



# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**DIPARTIMENTO DI FILOSOFIA, SOCIOLOGIA, PEDAGOGIA E PSICOLOGIA  
APPLICATA**

**Corso di laurea Triennale in Scienze psicologiche sociali e del lavoro**

**Tesi di Laurea Triennale**

## **Tai Chi e immaginazione mentale: l'utilizzo della cinematica nello studio degli effetti delle immagini mentali sul movimento**

Tai Chi and Mental Imagination: the use of kinematics in the study of the effects of  
mental image on movement

*Relatrice*

Prof.ssa Luisa Sartori

*Controrelatrice*

Prof.ssa Lucia Regolin

*Laureanda:* Elisa Zanon

*Matricola:* 1140518

Anno Accademico 2019 – 2020



## INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	4
1.1.	Movimento di raggiungimento-prensione .....	5
1.2.	Il Tai Chi .....	9
1.3.	Mental Imagery, MI .....	10
1.4.	Ipotesi sperimentale .....	10
2.	MATERIALI E METODI .....	12
2.1.	Partecipanti .....	12
2.2.	Stimolo .....	12
2.3.	Apparato Sperimentale .....	12
2.4.	Procedura .....	14
2.5.	Analisi cinematica .....	15
2.6.	Risultati e Discussione .....	17
3.	CONCLUSIONI .....	21
4.	BIBLIOGRAFIA .....	23



## 1. INTRODUZIONE

Il movimento volontario è il risultato di un alto grado di elaborazione delle informazioni provenienti dall'esterno e si attua integrando informazioni apprese, strategie motorie ben selezionate e circuiti riflessi. Questi processi possono raggiungere livelli molto alti di complessità offrendo una vasta serie di movimenti, infatti i movimenti umani sono caratterizzati da una grande flessibilità e versatilità che garantiscono una notevole adattabilità alle varie situazioni quotidiane, a differenza delle macchine le quali invece compiono movimenti molto precisi, diversamente dall'uomo, ma particolarmente statici.

Il movimento umano quindi, come possiamo ben notare dalle varie azioni che svolgiamo durante un intero giorno, si caratterizza per essere estremamente versatile permettendo di svolgere una vasta serie di azioni, molto diverse tra loro, con una notevole agilità. Tutte queste capacità vengono apprese con il passare del tempo e attraverso il continuo miglioramento e perfezionamento di quelli che vengono considerati schemi di base, quali camminare, correre e saltare, che rappresentano i movimenti fondamentali su cui si costruiscono tutti i futuri apprendimenti motori. Questo aspetto dell'essere umano, il movimento appunto, è sempre stato oggetto di grande interesse da parte di vari studiosi che si ponevano come scopo l'analisi degli elementi costitutivi e delle variabili che lo influenzano, modificandone le caratteristiche. In particolar modo l'avvento della cinematografia ha permesso di studiare il movimento in modo più dettagliato e più specifico permettendo così di rivelare aspetti precedentemente inconcepibili.

Tra gli studiosi più noti all'interno di quest'ultimo ambito vi è Eadweard Muybridge il quale grazie all'utilizzo della fotografia e dei filmati, si appresta a studiare il movimento nel dettaglio, in ogni sua singola parte, scatto dopo scatto, mostrando come molte delle credenze precedentemente sostenute da pittori e ritrattisti fossero incorrette, e offrendo una realtà oggettiva di quello che era considerato il vero movimento.

Un altro aspetto molto importante da sottolineare riguarda il movimento prensile: tutti i primati hanno mani prensili. Ciò significa che i primati possono afferrare un oggetto con le dita chiudendo saldamente la mano su un oggetto, in quella che è chiamata presa di forza. I primati hanno inoltre il pollice opponibile, cioè hanno la capacità di opporre il pollice alle altre dita della mano. Negli esseri umani questa caratteristica del pollice si è sviluppata notevolmente, consentendo in tal modo una presa di precisione che permette agli esseri umani l'esecuzione di

movimenti fini e precisi. Anche questo particolare tipo di movimento, il *reach to grasp* (raggiungimento – prensione), che consiste nel raggiungere e afferrare un oggetto di interesse, è stato ed è attualmente oggetto di studio da parte di molti ricercatori i quali si pongono l'obiettivo di analizzarne le componenti principali e di osservare in che modo viene intenzionalmente modificato a seconda delle richieste ambientali quali lo scopo finale del movimento stesso, la forma dell'oggetto e la distanza nello spazio.

### 1.1. Movimento di raggiungimento-prensione

Nella vita di tutti i giorni entriamo in interazione con diversi oggetti che ci circondano, li osserviamo e li afferriamo, consapevoli della facilità delle nostre azioni e convinti della loro semplicità, anche se in realtà tutto questo richiede dei meccanismi molto complessi e articolati studiati da diversi autori, i quali si sono interessati al modo in cui avviene tale movimento, alle dinamiche che lo caratterizzano, senza tralasciare i neuroni e i sistemi cerebrali coinvolti. Numerosi studi si sono spinti ben oltre l'analisi dei meccanismi cerebrali coinvolti, puntando l'attenzione sui diversi fattori che in particolar modo influenzano il movimento di raggiungimento e prensione (*reach – to – grasp*). Lo scopo è ovviamente quello di riuscire ad avere una visione il più accurata possibile degli elementi che entrano in gioco nel momento in cui si decide di intraprendere un qualsiasi tipo di movimento, in particolar modo se diretto verso la prensione di un oggetto o il suo spostamento.

Nello specifico due componenti contribuiscono all'azione: il raggiungimento (*reaching*), la componente di trasporto, ovvero il periodo in cui la mano, da una posizione iniziale, raggiunge l'oggetto target; e la prensione (*grasping*), il momento in cui la mano afferra l'oggetto (Gentilucci e al., 1992). Partendo da una posizione iniziale e volendo raggiungere un dato oggetto, le dita della mano iniziano a modificarsi durante il *reaching* in una sorta di pre-sagomazione in vista della forma del target che si andrà ad afferrare e questo viene caratterizzato da una progressiva apertura e raddrizzamento delle dita, seguite da una successiva chiusura attorno ciò che deve essere afferrato.

