



Imparare a scrivere: studio quantitativo in bambini in età scolare

Maurizio Bejor¹, Rossella Togni¹, Elisabetta De Bernardi¹, Ilaria Maria Carlotta Baschenis², Sara Battezzato², Matteo Chiappedi²

¹SC di Riabilitazione Specialistica, Università degli Studi di Pavia, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Pavia, Italia, e ²UOC di Riabilitazione, Fondazione Don Carlo Gnocchi ONLUS, Salice Terme (PV), Italia

Imparare a scrivere: studio quantitativo in bambini in età scolare

L'acquisizione di abilità pre-scrittore, intese come la capacità di imitare lettere, immagini e semplici forme geometriche, rappresenta un'importante tappa nello sviluppo neuromotorio del bambino. L'obiettivo del nostro studio è la validazione di un metodo quantitativo per analizzare il gesto pre-scrittore, che può essere utilizzato sia a livello diagnostico per individuare traiettorie anomale dell'arto superiore, sia a livello riabilitativo per intraprendere interventi più mirati. A questo scopo abbiamo reclutato un campione di 226 bambini non patologici (età media 9.1 anni [range: 6.3-11.4 anni]), a cui abbiamo chiesto di percorrere con un *mouse* senza fili un labirinto proiettato di fronte. Mediante l'utilizzo del *software* di video analisi Dartfish per la rielaborazione delle immagini e di Excel, MedCalc e Statistica 7 per l'analisi statistica, abbiamo calcolato dei valori di normalità inerenti ad escursioni angolari, traiettorie dell'arto, tempi di esecuzione e precisione del gesto. Tali variabili si sono dimostrate non correlate a fattori quali età, sesso, cultura di appartenenza e abilità cognitiva. Pertanto riteniamo che i valori da noi ottenuti siano utilizzabili come riferimento. La metodica ci ha permesso inoltre di studiare le strategie motorie utilizzate a seguito di richieste specifiche, evidenziando che il principale fattore che interviene nel modificare le scelte motorie è l'età. Le differenze rilevate negli schemi motori dei bambini, quando suddivisi in gruppi in base all'età, suggeriscono una maturazione prossimo-distale del controllo motorio: questo è in accordo con altri dati di letteratura. Possiamo quindi concludere che questo tipo di approccio per lo studio del movimento dell'arto superiore in età evolutiva rappresenta una valida alternativa ad altri test, considerando che è non invasiva, economica e facilmente riproducibile.

Learning to write: quantitative study in school-aged children

Acquisition of writing precursor skills, such as imitating letters, images and simple geometric shapes, is an important stage in child neuromotor development. The purpose of our study is the validation of a quantitative method to analyze a writing precursor gesture, which could be used as a diagnostic tool to detect altered arm trajectories and to better plan rehabilitative treatments. To this aim, we recruited 226 healthy children (mean age 9,1 years [range: 6.3 – 11.4 years]) and we asked them to run a labyrinth projected in front of them using a wireless mouse. We used Dartfish video analysis software to elaborate images and Excel, MedCalc and Statistica 7 for statistical analysis, to calculate normal values of shoulder, elbow and wrist articular range, arm trajectories, execution times and gesture accuracy. These values have been shown not to be correlated with variables such as

age, gender, culture, cognitive functioning. Therefore we believe that these values we obtained can be used as “normal values”. The technique also allowed us to study the motor strategies used following specific requests, evidencing that the main factor that modifies motor choices is age. Differences seen in children’s motor schemes, when divided according to age groups, suggest a proximal-distal maturation of motor control: this is in keep with other published findings. We can therefore conclude that this kind of approach to arm movement’s study in childhood represents a valid alternative to other tests, considering that it is non-invasive, low-cost and easily reproducible.

Introduzione

I movimenti dell’arto superiore sono il risultato finale di un complesso meccanismo che coinvolge diversi algoritmi motori costruiti sulla base delle esperienze motorie. La stabilità e l’adattabilità delle performance motorie sono caratteristiche indispensabili per lo sviluppo di azioni finalizzate [1-2]. Un movimento finalizzato necessita, per essere eseguito, della contemporanea presenza di un normale sviluppo sia delle competenze motorie che di quelle cognitive.

