 1994; Fischer et al., 2000), si è passati all'applicazione del paradigma antigap e della prosaccade overlap alla dislessia evolutiva, confrontando le performance

<sup>10</sup> Intesa come maggior attivazione - rispetto al periodo di risposta di una prosaccade - nel periodo di produzione della saccade in senso opposto rispetto allo stimolo.

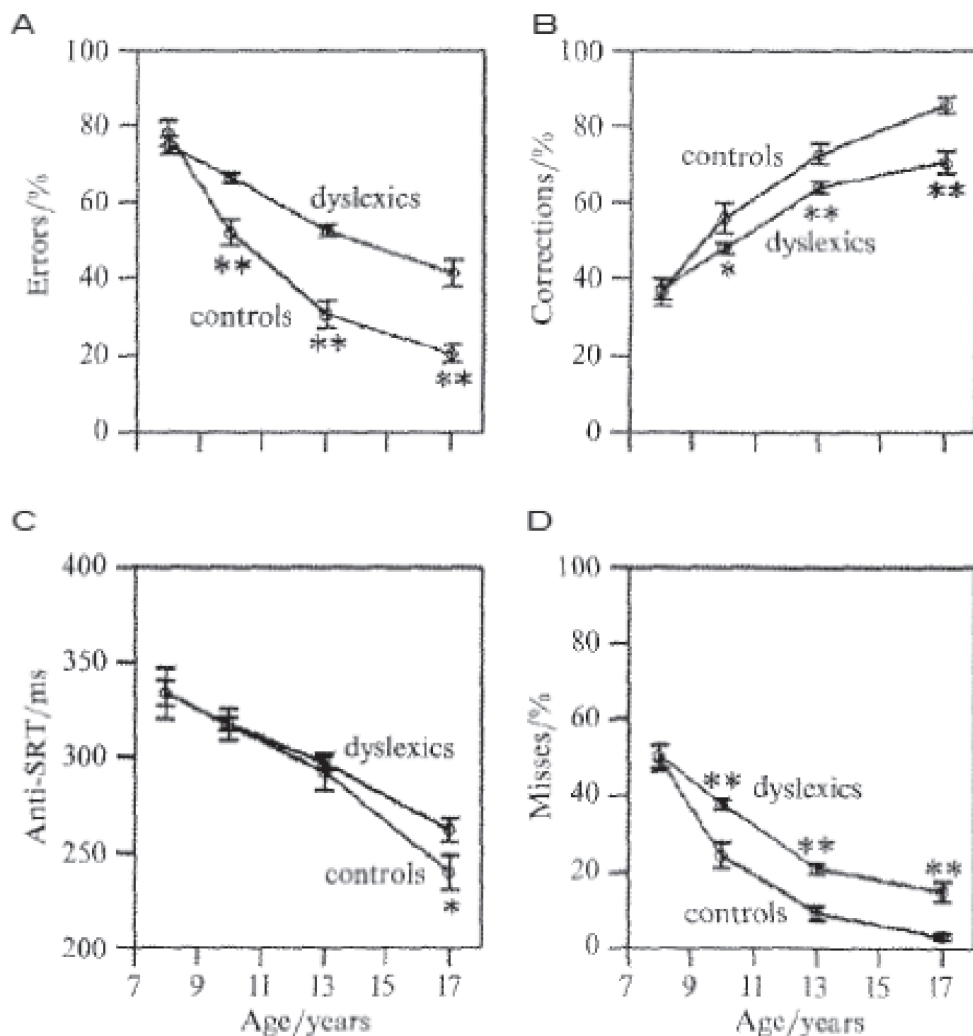
di un gruppo di normolettori (N = 114) con quella di un gruppo di dislessici (N = 506) così classificati sulla base di una batteria di test standardizzati.

Per consentire un'analisi delle differenze di evoluzione delle abilità saccadiche nella DE, sia dislessici che normolettori sono stati suddivisi in 4 gruppi d'età (7;0-8;11 / 9;0-10;11 / 11;0-13;11 / 14;0-16;11). Il protocollo usato per gli esercizi di antisaccade è quello che abbiamo precedentemente descritto.

Mentre la performance prosaccadica non dif-

ferenza i due gruppi, quella antisaccadica ha prodotto risultati particolarmente interessanti.

La figura 4 illustra i risultati di tutti i soggetti. La dipendenza dall'età delle 4 variabili: percentuale di errori, percentuale degli errori corretti, tempi di reazione delle antisaccade (anti-SRT) e la percentuale di punti persi. Le barre verticali rappresentano gli intervalli di confidenza. Sono indicate le differenze significative tra gruppi d'età: \* =  $p < 0,05$ ; \*\* =  $p < 0,01$ .



**Figura 4.** A, percentuale di errori di esecuzione dell'antisaccade. B, percentuale degli errori di antisaccade corretti. C, tempo di risposta allo stimolo (in msec) delle antisaccadi corrette. D, percentuale di punti persi.

Tratto da Biscaldi Monica, Fischer Burkhardt, Hartnegg Klauss. *Voluntary saccadic control in dyslexia*. Perception, 2000, vol. 29, n. 5, pp. 509-521.