Umani e primati hanno una straordinaria capacità di interagire con gli oggetti, e dalle varie analisi si può osservare che la configurazione motoria che caratterizza il *grasping* deriva da una sequenza motoria che inizia ben prima del *grasping* stesso. Molti studi si sono quindi soffermati sull'analisi del *grasping* svolto dai primati manipolando diverse variabili tra cui la capacità stessa di

riuscire ad afferrare l'oggetto, al fine di comprendere tutti i meccanismi messi in atto durante questo particolare movimento. A tal proposito Jeannerod e colleghi (1995) hanno osservato, come una corretta esecuzione del *grasping* nei primati richieda l'integrità della corteccia motoria primaria (Broadman area 4 o F1) e che eventuali lesioni a tale area producono dei deficit nel controllo e nella flessibilità delle dita. È stato osservato però che in quest'area i neuroni che codificano per le informazioni visive sono scarsi portando di conseguenza alla necessità di trovare un sistema visuomotorio, appunto, che permetta, non solo di racchiudere i neuroni che codificano per il *grasping* e per il movimento delle dita, ma anche di garantire la trasformazione visuomotoria degli oggetti che si trovano nel mondo circostante. Un sistema quindi, e un'area, più complesso e maggiormente legato al sistema visivo che possa garantire la codifica degli oggetti e la generazione delle corrispettive configurazioni della mano.

Quest'area, definita Area F5 e situata nella corteccia premotoria (area 6 di Broadman), venne studiata in modo particolare da Rizzolatti e colleghi (1988). Scoprirono, attraverso una serie di esperimenti svolti sui primati, dove questi avevano il compito di afferrare del cibo e portarlo alla bocca, l'esistenza di due distinte popolazioni di neuroni: dei neuroni che scaricano nel momento in cui vengono presentati degli oggetti afferrabili e neuroni che invece scaricano quando si osservano altri soggetti svolgere determinati movimenti di *grasping*, detti neuroni specchio. Questo sistema quindi rappresenta una sorta di vocabolario che racchiude tutte le informazioni utili per riuscire a codificare gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno ed elaborarli congiuntamente con la tipologia di presa maggiormente utile. Tutti questi neuroni sono caratterizzati dal fatto che iniziano a scaricare prima dell'inizio dell'azione, successivamente scaricano nel momento dell'estensione delle dita per continuare con la loro flessione e infine cessano subito dopo il *grasping*. Vengono conseguentemente definiti neuroni distali in quanto scaricano nel momento in cui bisogna compiere delle azioni che richiedono una certa distanza dal proprio corpo e non scaricano invece per le azioni prossimali; inoltre la loro peculiarità consiste nel fatto di essere altamente specializzati in relazione al tipo di *grasping* che viene messo in atto: *Precision grip neurons*, *Finger prehension neurons* e *Whole hand prehension neurons*.

Tornando allo studio condotto da M. Jeannerod (1995), sono stati identificati altri neuroni responsabili del controllo visivo e dei movimenti della mano collocabili nella corteccia anteriore intraparietale (AIP). Questa zona, insieme all'area F5, forma un circuito AIP – F5 molto complesso e ben articolato in grado di realizzare e spiegare tutti i tipi di prensione.

Nello studio condotto da Rizzolatti sull'area F5 si osserva come questa si divisa in due diverse porzioni: la cosiddetta F5 *convexity*, i cui neuroni scaricano nel momento in cui si osserva qualcun altro svolgere determinate azioni (neuroni specchio) e la F5 bank maggiormente legata alla relazione tra la forma dell'oggetto e il tipo di presa da mettere in atto. L'obiettivo di questo studio consisteva nel riuscire a testare l'area F5, e in particolar modo riuscire a validare l'ipotesi secondo la quale la zona F5 *convexity* fosse diversa rispetto alla F5 bank: inibendo quindi la parte F5 bank addetta al *grasping*, agli stimoli visivi e a tutte le azioni della mano si sarebbero dovute riscontrare delle evidenti difficoltà nei movimenti degli arti superiori, invece nel momento in cui si sarebbe andati ad inibire la F5 *convexity* si sarebbero dovute osservare difficoltà con i neuroni specchio e l'osservazione altrui, ma minori deficit circa la presa degli stimoli circostanti.

I risultati sono ben chiari: nel momento in cui si andava ad inibire da zona F5 bank si osservavano delle difficoltà nella rotazione del polso dell'arto controlaterale rispetto al sito di inattivazione, minor forza della presa, deficit nel modellamento della mano (il *reaching* non era corretto rispetto alla forma dell'oggetto e richiedeva continue modifiche). In seguito a tre iniezioni per aumentare maggiormente l'inibizione di tale area si potevano osservare dei deficit sempre maggiori nei movimenti e nel *grasping* degli oggetti, sia per l'arto controlaterale sia per l'arto ipsilaterale rispetto alla zona di inibizione.

L'inattivazione della zona *convexity* dell'area F5 invece non portava a deficit clinici se non qualche difficoltà nel momento in cui il cibo, ovvero l'oggetto target da afferrare, veniva presentato vicino alla bocca e non in una posizione più distale.

In conclusione quindi si può osservare come questa particolare area cerebrale sia caratterizzata da diversi neuroni addetti al *reaching* e al *grasping* ma anche alla semplice osservazione delle azioni svolte da altri individui, ecco quindi che l'inattivazione di tale area conduca a precisi deficit nel movimento di entrambe le mani, non solo in relazione al tipo di oggetto ma anche alla sua collocazione nello spazio in quanto è presente appunto una percentuale di neuroni con proprietà visuomotorie.

Il neurologo Marc Jeannerod (1984) distinse inizialmente le proprietà degli oggetti in intrinseche ed estrinseche: le prime riguardano le caratteristiche fisiche del target come dimensione, peso e forma, invece le proprietà estrinseche consistono nella distanza, posizione e orientamento dell'oggetto interessato rispetto al soggetto. Tali caratteristiche vanno ad influenzare il movimento di raggiungimento – prensione agendo sulla postura della mano e delle



dita, in particolar modo quelle intrinseche, o sulla traiettoria spaziale che si intraprende per raggiungere l'oggetto.

La forma infatti di ciò che vogliamo afferrare influenza in modo definitivo il *reaching* e il *grasping*, a tal punto che variando il modo in cui viene percepito l'oggetto varia anche il modo di afferrarlo: se ad esempio un oggetto viene visto e percepito come bidimensionale, si metterà in atto un tipo di presa con un elevato livello di precisione, soprattutto tra il dito indice e il pollice. Se invece il target è percepito come tridimensionale allora si utilizzerà quasi sicuramente una presa che coinvolge l'intera mano, in cui tutte le dita e il palmo sono a contatto con la superficie e si avrà quindi un *grasping* meno preciso ma più completo (Castiello e al., 1996). Tutto questo viene confermato da studi più recenti in cui si osserva come la messa in atto di una precisa azione di *grasping* provochi l'aumento dei potenziali evocati neurologici, in relazione al dito indice, rispetto a quanto invece avvenga durante un'azione che comporta il *grasping* dell'intera mano. Si nota inoltre come l'apertura della mano sia nettamente inferiore per un *grasping* di precisione, quindi per un oggetto più piccolo, percepito come bidimensionale o semplicemente più fragile, rispetto ad un *grasping* che invece richiede l'utilizzo dell'intera mano come nel caso in cui vi sia un oggetto più grande o tridimensionale.

