

B – METODOLOGIE INNOVATIVE IN RIABILITAZIONE

FRANCESCO LACQUANTI

Università di Roma Tor Vergata – Fondazione Santa Lucia

B.1 – APPROCCI COMPUTAZIONALI ALLO STUDIO DEI MOVIMENTI DELL'ARTO SUPERIORE

B.1.1 – Caratteristiche ed adattabilità dei processi predittivi e di controllo nei movimenti di intercettazione (*Andrea d'Avella*)

B.2 – BIOMEDICINA SPAZIALE

B.2.1 – Sistemi di riferimento nell'intercettazione di moti verticali gravitazionali (*Myrka Zago*)

B.3 – COMPUTER GRAPHICS E REALTÀ VIRTUALI COME METODOLOGIE PER LA RIABILITAZIONE SENSORIMOTORIA

B.3.1 – Percezione delle durate temporali e moto biologico (*Mauro Carrozzo*)

B.4 – CONTROLLO DEI MOVIMENTI LOCOMOTORI: MECCANISMI BASE DELL'ATTIVITÀ MUSCOLARE

B.4.1 – Adattamento dei movimenti locomotori nell'uomo (*Yury Ivanenko*)

B.5 – MOVIMENTO E PROCESSI COGNITIVI: PROSPETTIVE TEORICHE E APPLICATIVE

B.5.1 – Rappresentazione mentale della gravità in soggetti con stroke (*Elena Daprati*)

B.5.2 – Studio dei meccanismi di rappresentazione mentale di moti naturali e non naturali (*Francesca Figliozzi*)

B.6 – UTILIZZO DI TECNICHE DI INDAGINE NEURO-FUNZIONALE PER LO STUDIO DEI PROCESSI PREDITTIVI ALLA BASE DELL'INTERCETTAMENTO MANUALE

B.6.1 – Intercettazione manuale di moti balistici in presenza o meno di occlusione visiva (*Gianfranco Bosco*)

B.7 – UTILIZZO DI TECNICHE INTEGRATE DI PSICOFISICA E RISONANZA MAGNETICA FUNZIONALE (fMRI) NELLO STUDIO DELLA RAPPRESENTAZIONE INTERNA DELLA GRAVITÀ

B.7.1 – Studio sul coinvolgimento della rappresentazione interna della gravità nel moto biologico e nel moto apparente (*Vincenzo Maffei*)

B.1 – APPROCCI COMPUTAZIONALI ALLO STUDIO DEI MOVIMENTI DELL'ARTO SUPERIORE

B.1.1 – Caratteristiche ed adattabilità dei processi predittivi e di controllo nei movimenti di intercettamento (*Andrea d'Avella*)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Informazione visiva, processi predittivi, intercettamento.

Descrizione

La capacità di anticipare i cambiamenti nell'ambiente è una caratteristica fondamentale dei processi cognitivi e sensorimotori del sistema nervoso centrale (SNC). Nell'ambito dei movimenti del braccio, per intercettare efficacemente un oggetto in moto, quale ad esempio una palla in volo, a causa del tempo che intercorre tra quando l'informazione visiva è disponibile e quando il SNC è in grado di generare o modificare opportunamente una risposta motoria, è necessario un processo predittivo. Per un oggetto in volo, sul quale agiscono la forza di gravità e le forze dovute all'attrito con l'aria, la predizione del moto richiede la conoscenza dell'effetto di tali forze sulla traiettoria dell'oggetto, ovvero un modello interno della gravità e degli effetti aerodinamici. Per il moto di un oggetto in caduta verticale, diversi studi hanno mostrato come la temporizzazione della risposta motoria di intercettamento sia ben spiegata da un processo predittivo basato su un modello interno della gravità e non sia invece compatibile con una predizione basata su un'approssimazione al primo ordine, ovvero assumendo una velocità costante, della traiettoria della palla. Nel caso di un oggetto in volo non in caduta verticale, l'intercettamento richiede una predizione sia temporale sia spaziale. La traiettoria dell'oggetto nello spazio tridimensionale e non solo la sua temporizzazione deve essere predetta a partire dall'informazione visiva per poter determinare posizione e tempo di intercettamento.

I risultati di recenti esperimenti, condotti nel nostro laboratorio per lo studio dell'intercettamento di palle lanciate con una componente iniziale della velocità orizzontale non nulla, hanno mostrato come, anche per questo tipo di moto, la risposta motoria abbia una componente temporizzata accuratamente rispetto all'istante dell'impatto tra palla e mano, indicazione dell'esistenza di un processo predittivo. Come però tali processi predittivi siano implementati nel SNC è tuttora una questione aperta. È chiaro che il SNC deve combinare l'informazione visiva circa le caratteristiche di una specifica traiettoria con la conoscenza a priori dell'effetto della gravità e dell'attrito con l'aria per determinare la risposta motoria adeguata. Dato che sia il flusso di informazioni sensoriali in ingresso sia i comandi motori variano nel tempo, tali processi predittivi e di controllo sono dinamici e possono essere rappresentati come una trasformazione da una serie temporale di vettori sensoriali (tipicamente ad alta dimensionalità) ad una serie temporale di vettori motori (ad esempio i profili di attivazione dei muscoli coin-

volti) che dipende da alcuni parametri internalizzati (quali l'accelerazione di gravità e le caratteristiche fisiche dell'oggetto che influenzano l'effetto delle forze aerodinamiche, quali il coefficiente di attrito e la massa).

Obiettivo principale del presente progetto è investigare la natura di tale trasformazione dinamica. A tal fine, utilizzeremo un approccio sperimentale basato sulla variazione sistematica dei parametri di lancio di una palla da intercettare, della durata dell'informazione visiva disponibile sulla sua traiettoria e dell'effetto della gravità e dell'attrito con l'aria e sull'osservazione delle variazioni risultanti nel movimento del braccio, della mano e degli occhi e nell'attività elettromiografica di molti dei muscoli coinvolti.

In particolare, valuteremo: (a) le caratteristiche dell'informazione visiva disponibile nell'arco temporale del volo della palla mediante la registrazione dei movimenti oculari e la ricostruzione della direzione di sguardo; (b) l'effetto dell'informazione visiva a differenti tempi (mediante occlusione della traiettoria in diversi intervalli temporali) sulle prestazioni nel compito motorio e sulle caratteristiche spazio-temporali dei comandi motori e del movimento risultante; (c) la capacità di generalizzazione e di adattamento a nuove e differenti condizioni di volo della palla (tempo di volo, posizione dell'intersezione della traiettoria con il piano frontale del soggetto), a nuovi effetti aerodinamici (variando la massa della palla) e ad alterazioni dell'accelerazioni di gravità apparente (utilizzando gli effetti aerodinamici legati alla rotazione della palla attorno ad un asse orizzontale perpendicolare alla direzione di moto).