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

Il diagramma A mostra la riduzione del tasso d'errore con l'età. Da notare che all'età di 8 anni i bambini eseguivano con tassi d'errore dal 70 all'80% in media. Durante gli anni successivi i dislessici producevano sistematicamente più errori dei controlli: il loro sviluppo rimane costantemente al di sotto di quello dei controlli.

Il diagramma B raffigura la percentuale degli errori corretti. I valori per il gruppo di controllo si accrescono dal 40% all'80%. I valori per i dislessici ancora una volta sono più bassi per tutti i gruppi d'età con eccezione del gruppo più giovane. Il tempo di risposta allo stimolo (SRT) delle antisaccadi corrette (diagramma C), al contrario, era abbastanza simile tra dislessici e gruppo di controllo, ma mostra una chiara riduzione con l'età. I punti persi sono mostrati nel diagramma D. Si può vedere che questa variabile differenzia chiaramente tra gruppo dei dislessici e quello di controllo a tutte le età, eccezione fatta per i più giovani.

Gli autori concludono che:

*«I soggetti dislessici hanno maggiori difficoltà dei normolettori di pari età nel sopprimere sguardi involontari verso stimoli visivi quando si richiede loro di dirigere lo sguardo volontariamente verso il lato opposto rispetto ad uno stimolo presentato improvvisamente. Falliscono anche in più prove nel raggiungere il lato opposto: essi non hanno corretto tutti i propri errori con una seconda saccade. Lo sviluppo con l'età del controllo saccadico volontario ha luogo sia nel gruppo di controllo che nei dislessici, ma i dislessici rimangono sistematicamente indietro rispetto ai controlli.»*

Inoltre sottolineano la possibilità della presenza di un doppio deficit antisaccadico:

1. di soppressione della saccade riflessa verso lo stimolo (percentuale degli errori e delle correzioni);
2. di generazione della saccade volontaria

in direzione opposta allo stimolo (percentuale dei punti persi).

Quindi non solo una eccessiva "impulsività" (soggiacere allo stimolo), ma anche una debolezza del controllo volontario, o meglio un vincolo allo stimolo prodotto da scarse abilità di controllo frontale, coerentemente con il modello neuropsicologico del sistema attentivo supervisore. (Shallice, 1988; Basso, 2007).

Si potrebbe ipotizzare per i dislessici un deficit del monitoraggio on-line dell'esecuzione saccadica, che a sua volta potrebbe essere di due tipi:

- a. Difficoltà di produzione e trasmissione bottom-up della scarica corollaria, un meccanismo di feedback che informerebbe on-line in particolare i FEF (e forse anche le altre componenti prefrontali della rete saccadica) sulle caratteristiche della saccade in corso effettuando una rimappatura anticipatoria (Sommer & Wurtz, 2006; Munoz, 2006).
- b. Difficoltà frontali e prefrontali top-down nel tenere in considerazione ed elaborare le informazioni della scarica corollaria, integrandole in un comportamento volontario adeguato al task set<sup>11</sup>.

Visto che:

1. il ruolo della propriocezione nella trasmissione di questo tipo di informazioni bottom-up è stato fortemente ridimensionato (Bridgemann, 1995; Richmond e Wurtz, 1995);
2. ipotizzare nei dislessici difetti di controllo della saccade grossolani come quelli indotti sulle scimmie dalla disattivazione di una sola delle vie possibili per il verificarsi di questa scarica corollaria (la via SC-talamo dorsomediale-FEF studiata da Sommer e Wurtz, 2002; 2006) non è ragionevolmente ipotizzabile (come probabilmente non lo è un difetto della sola via SC-pulvinar-LIP,

<sup>11</sup> Task set - Configurazione di processi cognitivi che viene attivamente mantenuta ai fini della successiva esecuzione di un compito.

la cosiddetta *seconda via visiva*), perché molti altri paradigmi della saccade avrebbero evidenziato difetti grossolani nella performance dei dislessici;

concludiamo che l'ipotesi b. ci sembra la più adeguata.

L'ipotesi b. è la risposta alla necessità di evidenziare un deficit saccadico in modo "astratto" nei dislessici; tuttavia lo è in modo del tutto originale. Infatti costringe a considerare come parti necessarie del comportamento saccadico elementi tradizionalmente non considerati inerenti all'atto oculomotorio nel corso della lettura:

1. le componenti frontali e prefrontali e il contenuto volontario dell'atto (la capacità di spostare volontariamente l'attenzione esplicita)
2. task set (che nella lettura è il compito di estrarre informazioni da un particolare testo, avente specifiche difficoltà fonologico/lessicali e di configurazione visiva – affollamento verticale e orizzontale).

## Movimenti della testa durante la lettura

Il movimento oculare di lettura è abbinato a quello della testa, anche nell'adulto normale (Lee, 1999; Proudlock et al., 2003). L'esperienza clinica e la normalizzazione di alcuni test optometrici (in particolare il NSUCO Test di Maples) (Maples, 1995) ci portano a credere che il coinvolgimento della testa nell'esecuzione delle saccadi sia massimo nelle prime classi elementari e si riduca progressivamente fino ad essere praticamente impercettibile (da parte di un osservatore clinicamente addestrato) nel lettore abile. L'integrazione tra movimenti oculari saccadici e movimento della testa si verifica, oltre che nella formazione reticolare pontina paramediane (PPRF) e nei FEF, anche a livello di SC (Corneil et al., 2002; Gandhi e Sparks, 2004; Leigh e Zee, 1999).