Le abilità motorie necessarie a questo scopo sono la prensione e la capacità di manipolazione, che vengono apprese gradualmente dal bambino nei primi anni di vita.

Tra le abilità cognitive vanno necessariamente considerate la percezione visiva e le abilità rappresentative, prerequisiti indispensabili per l’organizzazione di attività costruttive come il gesto pre-scrittore.

I bambini necessitano infatti di numerose competenze visuo-spaziali per sviluppare le abilità pre-scrittore, tra cui l’apprezzamento di linee, angoli e dimensioni, la rappresentazione mentale delle relazioni tra le parti e il tutto, le abilità di pianificazione. Si ritiene che il raggiungimento di un’adeguata abilità grafica sia parallelo allo sviluppo della rappresentazione mentale visuo-motoria in presenza di una funzione percettiva matura. L’integrazione visuo-motoria è l’abilità di coordinare le informazioni visive con la risposta motoria [3].

Tale risposta coinvolge la contrazione simultanea di molti muscoli e l’interessamento di più articolazioni. L’azione muscolare sulla singola articolazione dipende dalla posizione articolare, dalla posizione delle altre articolazioni e dal grado di attivazione del muscolo. Ogni atto motorio può essere realizzato con un numero pressoché infinito di combinazioni spazio-temporali di attivazione neuronale e muscolare. I movimenti possono perciò avvenire con un elevato e ridondante numero di gradi di libertà [4]. Nonostante l’alto grado di ridondanza, ogni soggetto tende ad adottare un numero limitato di schemi di esecuzione del compito motorio, utilizzando associazioni stabili fra le componenti di movimento, dette sinergie motorie. L’utilizzo delle sinergie muscolari semplifica enormemente il controllo e la pianificazione del movimento, riducendo il numero dei gradi di libertà richiesti al controllo esecutivo.

La coordinazione, requisito essenziale per svolgere qualsiasi attività, è il risultato di un complesso e fine controllo motorio di tutti gli effettori coinvolti in un determinato movimento [5].

I meccanismi di controllo applicati dal Sistema Nervoso Centrale (SNC) nel corso di questi processi sono di tipo anticipativo (*feed-forward*) o correttivo (*feedback*) [6-7].

Uno schema di controllo a *feed-forward* è basato sulla previsione delle forze che saranno necessarie al sistema per l’esecuzione di un determinato piano motorio, senza l’utilizzo di informazioni sensoriali. Per fare questo è necessario che il SNC abbia una rappresentazione interna in grado di calcolare come convertire un movimento pianificato in un comando motorio efficace per raggiungere un obiettivo prefissato. Ciò presuppone che un controllo a *feed-forward* abbia capacità di adattamento e si modifichi con l’esperienza. Questo meccanismo è veloce, ma ha un ovvio inconveniente: è scarsamente sensibile a disturbi imprevisti o modificazioni improvvise degli effettori. Interviene perciò il meccanismo di controllo a *feedback* che utilizza le informazioni sensoriali acquisite durante il movimento per effettuare rapide correzioni del gesto mentre è ancora in atto [8-9].

A causa della ridondanza del sistema motorio spesso esistono molteplici soluzioni per compiere un movimento. Il SNC promuove la scelta dei comandi motori meno dispendiosi energeticamente. La regolazione di un movimento tiene dunque in grande considerazione le spese energetiche come fattore su cui basare le scelte motorie. Emerge dunque come dietro a ogni gesto, per quanto semplice, si nasconda un complesso sistema di sensazioni (visive, tattili, propriocettive), motivazioni e performance motorie, per non parlare degli aggiustamenti posturali [3]. Da non dimenticare poi il ruolo giocato dai processi di apprendimento che consentono di identificare, localizzare, afferrare e muovere gli oggetti del mondo circostante con abilità.

Scopo del lavoro

L'obiettivo primario di questo lavoro è la validazione di un metodo quantitativo per analizzare il gesto pre-scrittoriale, inteso come la capacità di imitare lettere, immagini e semplici forme geometriche.