Attività previste

Nell'anno 2009 prevediamo di mettere a punto l'apparato sperimentale necessario per lo svolgimento degli esperimenti su volontari adulti sani e di intraprendere una prima serie di sessioni sperimentali per la valutazione delle caratteristiche e dell'effetto dell'informazione visiva a differenti tempi durante il volo della palla. L'apparato sperimentale consisterà in un lanciatore di palle (disegnato per l'allenamento dei giocatori di cricket) montato su di una struttura motorizzata che permette di variarne l'assetto dietro uno schermo verticale con un foro di uscita. Il lanciatore permette di variare la velocità di uscita della palla e la sua velocità di rotazione e sarà montato in modo che l'asse di rotazione sia orizzontale (per indurre una forza aerodinamica dovuta alla rotazione in direzione approssimativamente verticale, simulando così un riduzione o incremento della forza di gravità). Per controllare precisamente l'occlusione della traiettoria della palla, il locale sperimentale sarà illuminato da lampade con un rapido tempo di accensione e spegnimento pilotate da un contatore digitale attivato dall'uscita della palla dal foro rilevata da un fotodiodo. L'inizio e la durata di un intervallo di uno o più intervalli di occlusione saranno sistematicamente variati. Durante le sessioni sperimentali saranno inoltre registrate: la traiettoria della palla e la posizione di marcatori sulle braccia, tronco e testa del soggetto mediante sistema di cattura del movimento Vicon, la direzione di sguardo mediante sistema di video-oculografia EyeLink, la postura del polso e delle dita mediante guanto instrumentato Cyberglove, l'attività elettromiografica dei muscoli di spalla e braccio mediante sistema Delsys.

B.2 – BIOMEDICINA SPAZIALE

B.2.1 – Sistemi di riferimento nell'intercettamento di moti verticali gravitazionali (Myrka Zago)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Modelli interni, intercettamento, orientamento.

Descrizione

La percezione dell'orientamento del nostro corpo nello spazio è strettamente interrelata alla percezione dell'orientamento degli oggetti intorno a noi. Difatti se la percezione dell'orientamento del nostro corpo influenza la nostra capacità di riconoscere gli oggetti e di individuarne l'orientamento, anche la percezione degli oggetti nello spazio influenza la percezione dell'orientamento del nostro corpo nello spazio. Il processo di percezione del nostro orientamento dipende da informazioni visive derivanti dall'ambiente circostante, da informazioni provenienti dagli organi otolitici del sistema vestibolare, da gravicettori nella cute, nei muscoli e nel sistema viscerale e cardiovascolare. Qual è l'insieme dei riferimenti utilizzati per individuare la posizione di noi stessi e degli oggetti nello spazio? Ed in particolare quale sistema di riferimento utilizziamo quando dobbiamo anche interagire con un oggetto in movimento nello spazio tridimensionale? Sappiamo che il nostro sistema visivo non è in grado di misurare con esattezza l'accelerazione in finestre temporali brevi e quindi l'intercettamento di oggetti in moto accelerato dovrebbe risultare particolarmente complesso. D'altra parte una particolare accelerazione, quella di gravità, ha uno statuto particolare poiché il moto di tutti i corpi nell'ambiente terrestre è soggetto alla forza di gravità terrestre.

È stato ipotizzato che la rappresentazione dell'effetto della gravità sia codificata nel nostro sistema nervoso centrale mediante un modello dinamico che viene utilizzato per la pianificazione ed esecuzione dei movimenti in congiunzione alle informazioni visive del primo ordine. Ma quale sistema di riferimento utilizziamo per l'intercettamento di un moto verticale gravitazionale? Utilizzando tale rappresentazione interna dovremmo essere perfettamente in grado di interagire con oggetti in moto accelerato con accelerazione pari a quella gravitazionale qualunque sia l'orientamento del nostro corpo nello spazio o qualunque sia lo scenario visivo cui ci troviamo immersi. Come dovremmo quindi interagire con oggetti che si muovono in una scena visiva orientata in modo incongruente con la direzione della forza di gravità?

L'obiettivo di questo progetto triennale è verificare il ruolo della gravità nell'allineare o calibrare diversi sistemi di riferimento per l'integrazione delle informazioni multisensoriali. In particolare si vuole verificare l'ipotesi che la stima della gravità è codificata dapprima in un sistema di riferimento centrato sulla posizione della nostra testa nello spazio e poi trasformata in una rappresentazione astratta della gravità in coordinate mondo. Questa rappre-

sentazione viene poi utilizzata dal sistema visivo e cinestesico in modo integrato per poter interagire con gli oggetti in movimento.

Attività previste

Nel corso del primo anno di attività verrà sviluppato un set-up sperimentale che consenta di comprendere quale sia il sistema di riferimento utilizzato per intercettare oggetti in moto gravitazionale, in particolare che consenta di capire se il sistema di riferimento per il programma di intercettazione è ancorato alla direzione di moto dell'oggetto o all'orientamento della scena visiva. Verranno quindi realizzati scenari visivi ad alta risoluzione in cui la direzione di moto degli oggetti sia disaccoppiata dall'orientamento della scena visiva. Al sistema di presentazione degli scenari visivi verrà poi integrato un sistema di misurazione in tempo reale della risposta motoria.

B.3 – COMPUTER GRAPHICS E REALTÀ VIRTUALI COME METODOLOGIE PER LA RIABILITAZIONE SENSORIMOTORIA

B.3.1 – Percezione delle durate temporali e moto biologico

(Mauro Carrozzo)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Time perception, moto biologico, realtà virtuali.

Altri Enti coinvolti: Consiglio Nazionale delle Ricerche (Istituto di Neuroscienze).

Descrizione

La stima delle durate temporali relativamente a brevi intervalli (dell'ordine del secondo) è soggetta a numerosi tipi di distorsioni. Il fenomeno della *subjective time dilation* ne è un esempio: la percezione del tempo per stimoli in rapido movimento è dilatata rispetto a stimoli statici o che si muovono più lentamente [Brown 1995]. Saccadi compiute durante l'osservazione dello stimolo ne comprimono notevolmente la durata [Morrone et al. 2005].

Studi recenti hanno dimostrato che le frequenze temporali presenti in uno stimolo sono tra le cause principali dell'alterazione della percezione delle durate [Kanai et al. 2006]. Nel mondo reale siamo continuamente esposti a vari tipi di moto: rispetto al moto di tipo biologico abbiamo una particolare capacità di elaborazione, legata alla presenza di neuroni con una specifica sensibilità. Uno stimolo con componenti temporali di frequenza organizzate secondo un moto di tipo biologico influisce in maniera diversa rispetto ad uno stimolo con le stesse componenti ma organizzate in maniera differente? Per valutare se effettivamente la presenza di moto di tipo biologico produca una distorsione nella percezione delle durate temporali diversa da quella indotta da altri tipi di moto (non biologico) verrà messo a punto un nuovo esperimento.