Sulla base delle esperienze cliniche nell'esecuzione del NSUCO, è possibile avanzare l'ipotesi che l'eccessivo movimento della testa nei bambini di prima e seconda elementare possa essere la manifestazione comportamentale dello scarso controllo volontario frontale della programmazione saccadica in

ambiente testo. Ciò lascerebbe prevalere le componenti primitive/riflesse che si manifesterebbero con una risposta di orientamento grossolana testa-occhi (scarsa segmentazione dello spostamento di sguardo).

Alcune evidenze, in studi sui primati, di spike dell'EMG dei muscoli dorsali del collo che precedono il movimento saccadico e maggiori prima di saccadi espresse (Corneil et al., 2003), sembrerebbero avallare questa ipotesi.

Recentemente, in una breve comunicazione, Corneil et al. (2008) evidenziano la presenza di risposte dei muscoli del collo in presenza di orientamento implicito riflesso dell'attenzione (i soggetti sopprimono la risposta saccadica, ma non sono in grado di annullare quella dei muscoli del collo): sarebbe interessante studiare, attraverso il paradigma dell'antisaccade abbinato ad EMG, quali sono le risposte dei muscoli del collo in presenza di una scelta volontaria di un target diverso da quello stimolante la risposta saccadica riflessa. Questo perché riteniamo che nella lettura le risposte riflesse incontrollate dei muscoli del collo possano indurre movimenti di orientamento della testa capaci di disturbare l'efficienza dei movimenti oculari.

Nei bambini delle prime classi elementari, la persistenza nella lettura di queste "risposte quasi-riflesse/non-volontarie" dei muscoli del collo indicherebbe una scarsa automatizzazione dell'oculomotricità, e un massiccio intervento di supporto da parte del sistema attentivo supervisore, con conseguente calo della performance (essendo le risorse a capacità limitata). In alternativa, si potrebbe pensare alla presenza di un effetto di adattamento ad un focus attentivo molto ristretto o molto perturbato dall'affollamento, tale da simulare ciò che è stato rilevato con l'uso di occhiali con un apertura che restringe il range oculomotorio effettivo a pochi gradi: un maggior uso dei movimenti della testa specificamente adattati al range oculomotorio residuo (Misslich et al., 1998).

A nostro parere si dovrebbe approfondire con opportune ricerche la differenza di performance nel coinvolgimento della testa tra normolettori e pazienti dislessici, tramite opportuni studi elettromiografici.

Il coordinamento occhio-testa sollecita com-

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

pensazioni visuo-vestibolari. Il VOR (riflesso vestibolo-oculare) è di primaria importanza per il mantenimento della stabilità di sguardo durante gli spostamenti della testa, e viene soppresso nel corso della saccade; tuttavia per le piccole saccadi occhio-testa avviene probabilmente l'addizione lineare del comando saccadico e del VOR (Leigh e Zee, 1999)<sup>12</sup>. Di conseguenza il coordinamento occhio-testa richiede un'integrazione ottimale tra le informazioni provenienti da occhi e vestiboli. In particolare, il VOR potrebbe essere più fortemente sollecitato al momento del cambio di riga, perché è più frequente riscontrarvi movimenti opposti di testa (verso sinistra) e occhi (verso destra) (Steinman, 2004). Dato il modello proposto da Zambarbieri et al. (1997) che suppone l'integrazione di molteplici sistemi di feedback on-line necessari alla valutazione da parte di un Desired Gaze Generator (DGG) della posizione di testa e occhi rispetto alla posizione del target desiderato, le sensazioni di nausea o capogiro durante la lettura (che clinicamente a volte si rilevano nei disturbi di apprendimento) potrebbero sottendere un deficit di integrazione intersensoriale che sarebbe da sottoporre ad attente verifiche. Altro sintomo spesso accusato dai soggetti dislessici è la sensazione di scorrimento laterale del testo, che per Stein e la teoria magnocellulare, sarebbe il prodotto di un particolare deficit delle vergenze fusionali e/o di un deficit della capacità del sistema magnocellulare di sopprimere l'analisi visiva del movimento della scena nel corso dello spostamento degli occhi (Stein e Fowler, 1981; Stein e Fowler 1993).

Tale sensazione potrebbe essere innescata dall'eccessivo coinvolgimento della testa nei movimenti oculari di lettura (mancato apprendimento della sincronizzazione e

ottimizzazione delle abilità di spostamento volontario dello sguardo) con difficoltà d'integrazione tra VOR, OKR (riflesso optocinetico), saccadi e vergenze: ciò potrebbe far interpretare lo spostamento della testa come spostamento del testo.

Questa ipotesi sembra avvalorata dal fatto clinicamente frequente che i bambini che eseguono eccessivi movimenti della testa durante l'esecuzione di saccadi tra due mire (NSUCO Test di Maples - Saccades, 1995), ne hanno anche scarsa consapevolezza (spesso se viene richiesta la riduzione volontaria dei movimenti della testa, ciò riesce per poche prove; oppure il movimento della testa compensativo/integrativo delle saccadi riemerge completamente incontrollato nel corso di un dual-task).