A tale scopo è stato selezionato un campione di bambini, che possa essere utilizzato come popolazione di riferimento non patologica per ottenere dei valori di normalità dell'escursione articolare di spalla, gomito e polso e tempi di esecuzione di un gesto semplice e ripetibile, da utilizzare in fase diagnostica e per ottenere uno strumento in grado di migliorare le capacità discriminative sull'esito degli interventi riabilitativi. Si vogliono in questo modo confermare i risultati ottenuti in un precedente studio preliminare. Nel corso dello studio sono stati analizzati inoltre gli effetti dell'età, del sesso, dello sviluppo cognitivo e della cultura sulle strategie motorie applicate dai bambini al fine di validare una metodica che abbia una valenza universale. Sono state infine valutate le traiettorie compiute dall'arto superiore nell'esecuzione del gesto e ne è stata descritta l'evoluzione che si verifica nei bambini tra i 6 e gli 11 anni di età.

Materiali e metodi

Per questo studio è stato reclutato un gruppo di 226 bambini senza una precedente diagnosi di alterazione del normale sviluppo neuropsichico e senza alterazioni a carico dell'apparato muscolo-scheletrico, frequentanti le scuole elementari di Rivanazzano Terme, Salice Terme, Retorbido e Godiasco. Insegnanti e genitori sono stati precedentemente informati circa le modalità e gli scopi della ricerca e hanno firmato il consenso scritto informato. I dati relativi alla popolazione in esame sono riportati nella tabella 1.

I bambini sono stati sottoposti a due test preliminari per valutare il grado dello sviluppo neurocognitivo: le Matrici Progressive di Raven (forma colorata, CPM) [11] e il *Visual-Motor Integration Test* (VMI) [12].

Successivamente ogni bambino si è seduto su uno sgabello ad altezza regolabile situato dietro un tavolo, sul quale è stato posizionato un *mouse wireless*. Posteriormente si trovavano un proiettore e una fotocamera. Le riprese sono state effettuate dall'alto con la fotocamera posta a 2 metri di altezza e un'inclinazione di 120°, che corrisponde grossolanamente all'inclinazione dell'omero rispetto al piano del tavolo.

La prova consisteva nello far scorrere un cursore all'interno di un labirinto, muovendo il *mouse* sul piano del tavolo. Veniva considerata conclusa nel momento in cui il cursore usciva dal labirinto. Due sono state le richieste poste ai bambini: eseguire la prova il più velocemente possibile cercando di non fare errori (si commette un errore se il cursore tocca la parete del labirinto), dando quindi la precedenza alla velocità di esecuzione, e eseguirla "cercando di non commettere errori, alla massima velocità possibile", dando quindi maggior importanza all'accuratezza dell'esecuzione.

Come intermezzo e distrattore tra le due prove è stato proposto un esercizio che consentiva l'analisi dei tempi di reazione agli stimoli visivi.

Utilizzando il *software* Dartfish Pro Suite si è poi provveduto alla video analisi dei dati raccolti. Su ogni video sono stati evidenziati, mediante l'utilizzo di alcuni marcatori virtuali, gli angoli che descrivono il movimento delle articolazioni di spalla, gomito e polso. Il vertice dell'angolo della spalla è stato posto sulla proiezione cutanea del centro di rotazione della testa dell'omero, il lato prossimale sulla proiezione dell'asse longitudinale della spina della scapola, il lato distale sulla proiezione dell'asse longitudinale dell'omero. Il vertice dell'angolo del gomito è stato posto sulla proiezione cutanea del centro di rotazione del carpo, il lato prossimale sulla proiezione dell'asse longitudinale del radio, il lato distale sulla proiezione dell'asse longitudinale del metacarpo. Il vertice dell'angolo del polso è stato posto sulla proiezione cutanea del centro di rotazione del carpo, il lato prossimale sulla proiezione dell'asse longitudinale del radio, il lato distale sulla proiezione dell'asse longitudinale del secondo metacarpo. Il *software* ha consentito di valutare le escursioni angolari durante il movimento, di raccogliere i dati in una tabella e di trasferirla su fogli Excel.