Per mettere in atto un piano motorio appropriato è quindi necessario analizzare tutte le informazioni sensoriali che derivano dall'oggetto e dall'ambiente circostante, ma anche dall'obiettivo finale della nostra azione, infatti i soggetti tendono ad anticipare, prima della presa dello stimolo, la posizione che assumeranno subito dopo averlo afferrato (Cohen e al., 2003).

Oltre ad anticipare la posizione delle dita e della mano che assumeranno, i soggetti tendono inevitabilmente anche a modificare la presa in base al compito a loro assegnato, ovvero in base al modo in cui dovranno spostare l'oggetto rispetto alla sua posizione iniziale. Inoltre, Sartori et al. (2011) hanno indagato il modo in cui la forma e il peso di un oggetto interagiscano con l'obiettivo finale nel determinare le modalità di prensione e il modo di posizionare le singole dita sul medesimo stimolo. Nell'esperimento l'oggetto target era una bottiglia che poteva essere cilindrica o sagomata. Inoltre le bottiglie potevano essere metà vuote o completamente piene, ciò determinava un diverso peso della bottiglia. Infine, benché il compito fosse lo stesso nella prima parte (ovvero "raggiungi e afferra la bottiglia"), si differenziava nello scopo. In un caso la bottiglia doveva essere semplicemente spostata, mentre nell'altro caso, dopo aver afferrato la bottiglia, i partecipanti dovevano versare una piccola parte del contenuto nel

bicchieri posto in prossimità. I risultati mostrano come sia la funzionale interazione tra caratteristiche fisiche dell'oggetto e obiettivo finale a determinare le variazioni significative nel movimento della mano fino ad arrivare a modificare la posizione delle dita sullo stimolo stesso; è stato infatti riscontrato che la posizione delle dita cambiava nettamente in base all'obiettivo dell'azione: l'indice veniva posto in una posizione nettamente più alta della superficie dello stimolo quando il compito richiedeva di versare l'acqua, segnale di un maggiore controllo nell'esecuzione dell'azione, e allo stesso modo in questo preciso caso il movimento di raggiungimento era più lungo rispetto a quando veniva semplicemente chiesto di spostare la bottiglia in un'altra posizione. Tutto ciò è veramente importante in quanto rivela come il contatto con lo stimolo sia il risultato della relazione tra diverse variabili, tra cui appunto la forma dell'oggetto, come grandezza e peso, e l'azione da compiere.

## 1.2. Il Tai Chi

Il Tai Chi (TC) è un esercizio di movimento mente-corpo caratterizzato da movimenti circolari, lenti e fluidi che ha avuto origine in Cina più di 1200 anni fa (Li et al., 2001). Nel TC il corpo è naturalmente esteso e rilassato, la mente è calma ma vigile e i movimenti del corpo sono ben coordinati. La pratica include posizioni corporee equilibrate che promuovono la concentrazione mentale per migliorare l'efficienza e la flessibilità motoria. Spostare il corpo esterno senza coinvolgere la mente non è TC (Ying e Chiat, 2013). Un concetto centrale del TC è infatti focalizzare l'attenzione su uno scenario specifico o un'immagine in una visualizzazione realistica (cioè con sensazioni e percezioni reali) per un lungo periodo di tempo. In effetti dirigere l'attenzione su un'immagine specifica, anziché sul movimento stesso, facilita le prestazioni motorie (Schmalzl et al., 2015; Abdollahipour et al., 2015). L'allenamento previsto dal TC è ricco di immagini come "muoversi come un fiume" che guidano i praticanti verso specifici stati cinestetici, e non a caso recentemente alcuni maestri cinesi (ad esempio Wang Zhuanghong, 1931-2008) hanno ripristinato una pratica TC classica che enfatizza l'immaginazione mentale (*Mental Imagery*, MI) piuttosto che la ripetizione motoria. Il TC quindi non si configura come una semplice tecnica di rilassamento bensì una pratica che permette di migliorare la flessibilità motoria in relazione alla capacità di immaginazione mentale. Per quanto ne sappiamo nessuno studio ha esaminato la relazione tra TC e MI durante un movimento come quello di raggiungimento-prensione, e questo semplice gesto quotidiano potrebbe rivelarsi un efficace

compito sperimentale per confrontare persone che eseguono questa pratica con dei partecipanti non addestrati, fornendo inoltre informazioni su quali aspetti del controllo motorio sono effettivamente influenzati dal TC.

### 1.3. Mental Imagery, MI

La *Mental Imagery* (MI) viene descritta come la capacità di rappresentarsi mentalmente diversi tipi di immagini in assenza di input sensoriali provenienti dal mondo esterno (Palmiero et al., 2019). Le immagini mentali si basano su processi attivi di coscienza riflessiva, in contrapposizione al carattere più immediato della percezione. In questo senso, le immagini mentali sono una caratteristica centrale del nostro essere umano (Bartolomeo, 2015). Le immagini mentali sono comunemente definite come un prodotto di processi cognitivi che consistono nel recuperare, costruire e manipolare la rappresentazione mentale di oggetti e/o eventi, in modo che mantengano molte caratteristiche delle percezioni corrispondenti.

La MI è quindi una forma di esperienza visiva innescata internamente, dalla memoria, ma condivide con la percezione schemi simili di attivazione nella corteccia visiva, parietale e frontale (Dijkstra et al., 2019). Questa somiglianza è modulata dalla vividezza del meccanismo delle immagini visive; in effetti, le differenze individuali nella creazione di immagini mentali vivide sono positivamente correlate al grado di sovrapposizione neurale (Albers et al., 2013).

### 1.4. Ipotesi sperimentale

L'obiettivo di questa ricerca è di osservare le dirette conseguenze di una pratica costante del Tai Chi con MI su un modello sperimentale: il movimento di raggiungimento e prensione. L'immagine mentale può influenzare un movimento che ripetiamo più e più volte nella quotidianità? Il presente studio si pone quindi l'obiettivo di osservare la relazione tra l'immaginazione mentale e le prestazioni motorie, in particolare tra coloro che praticano il Tai Chi, essendo questa una pratica che promuove ampiamente l'adozione dell'allenamento mentale. Si osserva in che modo le prestazioni motorie quotidiane, ormai rese automatiche, possano essere influenzate e rese maggiormente efficienti e flessibili a seguito di un allenamento di questo tipo. Inoltre, poiché si ritiene che il TC determini una migliore vigilanza mentale, è stato testato il livello di attenzione sostenuta dai partecipanti mediante il Continuous Performance Test (CPT). È stato

ipotizzato che concentrarsi sull'immagine mentale durante l'attività avrebbe aiutato ad ottimizzare il controllo dei movimenti, in particolare per il gruppo già addestrato a questo tipo di allenamento. Una maggiore efficienza motoria dovrebbe essere rivelata da una buona accuratezza nella prensione dell'oggetto pur con minore velocità e decelerazione del polso durante la fase di raggiungimento, e da una chiusura sicura delle dita attorno all'oggetto.