### **Movimenti degli occhi o movimenti della testa?**

In passato è stata sollevata l'obiezione secondo cui i movimenti oculari non sono un elemento indispensabile per la lettura. Ciò è stato affermato in uno studio che ha eseguito valutazioni su 2 soggetti con sindrome di Möbius<sup>13</sup> totalmente privi della capacità di produrre movimenti oculari orizzontali, che secondo gli autori mostravano una performance di lettura nella norma o al di sopra della norma (Hodgetts et al., 1998).

Visto che questi soggetti paralitici hanno presumibilmente usato un'unica strategia per ottenere la lettura efficiente, ovvero il movimento sostitutivo della testa (altrimenti non si comprende come sia stato possibile spostare lo sguardo), si osservi che:

- a. il movimento della testa è parte integrante degli spostamenti dello sguardo necessari alla lettura, assieme alle saccadi;
- b. esiste una marcata integrazione neuro-

---

<sup>12</sup> È importante a questo proposito ricordare anche la presenza di connessioni del SC con una componente del cosiddetto Integratore Neurale del tronco encefalico: il nucleo vestibolare mediale (MVN).

<sup>13</sup> Sindrome di Möbius – Paresi del nervo abducente e del facciale bilaterale congenita, dovuta a lesione del tronco encefalico. Può presentare anche ridotta adduzione e assenza del nistagmo vestibolare indotto.

- logica dei due sistemi di spostamento dello sguardo;
- c. esistono adattamenti reciproci verificati limitando uno dei due spostamenti (testa bloccata - saccadi più ampie; range oculomotorio ridotto - forti compensazioni con la testa) che evidenziano una consistente plasticità del sistema di spostamento di sguardo;
  - d. la sostituzione completa della saccade con lo spostamento della testa, non esclude che altri meccanismi tipici dello spostamento di sguardo siano attivi e perfettamente funzionali (per es., la “soppressione” saccadica<sup>14</sup>);
  - e. non è escluso che con opportuno iperallenamento (facilitato da una forte motivazione) i movimenti della testa diventino così raffinati da sostituirsi efficacemente alle saccadi. La domanda che viene spontanea è: se individui con lo stesso grado di motivazione avessero avuto una paralisi totale dei muscoli del collo, avrebbero sviluppato saccadi più ampie ed efficienti fino al raggiungimento di una performance vicina alla norma?
  - f. quanto dispendio di energie nel tempo richiede lo spostamento della testa rispetto al movimento oculare? In altre parole: chi si affatica di più nella lettura prolungata, il soggetto normale o il soggetto con sindrome di Möbius? Sicuramente è più economico il movimento oculare, viste le note caratteristiche di scarsa affaticabilità del sistema muscolare oculomotorio (Fuchs e Binder, 1983).

Date queste osservazioni, il fatto che i soggetti coinvolti nello studio abbiano compensato l'impossibilità di generare saccadi con l'uso della testa, conferma l'assoluta necessità per la lettura dello spostamento di sguardo. Sebbene nei soggetti con differenti patologie, all'interno del pattern dello spostamento di sguardo nella lettura, l'equilibrio tra sposta-

mento della testa e spostamento degli occhi possa essere alterato, nel soggetto sano e abile propende nettamente a favore delle saccadi.

Questa evoluzione potrebbe avere molteplici scopi: ottimizzare il dispendio energetico; ridurre le stimolazioni vestibolari secondarie allo spostamento della testa; e stabilizzare più prontamente la fissazione (ossia, limitare la disparità dinamica delle vergenze; Lecce, 2008). Potrebbe avere anche il compito di ridurre le interferenze indotte dallo spostamento della testa sulla soppressione della percezione del movimento “della scena” da parte del sistema magnocellulare.

### Conclusioni

*Considerazioni generali.* Sulla base delle conoscenze sulla rete neurologica della saccade, degli studi sulle componenti volontarie del movimento saccadico e sulla loro evoluzione nel corso della crescita, e data l'esistenza di strategie oculomotorie ben delineate nel corso della lettura normale dell'adulto (Reilly & O'Regan, 1998), ci pare doveroso escludere una concezione di movimento oculare di lettura che (soprattutto per ciò che riguarda la fase dell'apprendimento della lettura stessa) lo veda tutto sottocorticale, automatico, e cognitivo solo nel senso dell'essere un riflesso dell'elaborazione del linguaggio.

A nostro parere nei primi due anni di scolarizzazione è necessario raggiungere progressivamente un miglior controllo volontario delle saccadi e un miglior coordinamento occhio-testa per poter meglio estrarre significato dal testo: il progressivo miglioramento dell'attenzione visuo-spaziale volontaria controllata esplicita dovrebbe procedere assieme al parallelo apprendimento di pattern oculomotori (e di orientamento) avviati volontariamente ma gestiti automaticamente in modo efficiente e flessibile.

D'altra parte le abilità linguistico/fonolo-

<sup>14</sup> Soppressione saccadica – soppressione della sensibilità visiva nel corso del movimento saccadico, specifica per l'analisi del movimento della scena, probabilmente mediata dalla via magnocellulare.

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

giche e di gestione del focus e dello switch attentivo (Benso, 2005) devono anch'esse raggiungere un adeguato sviluppo per potersi coordinare con il movimento oculare al fine di ottenere una lettura fluente ed efficace. Tanto più elevato è il grado di sincronia nella coordinazione attenzione-orientamento, tanto più il movimento oculare può elevare il suo livello di automaticità, per lasciare più spazio ed energie ai processi di comprensione del testo.