Risultati

Dopo aver verificato che tutte le variabili misurate (apertura angolare delle tre articolazioni considerate, tempi di percorrenza del labirinto e numero di errori commessi) presentassero una distribuzione di tipo normale, è stata eseguita l'analisi delle correlazioni presenti tra le variabili misurate e quelle di contesto (età, sesso, cultura di appartenenza, livello cognitivo). Questa analisi ha evidenziato l'assenza di forti correlazioni tra le variabili di contesto e quelle inerenti alla performance motoria. Si può così affermare che il test proposto è un test indipendente dalle variabili di contesto e, come tale, applicabile a tutti i bambini senza alcuna distinzione o adattamento.

Abbiamo in seguito determinato i valori di normalità dell'escursione articolare delle articolazioni di spalla, gomito e polso in gesti motori finalizzati, dei tempi di esecuzione del gesto (come misura indiretta della velocità del gesto) e del numero di errori commessi (come misura indiretta del grado di accuratezza). I dati relativi ai valori di media e deviazione standard sono riportati nelle tabelle 2 e 3, suddivisi per classi di età.

La metodica applicata ha consentito di valutare le strategie motorie messe in atto dai bambini a seguito delle richieste di eseguire uno stesso movimento dapprima con accuratezza e poi velocemente. Questo ci ha permesso di verificare che, come riportato in letteratura, nel bambino si assiste a una maturazione del controllo motorio prossimo-distale che è età-dipendente e di descrivere le fasi di questo processo.

Discussione

L'analisi della strategia motoria applicata dai bambini nella prova ERROR ha messo in evidenza che l'escursione articolare della spalla è maggiore nel gruppo dei bambini frequentanti la prima elementare. La differenza con i rimanenti quattro gruppi è risultata significativa. La progressiva stabilizzazione della spalla è un espediente che consente un miglior controllo dei movimenti fini, incrementando i livelli di precisione e accuratezza. Parallelamente alla riduzione dell'escursione angolare della spalla si verifica un aumento delle escursioni articolari di gomito e polso; nelle età comprese tra gli 8 e i 10 anni la strategia motoria si basa prevalentemente sull'uso del gomito, mentre dopo i 10 anni sull'uso dell'articolazione del polso, come nell'età adulta.

L'escursione articolare del polso mostra, invece, differenze significative tra la classe quinta e tutte le altre. Questo implica che tra i 10 e gli 11 anni si verifica un'ulteriore evoluzione della strategia motoria applicata nei compiti di accuratezza incentrata sull'uso dell'articolazione del polso. Questo consente un controllo ancora più fine del movimento, con un guadagno dal punto di vista della velocità di esecuzione, senza compromissione del livello di precisione.

La prova FASTER ha mostrato, analogamente alla prova ERROR, che l'articolazione della spalla raggiunge valori di escursione articolari maggiori nei bambini più piccoli, significativamente diversi rispetto agli altri gruppi.

Il movimento del gomito ha invece un andamento diverso rispetto alla prova ERROR: differenze significative nell'escursione articolare compaiono infatti già tra la prima e la seconda elementare.

L'escursione articolare del polso, invece, non mostra alcuna differenza tra i cinque gruppi in esame. Si può concludere che nelle prove di velocità viene messa in atto una strategia motoria generalmente meno raffinata, che non mostra una particolare evoluzione tra i 6 e gli 11 anni (Figura 1). Il tempo impiegato per completare la prova FASTER è risultato inferiore a quello impiegato per completare la prova ERROR in tutti i sottogruppi del campione in esame. Considerando separatamente le due prove, si evidenziano differenze tra la prestazione della classe quarta e quella della classe quinta che però non raggiungono la significatività statistica. Il numero di errori commessi è risultato complessivamente minore nella prova di accuratezza, rispetto alla prova di velocità.

In questo studio è stato analizzato il gesto pre-scrittoriale in quanto può essere rappresentativo di una situazione riabilitativa di frequente riscontro: l'utilizzo di abilità visuo-motorie applicate all'arto superiore analoghe a quelle necessarie per l'apprendimento e la produzione della scrittura.

La strumentazione utilizzata nel corso della sperimentazione ci ha consentito di quantificare le ampiezze angolari delle articolazioni di spalla, gomito e polso durante il movimento dell'arto.