Nonostante il crescente interesse per le basi meccaniche del TC, la maggior parte della letteratura si basa in gran parte su osservazioni qualitative o scarsamente controllate. In particolare, la bassa qualità dei progetti di ricerca, i limiti della metodologia (ad esempio, gruppi di controllo inadeguati, analisi statistiche carenti, nessuna sperimentazione randomizzata) e la loro grande eterogeneità (ad esempio, un'enorme variabilità in serie di posture solitamente chiamate "forme") rende molto difficili i confronti tra gli studi. In questo studio abbiamo adottato un valido paradigma in combinazione con metodi e statistiche oggettivi e due gruppi controllati di partecipanti che coprono una gamma completa di livelli di competenza. Abbiamo inoltre adottato un semplice compito motorio che viene eseguito centinaia di volte ogni giorno al fine di considerare sia soggetti allenati sia partecipanti non addestrati, riducendo al minimo la variabile confondente di competenza. La competenza è generalmente definita come il più alto livello di prestazione su un compito specifico o all'interno di un dominio specifico (Bourne et al., 2014). In questo studio si ritiene quindi che una maggiore *expertise*, ovvero competenza, possa così predire una maggiore flessibilità motoria.

L'esperimento è stato approvato dal Comitato Etico dell'Università degli Studi Di Padova (N° 2687) in accordo con la Dichiarazione di Helsinki (sesta revisione, 2008).

Tutti i partecipanti inoltre erano tenuti a leggere e firmare il consenso informato prima dell'avvio dell'esperimento, in cui veniva garantito l'anonimato e la libertà di lasciare liberamente il laboratorio in qualsiasi momento. Venivano inoltre descritte le principali caratteristiche dell'esperimento, senza ovviamente inserire informazioni che avrebbero potuto influenzare i partecipanti.

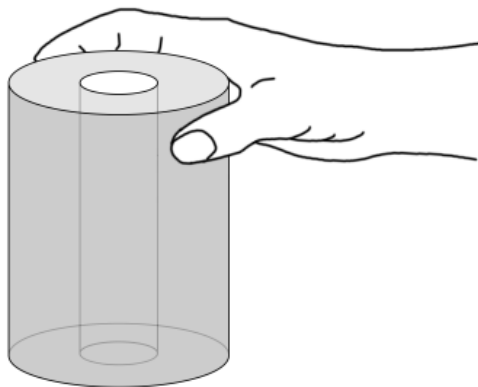
## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. Partecipanti

30 partecipanti hanno preso parte all'esperimento, divisi in due gruppi composti rispettivamente da 15 soggetti. Un Maestro di Tai Chi (anni 60, anni di esperienza: 40), 4 istruttori di Tai Chi (dai 40 ai 54 anni, anni di esperienza media: 10, 3 maschi e 1 femmina), 10 praticanti (dai 28 ai 71 anni, anni di esperienza media: 6, 6 maschi e 4 femmine), e 15 soggetti del Gruppo di Controllo di età compresa tra i 21 e i 25 anni, 5 maschi e 10 femmine, senza esperienza in TC, sono stati reclutati nel Laboratorio di Neuroscienze del Movimento. Tutti i partecipanti erano destrimani, avevano una vista che oscillava da buona a corretta e non erano a conoscenza dell'obiettivo dello studio.

### 2.2. Stimolo

Lo stimolo sperimentali utilizzato in questo studio era un cilindro di altezza 11 cm e diametro 7.5 cm (*Fig. 1*), localizzato a 35 cm dalla posizione iniziale della mano in tutte le condizioni.

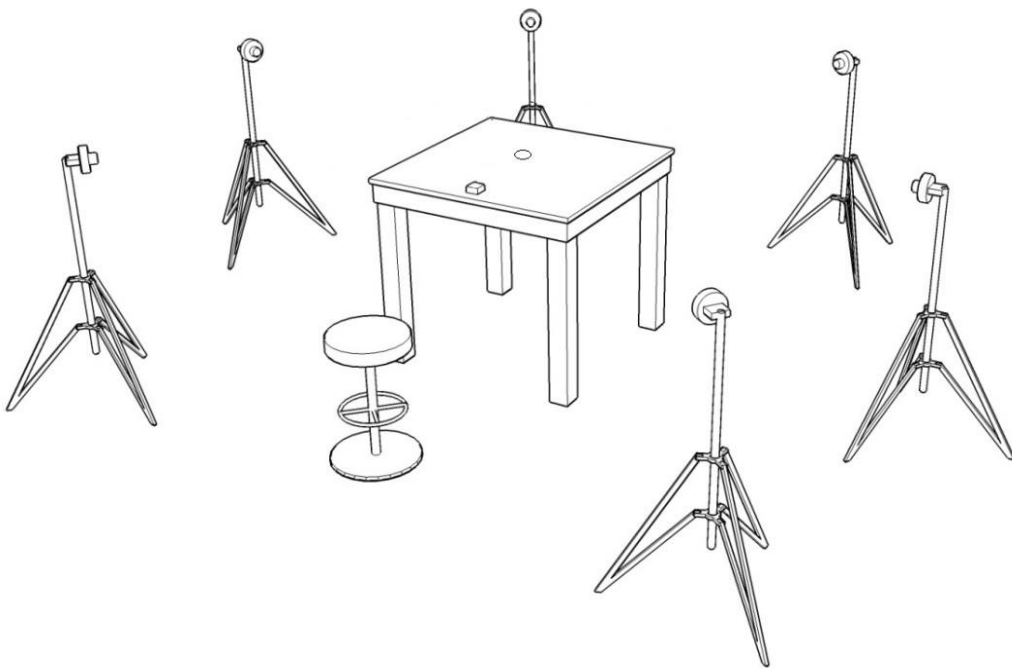


**Figura 1.** *Oggetto sperimentale cilindrico utilizzato durante l'esperimento.*

### 2.3. Apparato Sperimentale

Sei telecamere ad infrarossi (frequenza di campionamento 120 Hz) posizionate a semicerchio ad una distanza di 1-1.2 m dal centro della stanza (*Fig. 2*) hanno rilevato i marker riflettenti (6 mm di diametro). Il movimento è stato acquisito da un sistema SMART-D di analisi del movimento

(Bioengineering Technology & System [B|T|S]). Le telecamere registravano il movimento dei marker nello spazio tridimensionale e le loro coordinate venivano ricostruite con un'accuratezza di 0.2 mm. L'errore della deviazione standard nella ricostruzione era di 0.2 mm per l'asse verticale (Y) e di 0.3 mm per gli assi orizzontali (X e Z). Queste telecamere sono dotate di dispositivi per la rivelazione del segnale luminoso proveniente dai marker posizionati su tutte le dita e sul polso dei partecipanti, e uno sullo stimolo da afferrare.