Ciò non esclude la necessaria permanenza nella lettura dell'adulto delle componenti corticali saccadiche espressione dello shifting dell'attenzione volontario controllato ed esplicito, più costose dal punto vista energetico/attentivo, ma utili ad una corretta comprensione di parti di testo lessicalmente e/o sintatticamente più difficili (per esempio, attraverso la programmazione di regressioni e rifissazioni fortemente ottimizzate e finalizzate): e tutto ciò sotto l'efficiente direzione del sistema attentivo supervisore (Moscovitch & Umiltà, 1990; Benso et al., 2005a; Benso et al., 2005b; Benso e Usai, in preparazione).

**Training visivo optometrico** - Auspichiamo una rapida inclusione dei concetti qui esposti tra i principi portanti del training visivo optometrico di tipo oculomotorio e attentivo: l'asse volontario-riflesso dovrà presto assumere dignità pari a quelli automatico-

controllato, centrale-periferico, o spaziale (DOVE) – discriminativo (COSA), da sempre presenti nella pratica rieducativa.

Quindi, per il terapeuta che voglia migliorare i movimenti oculari di lettura dei propri pazienti, sarà importante:

- Un lavoro privilegiato sull'apprendimento di movimenti saccadici volontari e controllati: con la conseguente riduzione o esclusione di procedure che allenino movimenti oculari riflessi, e con la considerazione di metodiche capaci di favorire la scelta/estrazione intenzionale del target e l'automatizzazione.
- Una particolare attenzione alla motivazione nel corso del training oculomotorio, vista la provata influenza di CGa e CGp sulla esecuzione delle saccadi volontarie.

### Ringraziamenti

Si ringrazia Daniela Zambarbieri, del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Pavia, Presidente del Gruppo Italiano Movimenti Oculari, per il paziente lavoro di revisione di questo articolo, e per i suggerimenti sempre estremamente pertinenti.

Si ringrazia anche il Prof. Francesco Benso, docente di Psicobiologia e Psicologia dell'Attenzione presso l'Università di Genova, per gli importanti spunti di riflessione sul tema dell'attenzione visiva.

### Bibliografia

Amador N Schlag-Rey M, Schlag-Rey J (2004). Primate Antisaccade. II. Supplementary Eye Field Neuronal Activity Predicts Correct Performance. *J Neurophysiol*, 91: 1672–1689.

Amaral DG, Price JL (1984). Amygdalo-cortical projections in the monkey (Macaca Fascicularis). *J Comp Neurol*, 230, 465.

Barkley RA (1997). Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychol Bull*, 121, 65–94.

Benso D, Stella G, Zanzurino G, Chiorri C

(2005a). Il fuoco attentivo e la Dislessia Evolutiva. *Dislessia*, vol. 2, n. 3, ottobre, pp. 275-285.

Benso F, Usai MC, Alceiti A, Berriolo S (2005b). Il Sistema Attentivo Supervisore e il suo intervento nei disturbi di apprendimento. *Dislessia*, vol. 2, n. 2, maggio.

Benso F (2007). Un modello di interazione tra il Sistema Attentivo Supervisore e i sistemi specifici nei diversi apprendimenti. Saggi in Neuropsicologia Evolutiva e disturbi di apprendimento. *Child Development & Disabilities*, vol. 32, n. 4, 39–52.