Lo scopo del nuovo esperimento (che continuerà gli esperimenti eseguiti in progetti precedenti) è quello di verificare, attraverso un protocollo di discriminazione delle durate temporali, se distrattori dinamici biologici alterino la percezione del tempo in maniera significativamente diversa dai distrattori non-biologici.

- Brown SW (1995) *Perception & Psychophysics* 57:105-116.
- Morrone MC, Ross J, Burr D (2005) *Nat Neurosci* 8: 950-954.
- Kanai R, Paffen CLE, Hogendoorn H, Verstraten FAJ (2006) *J Vision* 6: 1421-1430.

Attività previste nell'anno

Il disegno sperimentale seguirà un classico modello di psicofisica *simple forced choice*. Ad inizio trial verrà presentata una scena in cui saranno pre-

senti attori in movimento biologico o non-biologico che resteranno visibili per 9 s. Dopo un breve intervallo comparirà uno stimolo test (una sfera) per 800 ms. Dopo un altro breve intervallo comparirà uno stimolo probe per la durata variabile scelta in maniera casuale tra 9 valori predefiniti, compresi nel range 500-1100 ms. Successivamente verrà chiesto al soggetto di indicare (premendo uno di due tasti) se lo stimolo probe sia rimasto visibile per più o meno tempo rispetto al test.

Durante l'esperimento verranno monitorati i movimenti oculari del soggetto che dovrà mantenere la fissazione su un punto prestabilito della scena. Ad ogni soggetto verrà chiesto di partecipare a due sessioni separate, differenziate dalla presenza di moto biologico o non biologico.

B.4 – CONTROLLO DEI MOVIMENTI LOCOMOTORI: MECCANISMI BASE DELL'ATTIVITÀ MUSCOLARE

B.4.1 – Adattamento dei movimenti locomotori nell'uomo (Yury Ivanenko)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: EMG, cinematica, cammino.

Descrizione

La locomozione costituisce un'attività fondamentale quotidiana e un esempio rilevante di come i circuiti spinali agevolino il controllo del movimento e l'adattamento a diverse condizioni. La locomozione, infatti, può essere adattata a diverse condizioni esterne, velocità, modi di progressione, diverse tipologie di superfici, ostacoli. Una corretta locomozione nei soggetti sani e nei soggetti con patologie motorie richiede sia l'abilità di generare e mantenere i patterns locomotori appropriati per muoversi verso una precisa destinazione, sia quella di cambiare i suddetti patterns in risposta a perturbazioni esterne ed interne e a movimenti complessi.

Il movimento non può essere studiato senza tenere conto della percezione. Per 'percezione' si intende l'integrazione dei dati grezzi sensoriali in informazioni fruibili cognitivamente. In particolare la regolazione del cammino coinvolge l'integrazione di informazioni visive, propriocettive e vestibolari. Quando ci muoviamo nell'ambiente circostante, le immagini proiettate sulla retina sono in movimento e questo flusso di informazioni è stato denominato Optic Flow (OF). L'OF è la sorgente di informazioni visive che ci fornisce informazioni sulla direzione e la velocità del cammino che si sta facendo rispetto all'ambiente circostante ed inoltre può essere usata per controllare la performance del movimento stesso. Poco si conosce sulla risposta motoria dell'uomo durante il cammino normale in presenza di manipolazione di più input sensoriali, in particolare presentando una stimolazione visiva e/o una sollecitazione meccanica sul tronco che forniscono incongruenza tra le informazioni che vengono elaborate durante la locomozione.

L'idea alla base di questo progetto di studio è riuscire a determinare 'la funzione di trasferimento' o la relazione esistente tra la perturbazione visiva d'ingresso che mandiamo al soggetto e l'uscita del sistema cioè la risposta motoria del soggetto a seguito di questa perturbazione. Questo tipo di studio ci permetterà di caratterizzare il sistema di controllo e determinare quali sono i meccanismi alla base del controllo motorio quando si presenta una incongruenza tra la stimolazione visiva e la propriocezione legata al movimento. Per poter studiare che tipo di risposta motoria viene indotta nell'uomo quando si presenta una particolare scena visiva che modifica la normale percezione di movimento del proprio corpo e come il sistema di controllo interpreta ed elabora tali informazioni durante il cammino, si registrano cinema-

tica ed EMG mentre il soggetto cammina normalmente su un treadmill ed osserva una particolare scena visiva proiettata su uno schermo posizionato a 1m di distanza dal soggetto.

Numerosi studi hanno dimostrato l'efficienza e i vantaggi derivanti dall'utilizzo di dispositivi per la riabilitazione di pazienti con deficit locomotori. La riabilitazione locomotoria su un treadmill con lo sgravio del peso corporeo facilita i movimenti locomotori e fornisce un efficace livello di recupero del cammino in pazienti affetti da vari disordini neuromuscolari. Un esempio sono i pazienti spinali che hanno mostrato notevoli miglioramenti nelle funzioni locomotorie, nella spasticità e nella densità ossea. Abbiamo pensato, a differenza di altri sistemi di sgravio, ad un 'dispositivo di sgravio' che consentisse una migliore simulazione delle condizioni di ipogravità in modo tale che la gamba sia nella fase di pendolamento che in quella di appoggio sia esposta a carichi gravitazionali congruenti. Al fine di evitare l'effetto della gravità, i segmenti di entrambe le gambe verranno fissati ad un esoscheletro costituito da profili vincolati tra loro con cuscinetti volventi che permettono il movimento delle gambe senza attrito nel piano orizzontale. Questo permette una minima resistenza al moto e facilita significativamente il paziente a compiere i movimenti ritmici delle gambe sia in aria che sul treadmill ad una velocità controllata.

L'idea alla base di questo dispositivo è che esso potrà essere usato nei primissimi stadi della riabilitazione neurologica. Una marcata atrofia dei motoneuroni è stata riscontrata dopo lesioni alla spina dorsale, che non appare in animali spinali che sono stati sottoposti a esercizio. Una degradazione dell'attività dei neuroni spinali può essere prevenuta da un continuo allenamento intrapreso subito dopo la lesione. Usando questo sistema si può studiare l'adattamento della cinematica e dei patterns motori a condizioni di gravità modificata.

Abbiamo pensato anche di esplorare l'adattamento della locomozione a differenti superfici e quindi ostacoli, scale, piano inclinato, condizioni di attrito ridotto. Nel cammino dell'uomo è stato mostrato che le rotazioni dei segmenti articolari covariano, così che la traiettoria 3D degli angoli di elevazione plottati l'uno verso l'altro giace totalmente su un piano. Questa legge di covariazione intersegmentale vale per il cammino a differenti velocità, direzioni avanti e indietro, postura eretta e 'groucho', e per differenti livelli di sgravio del peso corporeo, e può rappresentare quindi una peculiarità della locomozione. Questa relazione tra i segmenti articolari nella locomozione può essere il risultato di più di un meccanismo basilare. In questo studio vogliamo comprendere come varia la coordinazione intersegmentale aggiungendo ostacoli al percorso, variando l'inclinazione del terreno oppure salendo e scendendo le scale negli adulti e nei bambini che compiono i primi passi.