**Figura 2.** *Setting sperimentale: tavolo di lavoro con attorno le 6 telecamere ad infrarossi rilevanti i marker riflettenti.*

Un sistema optoelettronico chiamato SMART-D è stato utilizzato per la rilevazione cinematica del movimento della mano dei partecipanti. Cinque marker sono stati posizionati sulle corrispettive dita dei partecipanti in corrispondenza del punto centrale dell'unghia, per misurare la componente di prensione, e uno invece è stato posizionato sul polso. Un ulteriore marker è stato applicato sul cilindro per definire il momento in cui veniva sollevato. Le telecamere erano state precedentemente calibrate attraverso lo SMART-D Capture (Bioengineering Technology and System). Con questo programma si eseguono la calibrazione e l'acquisizione dei dati cinematici: sono state infatti effettuate le calibrazioni statica e dinamica. Per la calibrazione statica uno strumento specifico (i.e. terna) che rappresenta i tre assi del Sistema Cartesiano è stato

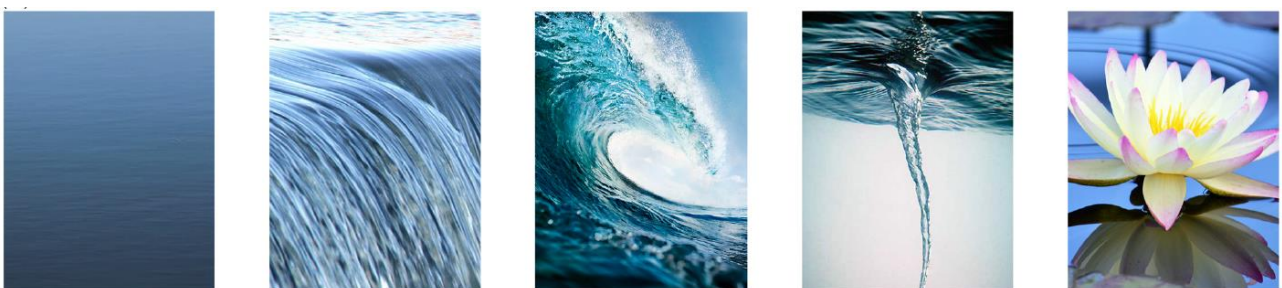
posizionato al centro dello spazio di lavoro. Per la calibrazione dinamica una bacchetta è stata mossa lungo i tre assi cartesiani all'interno dello spazio sperimentale di lavoro.

## 2.4. Procedura

Prima di iniziare l'esperimento i soggetti dovevano svolgere il Continuous Performance Test (CPT) che valutava il livello di attenzione sostenuta visiva. Veniva presentata una serie temporale di lettere (dalla A alla Z), in modo casuale, e veniva chiesto ai partecipanti di premere la barra spaziatrice in risposta a ciascuna lettera eccetto per uno stimolo critico rappresentato dalla lettera "X". L'intervallo tra gli stimoli era di 800 ms e la durata dello stimolo era di 200 ms. Il tempo di risposta disponibile era di 700 ms. Il test CPT iniziava con 2 minuti di pratica e durava 10 minuti. Veniva inoltre chiesto ai partecipanti di svolgere il compito nel modo più corretto e attento possibile.

I partecipanti si accomodavano su una sedia regolabile in altezza di fronte ad una superficie di lavoro con polso e gomito sopra al tavolo (90 x 90 cm). Tutti i partecipanti venivano testati singolarmente. Inoltre, prima di ogni prova, la mano destra di ciascun partecipante era appoggiata su un cuscinetto posto sul punto di partenza con il pollice e l'indice delicatamente in opposizione. Il compito consisteva nel raggiungere, afferrare e sollevare il cilindro, concentrandosi su una precisa immagine mentale.

Ai partecipanti veniva chiesto di iniziare l'azione dopo che era stato inviato un segnale di "via" e venivano testati in cinque condizioni sperimentali randomizzate (*Fig. 3*), ciascuna corrispondente a una diversa immagine mentale: acqua ferma (condizione A), acqua che scorre (condizione B), onda (condizione C), vortice d'acqua (condizione D) e fiore che si apre sull'acqua (condizione E).

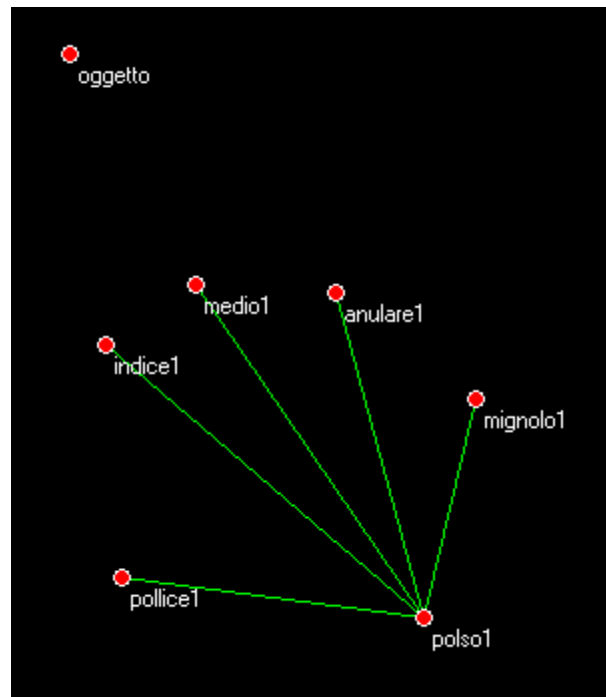


**Figura 3.** Cinque condizioni sperimentali delle immagini mentali. Da sinistra a destra: acqua ferma, acqua che scorre, onda, vortice d'acqua, fiore che si apre sull'acqua.

Ogni partecipante eseguiva dieci prove per ciascuna condizione, per un totale di 50 prove ciascuno.

## 2.5. Analisi cinematica

Grazie al software SMART-D Tracker è stata effettuata la ricostruzione 3-D dei dati di ogni singolo marker (*Fig. 4*), in funzione dello spazio e del tempo.



**Figura 4.** Modello sperimentale della mano destra. I punti rossi evidenziano i marker posizionati sulle dita dei partecipanti e sullo stimolo sperimentale.