- Berman RA, Colby CL, Genovese CR, Voyvodic JT, Luna B, Thulborn KR, Sweeney JA (1999). Cortical networks subserving pursuit and saccadic eye movements in humans: an fMRI study Human brain mapping. Vol. 8, n. 4, pp. 209-225.
- Biscaldi M, Fischer B, Aiple F (1994). Saccadic Eye Movements of dyslexic and normal reading children. *Perception*, 23 (1): 45-64.
- Biscaldi M, Fischer B, Hartnegg K (2000). Voluntary saccadic control in dyslexia. *Perception*, vol. 29, n. 5, pp. 509-521.
- Bridgemann B (1995). A review of the role of efference copy in sensory and oculomotor control systems. *Ann Biomed Eng*, 23: 409-422.
- Brown B, Haegerstrom-Portnoy G, Adams AJ, Yingling CD, Galin D, Herson J, Marcus M (1983). Predictive eye movements do not discriminate between dyslexic and control children. *Neuropsychologia*, 21, 121-128.
- Brown MRG, Villis T, Everling S (2007). Frontoparietal activation with preparation for antisaccades. *J Neurophysiol*, vol. 98, n. 3, pp. 1751.
- Bruce CJ, Friedman HR, Kraus MS, Stanton GB (2004). The Primate Frontal Eye Field. In (eds.) Chalupa LM, Werner JS. *The Visual Neuroscience*. Ed. Massachusetts Institute of Technology, vol. 2, Cap. 96, pp. 1428-1448.
- Carpenter RHS (1981). Eye Movements: Cognition and Visual Perception. In (eds.) Fischer DF, Monty RA; 237-246 (Erlbaum, Hillsdale, New Jersey).
- Castet E, Jeanjean S, Montagnini A, Laugier D, Masson GS (2006). Dynamics of attentional deployment during saccadic programming. *Journal of Vision*, vol. 6, 196-212
- Corbetta M, Akbudak E, Conturo TE, Snyder AZ, Ollinger JM, Drury HA, Linenweber MR, Petersen SE, Raichle ME, Van Essen DC, Shulman GL (1998). A common network of functional areas for attention and eye movements. *Neuron*, 21, 761-773.
- Corbetta M, Shulman GL (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 3, pp. 201-215.
- Corneil BD, Munoz DP, Chapman BB, Admans T, Cushing SL (2008). Neuromuscular consequences of reflexive covert orienting. *Nat Neurosci*, vol. 11, n. 1, pp. 13-15.
- Corneil BD, Olivier E, Munoz DP (2003). Evidence for a visual grasp reflex on dorsal neck muscles: short-latency, transient neck EMG bursts in response to visual target onset are independent of saccades. 13<sup>th</sup> Annual Meeting of Neural Control of Movement; <http://ncm-society.org/abstracts/2003/index.php>.
- Corneil BD, Olivier E, Munoz DP (2002). Neck Muscle Responses to Stimulation of Monkey Superior Colliculus. II. Gaze Shift Initiation and Volitional Head Movements. *J Neurophysiol*, 88: 2000-2018; 10.1152/jn.00960.2001
- Crowley JC, Haghigian G, Platt ML (2001). Posterior Cingulate neurons encode eye movement value. In *Society for Neuroscience Abstracts*.
- Culham JC, Brandt SA, Cavanagh P, Kanwisher NG, Dale AM, Tootell RB (1998). Cortical fMRI activation produced by attentive tracking of moving targets. *J Neurophysiol*, 80, 2657-2670.
- Doricchi F, Perani D, Incoccia C, Grassi F, Cappa SF, Bettinardi V, Galati G, Pizzamiglio L, Fazio F (1997). Neural control of fast-regular saccades and antisaccades: an investigation using positron emission tomography. *Experimental Brain Research*, vol. 116, n. 1, pp. 50-62.
- Dorris MC, Pare M, Munoz DP (1997). Neuronal activity in monkey superior colliculus related to the initiation of saccadic eye movements. *J Neurosci*, 17, 8566-8579.
- Everling S, Dorris MC, Munoz DP (1998). Reflex Suppression in the Anti-Saccade Task Is Dependent on Prestimulus Neural Processes. *J Neurophysiol*, 80: 1584-1589.
- Facoetti A, Lorusso ML, Cattaneo C, Galli R, Molteni M (2005). Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiol Exp*, 65: 61-72.
- Facoetti A, Lorusso ML, Paganoni P, Cattaneo C, Galli R, Umiltà C, Mascetti GG (2003). Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive Brain Research*, 16, 185-191.
- Facoetti A, Paganoni P, Turatto M, Marzola V, Mascetti GG (2000). Visual-spatial attention in



## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

- developmental dyslexia. *Cortex*, 36, 109-123.
- Facoetti A, Turatto M, Lorusso ML, Mascetti GG (2001). Orienting of visual attention in dyslexia: evidence for asymmetric hemispheric control of attention. *Exp Brain Res*, 138: 46-53.
- Fan J, Flombaum JI, McCandliss BD, Thomas KM, Posner MI (2003). cognitive and brain consequences of conflict. *Neuroimage*, vol. 18, n. 1, pp. 42-57.
- Fan J, Hof PR, Guise KG, Fossella JA, Posner MI (2007). The Functional Integration of the Anterior Cingulate Cortex during Conflict Processing. *Cereb Cortex* (in stampa).
- Fischer B, Gezeck S, Hartnegg K (1997a). The analysis of saccadic eye movements from gap and overlap paradigms. *Brain Research Protocols*, 2, 47-52.
- Fischer B, Ramsperger E (1984). Human express saccades: extremely short reaction times of goal directed eye movements. *Experimental Brain Research*, vol. 57, pp. 191-195.
- Fischer B, Biscaldi M, Gezeck S (1997b). On the development of voluntary and reflexive components in human saccade generation. *Experimental Brain Research*, 754 (1-2): 285-297, Apr 18.
- Fischer B, Everling S (1998). The Antisaccade - a review of basic research and clinical studies. *Neuropsychologia*, vol. 36, pp. 885-899.
- Fischer B, Hartnegg K, Mokler A (2000). Dynamic visual perception of dyslexic children. *Perception*, vol. 29, n. 5, pp. 523-530.
- Fischer B (2004). Lo sguardo che danza. *Mente Cervello*, n. 9, anno II, maggio-giugno 2004, pp. 76-79.
- Fuchs AF, Binder MD (1983). Fatigue Resistance of Human Extraocular Muscles. *Journal of Neurophysiology*, vol. 49, n. 1, January.
- Gandhi NJ, Sparks DL (2004). Changing views of the role of Superior Colliculus in the Control of Gaze. In (eds.) Chalupa ML, Werner JS. *The Visual Neuroscience*. Ed. Massachusetts Institute of Technology, vol. 2, pp. 1449-1465.
- Gattass R, Desimone R (1996). Responses of cells in the superior colliculus during performance fo a spatial attention task in the macaque. *Rev Bras Biol*, 56 Su Pt. 2: 257-279.
- Gaymard B, Rivaud S, Cassarini JF, Dubard T, Rancurel G, Agid Y, Pierrot-Deseilligny C (1998). Effects of anterior cingulate cortex lesions on ocular saccades in humans. *Experimental brain research*, vol. 120, n. 2, 172-183.
- Gottlieb J, Goldberg ME (1999). Activity of neurons in the lateral intraparietal area of the monkey during an antisaccade task. *Nature Neurosci*, 2, 906-912.
- Griffin JR, Grisham JD (2002). *Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy*. Butterworth-Heinemann, 2° ed.
- Hallett P (1978). Primary and secondary saccades to goals defined by instructions. *Vision Research*, 18, 1279-1296.
- Hallett PE, Adams BD (1980). The predictability of saccadic latency in a novel voluntary oculomotor task. *Vision Research*, 20, 329-339.
- Hikosaka O, Takikawa Y Kawagoe R (2000). Role of the basal ganglia in the control of purposive saccadic eye movements. *Physiol Rev*, 80, 953-978.
- Hodgetts DJ, Simon JW, Sibila TA, Scanlon DM, Vellutino FR (1998). Normal Reading despite Limited Eye Movements. *J Am Assoc Ped Ophth & Strab*, 2 (2): 182-183.
- Huerta MF, Kaas JH (1990). Supplementary Eye Filed as defined by intracortical stimulation: connections in macaques. *J Comp Neurol*, 293, 299.
- Ignashchenkova A, Dicke PW, Haarmeier T, Thier P (2003). Neuron-specific contribution of the superior colliculus to overt and covert shifts of attention. *Neurosci*, vol. 7, pp. 56-64.
- Klein C, Foerster F (2001). Development of prosaccade and antisaccade task performance in participants aged 6 to 26 year. *Psychophysiology*, 38: 179-189, Cambridge University Press.
- Klein C (2001). Developmental functions for saccadic eye movement parameters derived from pro- and antisaccade tasks. *Experimental Brain Research*, vol. 139, n. 1, pp. 1-17.
- Lecce M (2008). Durata eccessiva dei tempi di fissazione nei dislessici: il ruolo della coordinazione binoculare delle saccades. *Riv It Optom*, vol. 31, n. 2, 68-84.
- Lee C (1999). Eye and head coordination in reading: roles of head movement and cognitive