Lo studio dei primi passi senza supporto nei bambini ci permette di rispondere alle problematiche dei requisiti sia posturali che propulsivi. I primi passi rappresentano, infatti, un primo adattamento alla gravità che è a sua volta responsabile del controllo della locomozione.

In aggiunta abbiamo voluto studiare l'adattamento del cammino a condizioni di attrito ridotto facendo camminare i soggetti su un percorso di lun-

ghezza di circa 7 metri ricoperto di olio. Al fine di comprendere la modalità con cui i circuiti spinali generano i diversi modi di locomozione analizzeremo anche l'attività muscolare usando sia tecniche di analisi multivariata sia l'architettura spazio-temporale dell'attività dei motoneuroni.

Attività previste

In quest'anno vogliamo analizzare come varia la coordinazione intersegmentale e motoria aggiungendo ostacoli al percorso, variando l'inclinazione del terreno oppure salendo e scendendo le scale negli adulti e nei bambini che compiono i primi passi.

I primi passi senza supporto esterno hanno inizio nei bambini di circa un anno d'età. Un'estesa comprensione delle regole della gravità e del proprio comportamento rispetto ad un ambiente esterno avviene intorno al primo anno. Lo sviluppo della coordinazione dei diversi segmenti e la stabilità posturale sembrano crescere in parallelo, dal momento che, nell'adulto, sia le leggi cinematiche relative al controllo degli angoli di elevazione che l'orientamento del tronco sembrano essere in relazione alla linea di gravità. Lo scopo che ci proponiamo è studiare le relazioni tra la coordinazione intersegmentale ed il meccanismo del pendolo unite al ruolo del carico sul piede, a quello della gravità e alla stabilità aggiungendo ostacoli al percorso, facendo camminare il bambino anche su un piano inclinato e facendogli superare alcuni scalini.

L'adattamento del cammino a condizioni di attrito ridotto ci può fornire interessanti nozioni sul ruolo dell'attrito e della gravità sul controllo della locomozione. A tale scopo faremo camminare i soggetti su un percorso di lunghezza di circa 7 metri ricoperto di olio. Al fine di comprendere la modalità con cui i circuiti spinali generano i diversi modi di locomozione analizzeremo anche l'attività muscolare usando sia tecniche di analisi multivariata sia l'architettura spazio-temporale dell'attività dei motoneuroni. Si possono visualizzare le mappe dell'attività dei motoneuroni del midollo spinale dell'uomo durante la locomozione associando i patterns muscolari all'ubicazione dei motoneuroni.

Volendo confrontare l'attività muscolare con gli andamenti di energia cinetica e potenziale del centro di massa abbiamo utilizzato l'attività muscolare bilaterale. Il moto del centro di massa, infatti, è determinato dall'attività coordinata di entrambe le gambe. Questo ci potrà fornire un collegamento interessante tra moto del centro di massa e attività dei motoneuroni del midollo spinale.

B.5 – MOVIMENTO E PROCESSI COGNITIVI: PROSPETTIVE TEORICHE E APPLICATIVE

B.5.1 – Rappresentazione mentale della gravità in soggetti con stroke (Elena Daprati)

Anno d'inizio: 2006

Durata in mesi: 48

Parole chiave: Corteccia vestibolare, lesione cerebrale, intercettamento.

Descrizione

Negli ultimi anni, la possibilità che il cervello impieghi modelli anticipatori per compensare i limiti del sistema sensorimotorio è stata ampiamente dimostrata [Wolpert et al. 1995; Wolpert, Kawato 1998; Kawato 1999; Wolpert, Flanagan 2001; Davidson, Wolpert 2005]. Sul piano funzionale, un modello predittivo descrive un ipotetico sistema neurale capace di “mimare” le proprietà funzionali dei nostri apparati sensorimotori e di costruire previsioni congruenti con le dinamiche ambientali. Rispetto a quest'ultimo aspetto, i modelli anticipatori sarebbero in grado di integrare automaticamente precise proprietà fisiche dell'ambiente esterno, come per esempio gli effetti esercitati dalla forza di gravità sugli oggetti [McIntyre et al. 2001]. In particolare, le aree vestibolari della giunzione temporo-parietale potrebbero rappresentare il substrato neurale implicato nel processo di implementazione degli effetti della gravità terrestre su bersagli esplorati visivamente [Indovina et al. 2005].

Un approccio sperimentale efficace per chiarire il ruolo delle aree vestibolari è costituito dall'analisi del comportamento di pazienti che abbiano subito un insulto vascolare in tali regioni cerebrali. Si può infatti ipotizzare che la compromissione funzionale di aree specifiche possa condurre ad una riduzione (o alla perdita) della capacità di utilizzare correttamente un modello interno della gravità. Questa limitazione potrebbe essere messa in luce attraverso test specifici (i.e. compiti di intercettamento di un bersaglio in caduta), consentendo inoltre di evidenziare la comparsa di eventuali risposte compensatrici.

Questo studio si propone di valutare direttamente tali aspetti funzionali, attraverso l'esplorazione del comportamento di pazienti cerebrolesi in compiti di interazione con stimoli in movimento e la correlazione delle loro prestazioni con i dati anatomo-funzionali relativi alla lesione.

Risultati e prodotti conseguiti

Nelle fasi precedenti di questo studio è stato allestito un test di intercettamento in ambiente virtuale: un oggetto inanimato muoveva in caduta libera lungo la verticale, in direzione di un bersaglio. L'osservatore doveva individuare, premendo un pulsante, l'istante in cui l'oggetto avrebbe raggiunto il bersaglio. Il compito virtuale riproduceva quindi quanto accadrebbe, in condizioni realistiche, nel caso in cui l'osservatore dovesse afferrare un oggetto in

caduta, intercettandolo immediatamente prima dell'urto con il bersaglio. Sono stati testati moti in accordo o in contrasto con quanto previsto dall'accelerazione di gravità terrestre (condizione 1g/condizione -1g).

Il compito sperimentale è stato affiancato da due test di controllo, volti ad escludere problematiche legate alla percezione della direzione di movimento o alla capacità di reagire ad uno stimolo, e da una valutazione neuropsicologica di screening, diretta ad escludere la presenza di grave deterioramento cognitivo nei pazienti.

Nelle fasi precedenti della ricerca sono stati raccolti ed analizzati i dati comportamentali (accuratezza e latenza di risposta) relativi allo svolgimento dei compiti e la documentazione neuroanatomica relativa ai singoli casi (tomografia assiale computerizzata e/o risonanza magnetica nucleare) su un primo gruppo di diciotto pazienti affetti da ischemia.