Per prima cosa è stato calcolato il tempo di movimento come l'intervallo temporale tra l'inizio del movimento (ovvero il primo punto temporale in cui la velocità del polso ha attraversato una soglia di 5 mm/sec ed è rimasta sopra di essa per più di 500 ms) e il momento in cui le dita sono entrate in contatto con lo stimolo (ovvero il momento in cui la velocità di chiusura dell'impugnatura è scesa al di sotto della soglia di 5 mm). Successivamente è stato utilizzato lo SMART-D Analyzer per l'analisi cinematica dei dati, e in particolar modo delle seguenti variabili:

- Massima apertura della mano: *Maximum Grip Aperture*, MGA, massima distanza raggiunta dalle coordinate 3-D di polso e indice (m).



- Massima velocità del polso: *Maximum Wrist Velocity*, MWV, risultante 3-D del picco di velocità del polso (m/s).
- Massima decelerazione del polso: *Maximum Wrist Deceleration*, MWDec, massima decelerazione delle coordinate 3-D del polso (m/s).
- Massima velocità di chiusura della presa: *Maximum Grip Closing Velocity*, MGCV, velocità massima delle coordinate 3-D del pollice e dell'indice durante la chiusura della mano (m/s).
- Tempo di massima velocità di chiusura della presa: *Time to Maximum Grip Closing Velocity*, TMGCV, momento in cui la velocità delle coordinate 3-D del pollice e dell'indice durante la chiusura della mano è massima (%).

La flessibilità motoria è stata utilizzata come variabile indipendente in un'analisi di regressione assieme agli anni di pratica del Tai Chi. Successivamente è stata analizzata la differenza tra i due gruppi nel completamento del CPT; secondo la Signal Detection Theory, la sensibilità è una misura della capacità del soggetto di discriminare un segnale (in questo caso, la lettera "X") dal rumore di fondo (qui, tutte le altre lettere). Un valore più elevato indica una migliore elaborazione. Nel presente esperimento, una migliore capacità di discriminare a lungo la lettera cruciale rifletterebbe una buona attenzione sostenuta. I dati comportamentali sono stati analizzati usando il software statistico jamovi 0.9.6.9 (The jamovi project, 2019). L'analisi dei dati è stata divisa in due parti: nella prima parte si è focalizzata sul gruppo che pratica Tai Chi e in particolare su tutte le variabili che intervengono nel momento in cui si compie l'azione di raggiungere e afferrare l'oggetto. Nella seconda parte è stato analizzato il ruolo della pratica sportiva del Tai Chi nella predizione di una maggiore flessibilità dei movimenti; in quest'ultimo caso sono stati adottati dei modelli di regressione lineare che avevano come predittore il numero di anni sotto la supervisione del Maestro Wang, poiché il suo insegnamento enfatizza molto l'immaginazione mentale. Sono stati successivamente svolti i confronti *post-hoc* (t-Test) ed è stata applicata la correzione di Holm (alfa minore di 0.05). Per quanto riguarda il CPT sono state usate la proporzione di hits (ovvero, percentuale di rilevazioni corrette) e falsi allarmi (ovvero, percentuale di stimoli segnalati quando non presenti). Queste sono state corrette aggiungendo 0.5 sia al numero di hit che al numero di falsi allarmi.

## 2.6. Risultati e Discussione

Di seguito sono elencati i parametri cinematici qui analizzati.

Massima apertura della mano. L'apertura della mano era ben calibrata alla dimensione dell'oggetto da afferrare in entrambi i gruppi, senza alcuna differenza statisticamente significativa ( $p_s > 0.05$ ).

Massima velocità del polso. È stato riscontrato un effetto significativo ( $F_{1,27} = 15.54$ ;  $p < 0.001$ ), con il gruppo TC che presentava valori più bassi ( $M = 0.47$  m / s;  $SE = 0.02$ ) rispetto al gruppo Non-TC ( $M = 0.65$  m / s;  $SE = 0.03$ ). È interessante notare inoltre una differenza significativa tra i valori osservati per la Sessione E e tutte le rimanenti ( $t_{108} = -2.88$ ;  $p = 0.005$ ). Più precisamente, i valori osservati per la Sessione E erano significativamente più bassi. Il confronto post-hoc ha mostrato una differenza significativa tra i due gruppi nella Sessione A ( $t_{40,80} = 4.03$ ;  $p = 0.011$ ), B ( $t_{40,80} = 3.64$ ;  $p = 0.034$ ) e D ( $t_{40,80} = 3.74$ ;  $p = 0.026$ ). Una velocità inferiore del polso da parte del gruppo TC indica un movimento più flessibile e controllato rispetto ad un movimento più veloce e brusco tipico del gruppo di controllo. La sessione E inoltre, il fiore che si apre sull'acqua, rappresenta la condizione in cui velocità del polso è nettamente inferiore rispetto a tutte le altre indicando come tale immagine mentale in particolare possa indurre a compiere un movimento più fluido e organizzato.

Massima decelerazione del polso. Lo studio ha indicato una decelerazione significativamente inferiore nel gruppo TC ( $M = 1.29$  m / s<sup>2</sup>;  $SE = 0.14$ ) rispetto al gruppo di controllo ( $M = 2.09$  m / s<sup>2</sup>;  $SE = 0.15$ ). Anche nella decelerazione massima del polso, come nella velocità massima, si osserva una differenza significativa tra i valori osservati per la sessione E e tutte le rimanenti ( $t_{108} = 2.88$ ;  $p = 0.005$ ), con il valore in E più piccolo degli altri. Il gruppo TC presenta una decelerazione del polso inferiore rispetto al gruppo di controllo in quanto presenta una migliore capacità di adagiare il polso sull'oggetto evitando lo sforzo muscolare di un arresto brusco. Il gruppo di controllo tendeva invece a ridurre improvvisamente la velocità del polso per poter afferrare correttamente l'oggetto.

Massima velocità di chiusura della presa. È stato osservato un effetto significativo nella variabile Velocità massima di chiusura della presa ( $F_{1,27} = 23.33$ ;  $p < 0.001$ ), con il gruppo TC che ha presentato valori più bassi ( $M = 0.11$  m / s;  $SE = 0.012$ ) rispetto al gruppo di controllo ( $M = 0.19$  m/s;  $SE = 0.01$ ). Il confronto post-hoc con la correzione di Bonferroni ha evidenziato che il gruppo TC ha presentato valori significativamente più bassi rispetto al gruppo di controllo nelle sessioni A

( $t_{44.50} = -4.46$ ;  $p = 0.002$ ), B ( $t_{44.50} = -3.84$ ;  $p = 0.017$ ), C ( $t_{44.50} = -3.68$ ;  $p = 0.028$ ), D ( $t_{44.50} = -4.78$ ;  $p < 0.001$ ) ed E ( $t_{34.85} = -4.43$ ;  $p = 0.003$ ). Il gruppo TC mostra un minor tempo impiegato per chiudere correttamente le dita attorno allo stimolo, indice di un maggiore controllo, di una chiusura più delicata attorno all'oggetto e di un minor sforzo motorio, a differenza del gruppo di controllo indotto invece ad aggiustare successivamente la presa, a seguito di un movimento più veloce e meno controllato.