- control. *Vision Res*, 39 (22): 3761-3768.
- Leigh RJ, Zee David S (1999). The saccadic System, in *The Neurology of Eye Movements. Contemporary Neurology Series*. Ed. Oxford, 3rd ed., 90-150.
- Liversedge SP, Findlay JM (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 6-14.
- Livingstone MS, Rosen GD, Drislane FW, Galaburda AM (1991). Physiological and Anatomical Evidence for a Magnocellular Defect in Developmental Dyslexia. *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 88, pp. 7943-7947, September, Neurobiology.
- Lorusso ML, Facoetti A, Pesenti S, Cattaneo C, Molteni M, Geiger G (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research*, 44, 2413-2424.
- Maples WC (1995). *NSUCO Oculomotor Test*. Ed. OEP Foundation.
- McCoy AN, Platt ML (2002). *Reward modulation of neuronal activity in Posterior Cingulate Cortex*, in Society for Neuroscience Abstracts.
- Moscovitch M, Umiltà C (1990). Modularity in neuropsychology. In (eds.) Schwartz M. *Modular processes in Alzheimer Disease*. Cambridge, MA, The MIT Press.
- Munoz DP, Armstrong IT, Hampton KA, Moore KD (2003). Altered control of visual fixation and saccadic eye movements in attention-deficit hyperactivity disorder. *J Neurophysiol*, 90, 503-514.
- Munoz DP, Everling S (2004). Look away: the anti-saccade task and the voluntary control of eye movement. *Nature Rev Neuroscience*, vol. 5, pp. 218-228.
- Munoz DP (2006). Stabilizing the visual world. *Nat Neurosci*, vol. 9, pp. 1467-1468.
- Nobre AC, Gitelman DR, Dias EC, Mesulam MM (2000). Covert visual spatial orienting and saccades: overlapping neural systems. *Neuroimage*, 11, 210-216.
- Olson RK, Kliegl R, Davidson BJ (1983). Dyslexic and normal readers eye movements. *Journal of experimental psychology; Human Perception and Performance*, 9, 816-825.
- Parè M, Ferraina S, Wurtz RH (1999). Visual Motion Signals from ventral intraparietal Area to the Saccadic System. *Soc Neurosci Abstr*, 25: 806.
- Pavlidis G Th (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, (19): 57-64.
- Pavlidis G Th (1985). Eye movements in dyslexia: their diagnostic significance. *J Learning Disabilities*, 18 (1): 42-50.
- Pavlidis GTH (1983). Erratic eye movements in Dyslexics: Comments and reply to Stanley et al. *British Journal of Psychology*, 74, 189-193.
- Pierrot-Deseilligny C, Ploner CJ, Muri RM, Gaymard B, Rivaud-Pechoux S (2002). Effects of cortical lesions on saccadic eye movements in humans. *Ann NY Acad Sci*, 956, 216-229.
- Platt ML, Lau B, Glimcher PW (2004). Situating the superior colliculus within the Gaze Control Network. In (eds.) Hall WC, Moschovakis A. *The superior colliculus - New Approaches for Studying sensorimotor integration*. Ed. CRC Press LLC, 1, pp. 1-34.
- Proudlock FA, Shekhar H, Gottlob I (2003). Coordination of Eye and Head Movements during Reading. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 44, n. 7, July.
- Rayner K (1985). Do faulty eye movements cause dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 1 (1) 3-15.
- Reilly RG, O'Regan JK (1998). Eye Movement Control During Reading: A Simulation of Some Word-Targeting Strategies. *Vision Research*, 38: 303-307.
- Richmond BJ, Wurtz RH (1995). Vision during saccadic eye movements. II. Contributions of parietal cortex. *J Neurophysiol*, 74:698-712.
- Riehle A, Kornblum S, Requin J (1994). Neuronal coding of stimulus-response association rules in the motor cortex. *Neuroreport*, 5, 2462-2464.
- Sato TR, Schall JD (2003). Effects of stimulus-response compatibility on neural selection in frontal eye field. *Neuron*, 38, 637-648.
- Schall JD (2004). On the role of frontal eye field in guiding attention and saccades. *Vision Res*, vol. 44, pp. 1453.
- Schall J, Stuphorn V, Brown J (2002). Monitoring and control of action by the frontal lobes.