Attività previste

La fase attuale di questo studio ha due obiettivi primari. In primo luogo, incrementare il campione di pazienti inclusi nel gruppo sperimentale e in quello di controllo al fine di ampliare e confermare i risultati preliminari. In secondo luogo, svolgere uno studio di correlazione tra dati comportamentali e dati neuroanatomici per sviluppare una corretta interpretazione dei risultati.

In relazione al primo scopo, ci si propone di individuare un gruppo di dieci/dodici pazienti che abbiano subito un danno vascolare, principalmente a carico dell'arteria cerebrale media. Si porrà attenzione a selezionare casi che presentino aree ischemiche in specifiche strutture corticali (insula, giunzione temporo-parietale) o sottocorticali (nuclei della base, talamo, capsula interna). Quando al secondo obiettivo, la possibilità di correlare dati comportamentali e dati neuroanatomici consentirà di meglio comprendere il ruolo funzionale delle regioni di interesse (ROIs). A tale scopo, le lesioni dei pazienti saranno ricostruite in uno spazio stereotassico comune. Le ricostruzioni così ottenute potranno poi essere sovrapposte al fine di individuare le aree infartuate comuni ai diversi pazienti. In particolare, saranno applicati adeguati test statistici per stabilire la presenza/assenza di danno ischemico a carico di precise aree corticali (insula, giunzione temporo-parietale) e di strutture sottocorticali selezionate (nuclei della base, talamo, capsula interna). Questo permetterà di isolare correttamente i soggetti in cui le ROIs sono state interessate da ischemia (gruppo sperimentale), rispetto a quelli in cui sono state risparmiate (gruppo controllo).

Il comportamento dei due gruppi di pazienti sarà poi confrontato allo scopo di identificare le aree cerebrali che contribuiscono in modo critico all'utilizzo di modelli interni delle leggi di moto coerenti con la gravità naturale.

Sulla base dei dati preliminari raccolti nelle fasi precedenti dello studio, ci si attende, nel caso di lesioni coinvolgenti le aree di interesse, una modificazione delle differenze descritte nel soggetto neurologicamente integro, nel corso di compiti di intercettazione di oggetti, animati da moti gravitazionali vs. non gravitazionali [Indovina et al. 2005]. È possibile infatti che, in seguito all'insulto vascolare, i pazienti sviluppino una maggiore dipendenza dall'infor-

mazione visiva, perdendo la capacità di anticipare correttamente la posizione dell'oggetto, che sarebbe quindi intercettata costantemente con consistente ritardo. In alternativa, si può supporre che vengano attivate strategie compensatorie, basate per esempio sulla temporizzazione del moto, al fine di compensare per il deficit predittivo.

- Davidson PR, Wolpert DM (2005) *J Neural Eng* 2: S313-319.
- Indovina I et al. (2005) *Science* 308:416-419.
- Kawato M (1999) *Curr Opin Neurobiol* 9: 718-727.
- McIntyre J et al. (2001) *Nat Neurosci* 4: 693-694.
- Wolpert DM, Flanagan JR (2001) *Curr Biol* 11: R729-732.
- Wolpert DM, Kawato M (1998) *Neural Netw* 11: 1317-1329.
- Wolpert DM et al. (1995) *Science* 269: 1880-1882.

B.5.2 – Studio dei meccanismi di rappresentazione mentale di moti naturali e non naturali (Francesca Figliozzi)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Corteccia vestibolare, moto biologico, percezione.

Descrizione

Durante il processo evolutivo, gli esseri umani si sono adattati ad una serie di vincoli ambientali, tra cui la legge di gravità. La relazione tra parametri spaziali e temporali, per eventi soggetti alla legge di gravità, definisce lo spazio percorso (s) come il prodotto di una costante (k), relativa allo specifico moto considerato, moltiplicata per il quadrato del tempo (t) ($s=k*t^2$) [Pittenger 1985; Mc Connell 1998; Watson et al. 1992]. La conoscenza implicita di tali vincoli viene impiegata in una varietà di condizioni, come valutare la distanza di un oggetto in caduta libera, considerando la durata del moto [Watson et al. 1992; Mc Connell 1998] o, in ambito di laboratorio, stimare la lunghezza di un pendolo, partendo dal periodo di oscillazione [Pittenger 1985; Mc Connell 1998] o la causalità e naturalezza del moto, valutando il rapporto tra parametri spaziali e temporali [Twardy et al. 2002]. È possibile, inoltre, estrarre informazioni dal movimento biologico, quali le dimensioni di un animale, basandosi sulla velocità con cui esso si muove [Jokisch, Troje 2003].

È ipotizzabile quindi, che il Sistema Nervoso Centrale (SNC) possa utilizzare informazioni come dimensioni, distanza e proiezione retinica di uno stimolo in movimento per valutare quali siano i parametri temporali corrispondenti ad una scena visiva realistica. L'unica evidenza in tal senso proviene da un resoconto (non dettagliato e non pubblicato) di Johansson e Jansson [1967, citato in Watson et al. 1992]. In questo compito, i soggetti dovevano regolare la velocità di filmati, contenenti movimento biologico (tuffi, salti in

alto e salti con l'asta) ad un valore che rendesse la scena il più naturale possibile. I risultati di questo studio suggeriscono che i soggetti sono accurati nel valutare la temporizzazione della scena visiva.

L'obiettivo di questa ricerca è studiare nel dettaglio se gli esseri umani sono in grado di considerare l'effetto delle leggi fisiche ed, in particolare, della legge di gravità, e determinare quale sia la corretta temporizzazione di una scena visiva.

- Jokisch D, Troje NF (2003) *Journal of Vision* 3: 252-264.
- Mc Connell DS et al. (1998) *Perception & Psychophysics* 60: 1175-1187.
- Pittenger JB (1985) *Perception* 14: 247-256.
- Watson JS et al. (1992) *Perception* 21: 69-76.
- Twardy CR, Bingham GP (2002) *Perception & Psychophysics* 64: 956-968.
- Johansson G, Jansson G (1967) The perception of free fall. *Unpublished seminar paper* – University of Uppsala, Department of psychology.

Attività previste

Per valutare come il cervello impieghi informazioni relative agli stimoli in movimento per valutare i parametri temporali di una scena visiva realistica, saranno presentati a osservatori neurologicamente integri diversi filmati, contenenti movimento, biologico o non biologico, i cui parametri temporali risulteranno più o meno prevedibili (o vincolati) in base alle leggi della fisica.

In particolare, saranno utilizzati filmati della durata di circa 2 secondi, contenenti oggetti o persone in movimento, diversi tra loro per presenza o tipologia di movimento biologico presentato. I filmati, registrati alla frequenza di 25 frame per secondo (Hz), saranno presentati, in ordine casuale, a cinque diverse velocità, ciascuna corrispondente ad una progressiva riduzione (o incremento) della velocità naturale. Gli osservatori, seduti a circa 6 metri dallo schermo (5x3 m), giudicheranno la naturalezza di ciascun filmato. Per questo scopo, sarà impiegata una scala Likert a 5 passi, derivata dal rapporto proporzionale tra velocità a cui viene presentato il filmato e velocità naturale. Il programma per la presentazione dei filmati sarà realizzato mediante il software "Presentation" (Neurobehavioral Systems). L'esperimento sarà eseguito in un'unica sessione della durata di circa 60 minuti.