Tempo di massima velocità di chiusura della presa. È stato osservato un effetto significativo ( $F_{1,27} = 6.38$ ;  $p = 0.018$ ), con il gruppo TC che ha presentato un picco più ritardato ( $M = 87$  %;  $SE = 0.02$ ) rispetto al gruppo di controllo ( $M = 0.84$  %;  $SE = 0.01$ ). Il confronto post-hoc con la correzione di Bonferroni ha evidenziato che il gruppo TC ha presentato valori significativamente più ritardati rispetto al gruppo di controllo nelle sessioni A ( $t_{44.50} = -3.79$ ;  $p = 0.026$ ), B ( $t_{44.50} = -4.56$ ;  $p = 0.004$ ), C ( $t_{44.50} = -3.78$ ;  $p = 0.035$ ), ed E ( $t_{34.85} = -4.03$ ;  $p = 0.010$ ). Questi risultati indicano che la fase di finalizzazione del movimento nel gruppo TC era caratterizzata da un approccio più attento sull'oggetto, appena prima del contatto.

La seconda parte dell'analisi ha preso in esame il ruolo della pratica del TC nel predire la flessibilità motoria. A tale scopo è stato calcolato il Range, definito come il Delta per ogni dato comportamentale di ogni partecipante, tra il valore più alto e il più basso indipendentemente dalla sessione. In seguito sono stati applicati dei modelli di regressione lineare aventi come predittore il numero di anni di pratica (ossia *l'expertise*) e come variabile dipendente il Range. *L'expertise* prediceva correttamente due parametri cinematici: il Tempo di Massima Velocità di Chiusura ( $F_{1,13} = 69.32$ ;  $p < 0.001$ ;  $R^2 = 0.84$ ) e la Massima Velocità del polso ( $F_{1,13} = 15.43$ ;  $p = 0.002$ ;  $R^2 = 0.54$ ).

Un risultato finale si riferisce alla differenza statisticamente significativa tra il gruppo TC e il gruppo di controllo sul CPT come indicizzato dal  $d'$  ( $t_{24} = 26.247$ ;  $p = 0.021$ , Cohen's  $d = 0.95$ ). I partecipanti del gruppo TC hanno presentato valori più alti ( $M = 0.98$ ;  $SE = 0.23$ ) rispetto ai partecipanti del gruppo di controllo ( $M = 0.01$ ;  $SE = 0.31$ ), indicando così una migliore attenzione sostenuta. In particolare, il punteggio Hit medio (ovvero il numero di ipotesi corrette) è stato di 24 vs 19 per il TC rispetto al gruppo di controllo. E il punteggio medio di *False Alarms* era 12 contro 17 per il gruppo TC rispetto al gruppo di controllo, rispettivamente. Il gruppo TC mostra quindi un livello più alto di attenzione sostenuta a differenza del gruppo di controllo, indicando come questo

tipo di allenamento, congiunto all'immaginazione mentale, possa indurre a sviluppare una migliore concentrazione a lungo termine.

Lo scopo principale di questo esperimento era indagare se un'azione quotidiana come quella di raggiungere e afferrare un oggetto potesse essere influenzata dall'addestramento TC basato sulla MI. Diversi studi presenti in letteratura sono stati condotti con lo scopo di osservare gli effetti positivi del Tai Chi e si è potuto osservare che un allenamento di questo tipo migliora significativamente l'equilibrio delle persone (Gatts e Woollacott, 2007). Più nello specifico, si è visto come la combinazione di esercizio TC e MI migliora il sistema somatosensoriale e contribuisce a ripristinare alcune funzioni perse a causa dell'invecchiamento (Alsubiheen e al., 2015).

Nel presente studio, in linea con la nostra previsione, i risultati hanno rivelato che il TC può influenzare le azioni quotidiane, quale quella di raggiungimento – prensione, aumentandone l'efficienza e la flessibilità. Per quanto riguarda l'efficienza motoria, il gruppo TC ha mostrato una buona accuratezza (pari a quella raggiunta dal gruppo non-TC) ma ad un minor costo in termini di sforzo muscolare. In particolare, si è osservata una minor velocità e decelerazione del polso mentre la mano si avvicinava all'oggetto, ad indicare la capacità di adagiare con cura il braccio e la mano senza lo sforzo muscolare di un arresto improvviso. La componente di presa, inoltre, era caratterizzata da una chiusura più delicata e successiva della mano mentre si avvicinava all'oggetto; ciò indica che non era necessario tempo aggiuntivo (ad es. un margine di sicurezza) per calibrare correttamente il posizionamento della punta delle dita sull'oggetto. In particolare, si osserva la capacità di avvicinarsi gradualmente agli oggetti e finalizzare fermamente il movimento di presa e questo, a sua volta, consente prestazioni più efficienti.

Successivamente, per quanto riguarda la flessibilità motoria, all'aumentare degli anni di pratica cresce la flessibilità dei pattern motori eseguiti e, nonostante il movimento sia stereotipato, la flessibilità è presente sia a livello di *grasping* che di *reaching*. Secondo il Principio di Reversibilità eseguire un movimento flessibile è più adattivo in quanto consente di rispondere a cambiamenti inattesi che si verificano mentre noi agiamo (Haggard, 1994), e di prendere in considerazione altri potenziali obiettivi.

Tutti questi risultati confermano ed estendono la letteratura precedente (ad esempio Hong e Li,

2007), dimostrando che l'impatto del TC sull'efficienza e la flessibilità del motore è direttamente correlato alle sue caratteristiche cinematiche.

La logica per l'adozione dell'“acqua” come principio guida nella forma di TC da noi studiata è quindi evidente e chiara: l'acqua non ha forma poiché può facilmente assumere la forma del contenitore, diventando resistente e assumendo forme potenzialmente infinite, aumentando così la consapevolezza di un migliore controllo motorio da parte dei soggetti. La combinazione di TC e MI potrebbe quindi essere utile per ottimizzare la riqualificazione della funzione motoria nelle persone con disabilità fisiche.

Questo studio ha anche tentato di chiarire se l'MI e le prestazioni motorie potessero in qualche modo trovare beneficio da un costante allenamento col TC. Si è scoperto che l'*expertise* predice la flessibilità motoria: più anni di pratica sono predittivi di una più ampia gamma di schemi motori sia sulla componente di raggiungimento (velocità del polso) sia su quella di prensione (chiusura della mano). Infine, dai risultati si nota come il gruppo TC ottiene punteggi più alti nel Continuous Performance Test (CPT), che misura l'attenzione sostenuta, rispetto al gruppo di controllo. Questo indica che i soggetti con anni di esperienza in TC riescono a migliorare i livelli di attenzione, e che la formazione dell'MI aiuta a focalizzare l'attenzione a lungo termine.