## MOVIMENTI OCULARI SACCADICI VOLONTARI CONTROLLATI E AUTOMATICI: LA LORO IMPORTANZA NELLA LETTURA PER DISLESSICI E NORMOLETTORI

- Neuron*, 36, 309.
- Shallice T (1988). From neuropsychology to mental structure. Cambridge, Cambridge University Press. Trad. it. *Neuropsicologia e struttura della mente*. Bologna, Il Mulino, 1990.
- Shidara M, Richmond BJ (2002). Anterior Cingulate: single neuronal signals related to degree of reward expectancy. *Science*, 296, 1709.
- Shima K, Tanji J (1998). Role for cingulate motor area cells in voluntary movement selection based on reward. *Science*, 282, 1335.
- Sommer MA, Wurtz RH (2000). Composition and Topographic Organization of Signals Sent From the Frontal Eye Field to the Superior Colliculus. *J Neurophysiol*, 83: 1979-2001.
- Sommer MA, Wurtz RH (2002). A pathway in primate brain for internal monitoring of movements. *Science*, 296: 1480-1482.
- Sommer MA, Wurtz RH (2004). The dialogue between Cerebral Cortex and Superior Colliculus: Implications for Saccadic Target Selection and corollary Discharge. In (eds.) Chalupa LM, Werner JS. *The Visual Neurosciences*. Ed. Massachusetts Institute of Technology, vol. 2, Cap. 98, pp. 1466-1484.
- Sommer MA, Wurtz RH (2006). Influence of the thalamus on spatial visual processing in frontal cortex. *Nature*, vol. 444, pp. 374-377.
- Stanley G, Smith GA, Howell EA (1983). Eye movements and sequential tracking in dyslexic and control children. *British Journal of Psychology*, 74, 181-187.
- Stein J (2004). *The Brain Basis of Dyslexia*. Presentazione, University Laboratory of Physiology, Oxford, UK.
- Stein J (2001). The Magnocellular Theory of Developmental Dyslexia. *Dyslexia*, 7: 12-36.
- Stein J, Walsh V (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends Neurosci*, 20, 147-152.
- Stein JF, Fowler MS (1993). Unstable binocular control in dyslexic children. *Journal of Research in Reading*, 16, 30-45.
- Stein, JF, Fowler MS (1981). Visual dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 4, 77-80.
- Steinman RM (2004). Gaze control under natural conditions. In (eds.) Chalupa ML, Werner JS. *The Visual Neuroscience*. Ed. Massachusetts Institute of Technology, vol. 2, pp. 1339-1356.
- Van Hoesen G, Morecraft RJ, Vogt BA (1993). Connections of the monkey cingulate cortex. In (eds.) Vogt BA, Gabriel M. *Neurobiology of Cingulate Cortex and Limbic Thalamus*, 249.
- Voght BA, Pandya DN (1987). Cingulate cortex of the rhesus monkey: II. Cortical afferents. *J Comp Neurol*, 262, 271.
- Wurtz RH, Goldberg ME, Robinson DL (1980). Behavioral modulation of visual responses in the monkey: stimulus selection for attention and movement. In (eds.) Sprague JM, Epstein AN. *Progress in Psychobiology and Physiological Psychology*. New York Academic Press, vol. 9, pp. 43-83.
- Wurtz RH, Goldberg ME, Robinson DL (1982). Brain mechanisms of visual attention. *Sci Am*, 246: 124-135.
- Zambarbieri D, Schmid R, Versino M, Beltrami G (1997). Eye-Head coordination toward auditory and visual targets in humans. *Journal of Vestibular Research*, vol. 7, n. 2/3, pp. 251-263.
- Zee DS, Walker MF (2004). Cerebellar Control of Eye Movements. In (eds.) Chalupa LM, Werner JS. *The Visual Neurosciences*. Ed. Massachusetts Institute of Technology, vol. 2, Cap. 99, pp. 1485-1498.
- Zhang J, Riehle A, Requin J, Kornblum S (1997). Dynamics of single neuron activity in monkey primary motor cortex related to sensorimotor transformation. *J Neurosci*, 17, 2227-2246.