L'analisi dei dati impiegherà un modello statistico "Multilogit ordered mixed model", che permetterà di individuare le caratteristiche della relazione tra velocità del filmato presentato e risposta dei partecipanti, considerando come fattori: tipologia del filmato, sesso ed età dei partecipanti; e trattando come prove ripetute tutte le risposte emesse da un unico osservatore.

È ragionevole supporre che i partecipanti impiegheranno le informazioni relative alle dimensioni degli oggetti/corpo umano e all'effetto esercitato su di essi dalla gravità terrestre nella scelta della temporizzazione della scena visiva corrispondente alla velocità naturale. Ipotizziamo inoltre che la tipologia del movimento contenuta nei vari tipi di filmato possa produrre differenze nel grado di accuratezza del giudizio degli osservatori.

B.6 – UTILIZZO DI TECNICHE DI INDAGINE NEURO-FUNZIONALE PER LO STUDIO DEI PROCESSI PREDITTIVI ALLA BASE DELL'INTERCETTAMENTO MANUALE

B.6.1 – Intercettamento manuale di moti balistici in presenza o meno di occlusione visiva (Gianfranco Bosco)

Anno d'inizio: 2009

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Predizione, area hMT/V5+, TPJ.

Descrizione

L'attività sperimentale condotta nel corso dell'anno 2008 e riferita al programma di ricerca realizzato nel triennio precedente (2006-08) è consistita nella realizzazione di una serie sperimentale che ha avuto l'obiettivo di studiare gli effetti della inattivazione temporanea dell'area hMT/V5+ e di TPJ sull'intercettamento di bersagli visivi in movimento lungo traiettorie orizzontali. I risultati di questa serie sperimentale, congiuntamente ai risultati degli esperimenti con i moti verticali realizzati in precedenza, ci hanno permesso di concludere che la corteccia della giunzione temporo-parietale contribuisce selettivamente alla tempistica dei movimenti di intercettamento di oggetti il cui moto è sottoposto alla legge di gravità, mentre l'area hMT/V5+ contribuisce alla tempistica dell'intercettamento indipendentemente dalla natura causale del moto del bersaglio visivo.

Questo programma di ricerca rappresenta il proseguimento ideale del precedente programma. In particolar modo, l'interesse primario del programma è diretto allo studio di un comportamento motorio, l'intercettamento di oggetti in movimento, il cui controllo si basa in modo predominante su dei meccanismi predittivi. Infatti, esso presuppone l'elaborazione di stime predittive del tempo di contatto con l'oggetto (TTC) in modo tale da evitare i ritardi nel circuito visuomotorio.

Studi recenti sembrerebbero indicare che l'elaborazione predittiva dei TTC, almeno per l'intercettamento di gravi in caduta libera, sarebbe il risultato della integrazione di informazioni visive riguardanti la posizione e la velocità del moto visivo e di informazioni precostituite circa caratteristiche invarianti dell'ambiente, quali ad esempio, l'effetto della forza gravità sul moto degli oggetti [McIntyre et al. 2003; Zago et al. 2005, 2008; Senot et al. 2005]. Un ruolo centrale nell'elaborazione di informazioni visive di moto viene svolto dall'area hV5/MT+ sia per aspetti che riguardano la percezione del moto visivo [Tootell et al. 1995; Watson et al. 1993], che relativamente ai processi di trasformazione visuomotoria alla base dell'intercettamento.

Studi di neuro-immagini e di TMS hanno, infatti, dimostrato incrementi significativi dell'attività di hV5/MT+ durante compiti di intercettamento manuale [Indovina et al. 2005; Miller et al. 2008] ed effetti sulla cinematica e

sulla tempistica del movimento di intercettamento in seguito a perturbazioni indotte dalla TMS [Schenk et al. 2005; Bosco et al. 2008]. Un complesso di aree corticali, comprendente la corteccia insulare e le aree limitrofe parieto-temporali potrebbe, invece, rappresentare il correlato neurale di una conoscenza pregressa della forza di gravità. Queste aree vengono infatti attivate in modo preferenziale da moti gravitazionali [Indovina et al. 2005; Miller et al. 2008] e l'inattivazione della corteccia della giunzione temporoparietale (TPJ) mediante TMS è in grado di interferire selettivamente con la tempistica dell'intercettamento di bersagli visivi congruenti con gli effetti della gravità terrestre [Bosco et al. 2008].

Quest'ultimo studio ha inoltre evidenziato come gli effetti della TMS dell'area hMT/V5+ e di TPJ fossero compatibili con un coinvolgimento più diretto da parte di queste aree nei processi che determinano la tempistica del movimento, piuttosto che un contributo limitato alla elaborazione di informazioni riguardanti le caratteristiche del moto del bersaglio visivo. Questo risultato potrebbe implicare un contributo diretto da parte di queste aree ai processi che consentono di estrapolare la traiettoria del moto visivo e di elaborare una predizione del TTC.

Un paradigma sperimentale particolarmente adatto allo studio dei meccanismi di estrapolazione visiva e alla base di processi decisionali di natura predittiva consiste nella occlusione visiva della traiettoria del bersaglio visivo. A tal proposito, studi di elettrofisiologia e di fMRI hanno già sottolineato un ruolo preminente del solco intraparietale (IPS) nel mantenere una rappresentazione interna della traiettoria del bersaglio visivo durante un periodo di occlusione visiva, mentre più controversa è la possibilità che anche aree sensoriali come V5/MT siano direttamente coinvolte nel processo di estrapolazione [Eskandar e Assad 1999; Olson et al. 2004; Ogawa e Inuki 2007].

L'obiettivo di questo programma è quello di mettere a punto un paradigma psicofisico di occlusione visiva e utilizzarlo in combinazione a metodiche di indagine neuro-funzionale (quali TMS, EEG, fMRI) per far ulteriore chiarezza sui processi decisionali di natura predittiva, e gli eventuali correlati neurali, alla base dell'intercettamento manuale.

- Bosco G, Carrozzo M, Lacquaniti F (2008) *J Neurosci* 28(46): 12071-12084.
- Eskandar EN, Assad JA (1999) *Nat Neurosci* 2(1): 88-93.
- Indovina I, Maffei V, Bosco G, Zago M, Macaluso E, Lacquaniti F (2005) *Science* 308: 416-419.
- McIntyre J, Senot P, Prévost P, Zago M, Lacquaniti F, Berthoz A (2003) *Proceedings of the First IEEE EMBS Conference on Neural Engineering. Capri, March 20-22; 438-441.*
- Miller WL, Maffei V, Bosco G, Iosa M, Zago M, Macaluso E, Lacquaniti F (2008) *J Neurophysiol* 99(4): 1969-1968.
- Ogawa K, Inui T (2007) *J Cogn Neurosci* 19(11): 1827-1835.
- Olson IR, Gatenby JC, Leung HC, Skudlarski P, Gore JC (2004) *Neuropsychologia* 42(1): 95-104.