### 3. CONCLUSIONI

Lo scopo di questo studio era di studiare l'effetto di una pratica TC combinata con l'MI sulle prestazioni motorie. Ciò è unico in quanto nessuno ha studiato questa combinazione con dati cinematici quantitativi. I risultati attuali suggeriscono che concentrarsi sulle immagini mentali durante l'esecuzione del TC è efficace nell'aumentare l'efficienza motoria delle azioni quotidiane. È interessante notare che l'adozione di un'immagine naturale con una connotazione emotiva positiva durante l'MI produce un rallentamento durante la fase di raggiungimento sia nella popolazione allenata che non allenata.

Uno dei vantaggi del TC è che consiste in una pratica semplice e utile che può promuovere il controllo motorio senza attrezzature speciali. Tuttavia, il questo studio sembra suggerire che per ottenere benefici ottimali è necessario seguire un maestro di TC qualificato e riuscire a praticare regolarmente MI. Il nostro paradigma, caratterizzato dall'adozione di immagini nuove e non precedentemente apprese, potrebbe essere utile per studiare la relazione tra i processi mentali e l'azione motoria nella popolazione sia allenata che non. La cinematica del movimento non solo può fornire una misura accurata dell'effetto della MI sulle azioni, ma potrebbe anche offrire un nuovo strumento per la diagnosi di potenziali deficit. Ricerche future dovrebbero cercare di indagare sull'efficacia della MI e del TC in situazioni in cui la funzione motoria di un individuo è stata compromessa, ad esempio in seguito ad ictus o in pazienti con malattia di Parkinson. Molte domande restano ancora da affrontare per una ricerca futura, poiché la pratica del TC ha iniziato solo recentemente ad attirare una maggiore attenzione nei paesi occidentali. La conoscenza delle caratteristiche biomeccaniche del TC potrebbe supportare meglio le decisioni cliniche e spiegare i meccanismi di successo della medicina olistica.



#### 4. BIBLIOGRAFIA

- Abdollahipour, E., Wulf, G., Psotta, R., e Nieto, M.P. (2015). Performance of gymnastics skill benefits from an external focus of attention. *Journal Sports Science*, 33, 1807 – 1813.
- Albers, A.M., Kok, P., Toni, I., Dijkerman, J.C., e de Lange, F.P. (2013). Shared representations for working memory and mental imagery in early visual cortex. *Current Biology*, 23, 1427 – 1431.
- Alsubiheen, A., Petrofsky J., Daher, N., Lohman, E., e Balbas, E. (2015). Effect of Tai Chi exercise combined with mental imagery theory in improving balance in a diabetic and elderly population. *Medical Science Monitor*, 21, 3054 – 3061.
- Bartolomeo, P. (2015). Visual Imagery. *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*, 2, 163 – 168.
- Betti, S., Zani, G., Guerra, S., Castiello, U., e Sartori, L. (2018). Reach to grasp movements: a multimodal techniques study. *Frontiers in Psychology*.
- Castiello, U., Bonfiglioli, C., e Bennett, K.M.B. (1996). How perceived object dimension influences prehension. *Neuro Report*, 7, 825 – 829.
- Chieffi, S., e Gentilucci, M. (1993). Coordination between the transport and the grasp components during prehension movements. *Experimental Brain Research*, 94, 471 – 477.
- Cohen, R.G., e Rosenbaum, D.A. (2004). Where grasps are made reveals how grasps are planned: generation and recall of motor plans. *Experimental Brain Research*, 157, 486 – 495.
- Dijkstra, N., Bosch, S.E., e van Gerven, M.A.J. (2019). Shared neural mechanisms of visual perception and imagery. *Trends in Cognitive Science*, 23, 423 – 434.
- Gatts, S.K., e Woollacott M.H. (2007). How Tai Chi improves balance: biomechanics of recovery to a walking slip in impaired seniors. *Gait Posture*, 25, 205 – 214.
- Gentilucci, M., Chieffi, S., Scarpa, M., e Castiello, U. (1992). Temporal coupling between transport and grasp components during prehension movements: effects of visual perturbation. *Behavioural Brain Research*, 47, 71 – 82.



- Haggard, P. (1994). "Chapter Perturbation Studies of Coordinated Prehension," in *Advances in Psychology Advances in Psychology*, eds. K. M. B. Bennett and U. Castiello (North-Holland), 151–170.
- Hong, Y., e Li, J.X. (2007). Biomechanics of Tai Chi: a review. *Sports biomechanics*, 6, 453–464.
- Jeannerod, M. (1984). The timing of natural prehension movements. *Journal of Motor Behaviour*, 16, 235 – 254.
- Jeannerod, M., Arbib, M.A., Rizzolatti, G., e Sakata, H. (1995). Grasping objects: the cortical mechanisms of visuomotor transformation. *Trends Neuroscience*, 18, 314 – 320.
- Kwon, H.G, Kim, J.S., e Lee, M.Y. (2020). Brain activation induced by different strenghts of hand grasp: a functional magnetic resonance imaging study. *Neural Regeneration Research*, 15, 875 – 879.
- Lanska, D.J. (2013). The Dercum – Muybridge collaboration for sequential photography of neurologic disorders. *American Academy of Neurology*, 81, 1550 – 1554.
- Li, J.X., Hong, Y., e Chan, K.M. (2001). Tai chi: physiological characteristics and beneficial effects on health. *British Journal of Sports Medicine*, 35, 148.
- Marteniuk, R.G., MacKenzie, C.L., Jeannerod, M., Athenes, S., e Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41, 365 – 378.
- Palmiero, M., Piccardi, L., Giancola, M., Nori, R., D’Amico, S., e Olivetti Belardinelli, M. (2019). The format of mental imagery: from a critical review to an integrated embodied representation approach. *Cognitive Processing*, 20, 277 – 289.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., e Matelli, M. (1988). Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey. *Experimental Brain Research*, 71, 491 – 507.
- Sartori, L., Straulino, E., e Castiello, U. (2011). How objects are grasped: the interplay between affrondaces and end-goals. *PlosOne*, 6.
- Schmalzl, L., Powers, C., e Henje Blom, E. (2015). Neurophysiological and neurocognitive mechanisms underlying the effects of yoga-based practices: towards a comprehensive theoretical framework. 36 *Frontiers of Human Neuroscience*, 9, 235.

- Tian, X., e Poeppel, D. (2012). Mental imagery of speech: linking motor and perceptual systems through internal simulation and estimation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 314.
- Ying, L.F., e Chiat, L.F. (2013). Tai chi Qi flow in the kinematic process of piano playing: An application of Chinese science. *World Applied Sciences Journal*, 21, 98 – 104.