- Senot P, Zago M, Lacquaniti F, McIntyre J (2005) *J Neurophysiol* 94: 4471-4480.
- Tootell RB, Reppas JB, Kwong KK, Malach R, Born RT, Brady TJ, Rosen BR, Belliveau JW (1995) *J Neurosci* 15(4): 3215-3230.
- Watson JD, Myers R, Frackowiak RS, Hajnal JV, Woods RP, Mazziotta JC, Shipp S, Zeki S (1993) *Cereb Cortex* 3(2): 79-94.
- Zago M, Lacquaniti F (2005) *Neuropsychologia* 43: 178-188.
- Zago M, McIntyre J, Senot P, Lacquaniti F (2008) *Vision Res* 48(14): 1532-1538.

Attività previste

La fase iniziale del programma di ricerca per il prossimo triennio, che intendiamo svolgere nel corso dell'anno 2009, prevede la realizzazione di un paradigma psicofisico di intercettamento manuale in presenza di occlusione visiva e nella analisi delle risposte comportamentali registrate da un campione di soggetti. Nell'ottica complessiva del programma di ricerca, questa fase avrebbe la finalità di perfezionare un protocollo sperimentale di psicofisica da adoperare nelle fasi successive del programma congiuntamente a metodiche neuro-funzionali.

Il paradigma sperimentale consisterà in un compito di intercettamento manuale di bersagli visivi in movimento lungo traiettorie paraboliche. A tal fine, soggetti sani destrimani verranno fatti sedere di fronte lo schermo di un computer ed osserveranno una scena che riproduce una fase del gioco del baseball in cui viene lanciata una palla lungo una traiettoria parabolica (la cosiddetta fly-ball). Azionando il mouse di un computer, il soggetto dovrà spostare lungo la scena visiva l'immagine di un giocatore per posizionarla in corrispondenza del punto ottimale dello schermo per intercettare la traiettoria della palla in caduta e premere il pulsante del mouse per segnalare l'istante dell'intercettamento. Il punto e l'istante dell'intercettamento saranno resi imprevedibili variando in modo random le velocità iniziali della palla tra almeno tre possibili valori. Inoltre, in trial differenti, il moto parabolico della palla potrà essere interamente congruente con gli effetti della forza di gravità terrestre ovvero potrà essere perturbato nel tratto discendente in modo tale da simulare condizioni di iper- (2g) o di ipogravità (0g). Infine, in metà dei trials, la porzione terminale della traiettoria del bersaglio visivo sarà oscurata per una durata variabile da trial a trial.

L'occlusione visiva riguarderà circa un terzo della traiettoria totale e sarà preceduta da un periodo di almeno 500 ms in cui la traiettoria perturbata o meno del bersaglio visivo sarà visibile al soggetto. A causa, quindi, dell'assenza di informazioni visive riguardanti la parte finale della traiettoria del bersaglio, la tempistica del movimento di intercettamento dovrà dipendere criticamente dalla capacità del SNC di estrapolare la traiettoria del bersaglio visivo sulla base dell'informazione visiva precedente e/o di una conoscenza pregressa delle caratteristiche del moto.

I tempi di pressione del pulsante del mouse e la posizione del cursore del mouse (che rappresenta la posizione del giocatore azionato dal soggetto attraverso il mouse) verranno acquisite rispettivamente a 1 KHz e a 100 Hz attraverso una apposita interfaccia di conversione A/D. I tempi di risposta e la

posizione del cursore al momento della risposta di intercettazione verranno riferiti rispettivamente all'istante e al punto teorico in cui la palla dovrebbe essere intercettata. Infine, mediante modelli di ANOVA multivariata cercheremo di caratterizzare eventuali relazioni esistenti tra le risposte temporali e spaziali e le diverse condizioni di perturbazione della legge di moto e di occlusione visiva.

B.7 – UTILIZZO DI TECNICHE INTEGRATE DI PSICOFISICA E RISONANZA MAGNETICA FUNZIONALE (fMRI) NELLO STUDIO DELLA RAPPRESENTAZIONE INTERNA DELLA GRAVITÀ

B.7.1 – Studio sul coinvolgimento della rappresentazione interna della gravità nel moto biologico e nel moto apparente (Vincenzo Maffei)

Anno d'inizio: 2008

Durata in mesi: 36

Parole chiave: Moto apparente, moto biologico, gravità.

Descrizione

Quando ci troviamo ad interagire con il mondo esterno, ad esempio per afferrare un oggetto che sta cadendo, potremmo pensare che l'input sensoriale sia l'unica fonte di informazione utilizzata. Questa visione, che è stata per molti anni predominante in ambito scientifico [Gibson 1966], è messa fortemente in discussione. Difatti numerosi lavori supportano una diversa e molto affascinante idea: le informazioni sensoriali, di per se stesse ambigue, sono integrate con conoscenze a priori del mondo esterno [Helmholtz 1866].

Il lavoro svolto nel nostro laboratorio ha aggiunto nuove evidenze a questa ipotesi. Infatti abbiamo mostrato che per intercettare un oggetto in caduta verticale non si utilizzano solo le informazioni visive disponibili, ma queste vengono integrate con un'ipotesi a priori sulle cause del moto: il modello interno della legge di gravità [Mc Intyre et al. 2001; Zago et al. 2004]. Abbiamo poi indagato i possibili substrati neurali di tale modello. In recenti studi di neuroimmagini funzionali [Indovina et al. 2005; Miller et al. 2007] confrontando l'intercettazione di moti congruenti con la legge di gravità ($a=9.81\text{m/s}^2$) verso moti anti-gravitari ($a=-9.81\text{m/s}^2$), abbiamo mostrato l'attivazione differenziale della rete vestibolare: un complesso di aree corticali peri-silviane (corteccia insulare e aree limitrofe parieto-temporali) alle quali viene comunemente attribuita una funzione vestibolare [Dieterich et al. 2003]. In particolare questo network si pensa sia coinvolto nella elaborazione di informazioni multisensoriali per la percezione dell'orientamento del corpo rispetto alla verticale gravitaria [Brandt et al. 1994]. Questa rete può quindi essere legittimamente pensata come la sede di una rappresentazione 'astratta' (un modello interno) della legge di gravità.

L'interesse scientifico è ora rivolto ad indagare altri fenomeni in cui il modello interiorizzato di gravità è coinvolto ed in particolare nei casi dove può contribuire a risolvere l'ambiguità sensoriale.

In primo luogo siamo interessati a studiare la relazione tra modello interno e moti apparenti. Immaginiamo che uno stimolo statico sia fatto lampeggiare in una posizione. Poi un altro stimolo, identico al primo, sia fatto lampeggiare in una posizione diversa. Se i 2 stimoli si succedono in un oppor-

tuno intervallo spazio-temporale, per l'osservatore questi 'corrispondono' ad un unico stimolo in movimento. Questo tipo di percezione è definita: moto apparente. Nel riconoscimento dei moti apparenti la salienza dello stimolo ricopre un ruolo essenziale nel far 'corrispondere' a due (o più) stimoli statici la percezione di un solo oggetto in moto apparente. Un'area chiave di questo processo è stata individuata nel lobo parietale inferiore (IPL) [Claeys et al. 2003]. Noi ipotizziamo che data la rilevanza (salienza) biologica della gravità, il modello interno cooperi nel riconoscimento dei moti apparenti. Allora moti apparenti compatibili con la gravità risulteranno salienti e saranno in grado di attivare maggiormente IPL.

Una seconda tematica di indagine riguarderà il rapporto tra il moto biologico ed il modello interno di gravità. Con il termine moto biologico in genere si definisce la traiettoria spazio-temporale generata dal movimento di un essere vivente. La sola visione delle articolazioni illuminate di una persona in movimento è in grado di generare la vivida impressione di una animazione umana. Queste ridotte informazioni sono sufficienti anche per poter discriminare diversi dettagli come il sesso, l'azione che sta svolgendo etc. Non appena il movimento termina la percezione collassa in un insieme di luci sparse senza significato. La percezione del moto biologico è però drammaticamente compromessa quando questo è mostrato capovolto [Pavlova, Sokolov 2000] a causa probabilmente delle alterate informazioni relative ai vettori gravito-inerziali [Pavlova, Sokolov 2003; Shipley 2003; Troje et al. 2006]. Queste evidenze mostrano una possibile interazione tra la gravità e la percezione del moto biologico.

Nostro scopo sarà quindi determinare se e come il modello interno di gravità interviene nel riconoscere un moto biologico.

- Brandt T, Dieterich M, Danek A (1994) *Ann Neurol* 35: 403-412.
- Claeys KG, Lindsey DT, De Schutter E, Orban GA (2003) *Neuron* 40: 631-642.
- Dieterich M, Bense S, Lutz S, Drzezga A, Stephan T, Bartenstein P, Brandt T (2003) *Cereb Cortex* 13: 994-1007.
- Gibson JJ (1966) *The Senses Considered as Perceptual Systems*. London: Allen & Unwin, 335.
- Helmholtz H (1866) *Handbuch der Physiologischen Optik, Vol III, Sec 32*. Hamburg: Voss.
- Indovina I, Maffei V, Bosco G, Zago M, Macaluso E, Lacquaniti F (2005) *Science* 308: 416-419.
- McIntyre J, Zago M, Berthoz A, Lacquaniti F (2001) *Nature Neurosci* 4: 693-694.
- Miller WL, Maffei V, Bosco G, Iosa M, Zago M, Macaluso E, Lacquaniti F (2008) *J Neurophysiol* 1969-1982.
- Pavlova M, Sokolov A (2000) *Perception & Psychophysics* 62: 888-899.
- Pavlova M, Sokolov A (2003) *Perception* 32: 937-946.
- Shipley TF (2003) *Psychological Science* 14: 377-380.
- Troje NF, Westhoff C (2006) *Curr Biol* 16: 821-824.
- Zago M, Bosco G, Maffei V, Iosa M, Ivanenko YP, Lacquaniti F (2004) *J Neurophysiol* 91: 1620-1634.

Risultati e prodotti conseguiti

Nel primo anno abbiamo eseguito uno studio sul coinvolgimento del modello interno di gravità durante moti apparenti attraverso tecniche di psicofisica e di neuroimmagini funzionali su 19 soggetti giovani. Abbiamo mostrato a questi soggetti una scena visiva composta da una persona ed un edificio in pieno giorno, così da dare i necessari riferimenti metrici. Lo stimolo vero e proprio consisteva in una palla da calcio in moto verticale secondo 3 leggi di moto (1g, 0g o -1g) e due tipi di moto: reale (RM) oppure apparente (AM). Gli stimoli erano presentati in blocchi di 12 trial consecutivi con identica legge ed identico tipo di moto, ma di durata variabile tra 1.4-1.8 s. per un totale di 8 blocchi per ogni legge (1g, 0g, -1g) e tipo di moto (RM, AM). Ai soggetti era chiesto di intercettare la palla nel punto di arrivo. I risultati psicofisici hanno mostrato che l'errore motorio era maggiore per moti anti-gravitari rispetto ai moti gravitazionali, coerentemente con l'attivazione di un modello interno di gravità.

L'analisi delle immagini funzionali ha poi mostrato attivazioni significativamente maggiori durante moti coerenti con la gravità (1g) rispetto a moti costanti e moti antigravitari in regioni vestibolari come l'insula ed anche in regioni visive come il giro linguale (in corrispondenza delle aree VP/V4) indipendentemente se il moto fosse reale (RM) o apparente (AM). Quindi anche quando l'informazione visiva è carente, il network rappresentante il modello interno di gravità è attivo e coopera con il sistema visivo per programmare efficacemente l'azione. Risultati simili si ottengono anche dal confronto tra moti a velocità costante e moti -1g. Il pattern di attivazione è quindi congruente con i dati comportamentali.

Attività previste

Dalla ricerca effettuata nella fase precedente resta da chiarire se il modello interno di gravità è legato alla programmazione della risposta motoria, oppure se questo modello interviene durante la fase di processamento della informazione visiva. Per meglio comprendere questo punto abbiamo progettato una seconda serie sperimentale da eseguire nel prossimo anno. Le immagini funzionali saranno acquisite a 3Tesla. Utilizzeremo un disegno sperimentale a blocchi per massimizzare il rapporto segnale/rumore. In questa nuova serie sperimentale gli stimoli saranno simili a quelli usati nella fase precedente (3 leggi di moto: 1g, 0g e -1g), ma questa volta ai soggetti sarà richiesto di eseguire un compito motorio indipendente dallo stimolo di interesse (la legge di moto). Quindi per ogni trial il punto di fissazione varierà di dimensioni (espandendosi) in modo casuale.

I soggetti dovranno individuare il momento dell'espansione premendo un pulsante. Questo tipo di compito ha lo scopo di mantenere alto il livello di attenzione dei soggetti che partecipano allo studio ed inoltre ha il vantaggio di essere indipendente dalle diverse leggi di moto. Nel caso il modello interno di gravità sia indipendente dalla risposta motoria ed intervenga quindi nella fase di processamento dell'informazione visiva ci aspettiamo attivazioni BOLD simili a quelle ottenute durante il task di interecettamento.