La disponibilità dei valori numerici e la facilità di elaborazione consentita dall'esportabilità su fogli di calcolo numerici ci ha consentito di calcolare dei valori di normalità inerenti ad escursioni angolari, traiettorie dell'arto e tempi di esecuzione del gesto utili sia a livello diagnostico per individuare le traiettorie anomale, sia a livello riabilitativo per ottenere un intervento più mirato.

La sperimentazione ha permesso inoltre di studiare come viene applicata una strategia motoria a seguito di una richiesta specifica e di determinare i principali fattori che intervengono nel modificare le scelte motorie effettuate. Il più importante di tutti è l'età. Infatti lo studio ha rilevato differenze significative delle escursioni articolari nei gruppi in cui è stato suddiviso il campione in base all'età dei bambini, che suggeriscono una maturazione articolare prossimo-distale del controllo motorio, come, d'altra parte, si ritrova in letteratura.

A questo proposito lo studio ha permesso di rilevare le differenze presenti tra due strategie motorie applicate a seguito di diverse richieste dell'operatore. Questo può avere interessanti ripercussioni a livello riabilitativo per quanto riguarda le modalità con cui può essere intrapreso un intervento.

In conclusione possiamo dire che dal momento che il campione da noi analizzato presenta assenza di correlazioni e una distribuzione normale per quanto riguarda le variabili di età, sesso, cultura e abilità cognitive, i valori di riferimento presentati sono utilizzabili come riferimento con cui confrontare qualunque bambino patologico. Questo tipo di approccio, per lo studio del movimento dell'arto superiore del soggetto in età evolutiva, ha quindi una valenza universale e questo lo rende un'alternativa molto valida ad altri test, soprattutto se si considerano la sua scarsa invasività e la sua facile trasportabilità e riproducibilità.

Tabelle e figure

Tabella 1. Popolazione oggetto di studio.

<i>Età media (min- max) (anni)</i>	9.1 (6.3-11.4)
<i>Soggetti in classe I (%)</i>	39 (17.3%)
<i>Soggetti in classe II (%)</i>	46 (20.3%)
<i>Soggetti in classe III (%)</i>	42 (18.6%)
<i>Soggetti in classe IV (%)</i>	58 (25.7%)
<i>Soggetti in classe V (%)</i>	41 (18.1%)
<i>Totale soggetti (%)</i>	226 (100%)

Tabella 2. Valori di normalità per l'escursione articolare di spalla, gomito e polso, tempi di esecuzione del gesto e numero di errori commessi. La strategia è indicata come ERROR (indicazione a commettere il minor numero possibile di errori ossia a toccare il meno possibile i bordi del labirinto); il numero romano indica la classe frequentata dal bambino.

Variabile misurata	Media	Deviazione Standard
<i>Spalla ERROR I</i>	6.4323	4.4736
<i>Gomito ERROR I</i>	10.0146	4.4164
<i>Polso ERROR I</i>	9.6931	5.6002
<i>Tempo ERROR I</i>	5.6944	3.7861
<i>Numero errori ERROR I</i>	3.0294	1.6419
<i>Spalla ERROR II</i>	4.1634	2.7805
<i>Gomito ERROR II</i>	9.0145	3.9018
<i>Polso ERROR II</i>	9.5028	4.7364
<i>Tempo ERROR II</i>	5.8692	3.3174
<i>Numero errori ERROR II</i>	3.2821	1.5380
<i>Spalla ERROR III</i>	3.4274	1.7692
<i>Gomito ERROR III</i>	7.1181	3.2561
<i>Polso ERROR III</i>	10.6668	5.4304
<i>Tempo ERROR III</i>	5.3369	2.7180
<i>Numero errori ERROR III</i>	3.8205	2.4373
<i>Gomito ERROR IV</i>	9.2836	5.1177
<i>Polso ERROR IV</i>	10.0867	5.1066
<i>Tempo ERROR IV</i>	4.9232	2.5221
<i>Numero errori ERROR IV</i>	3.4528	1.8456
<i>Spalla ERROR V</i>	3.4162	1.8148
<i>Gomito ERROR V</i>	8.1889	4.3979
<i>Polso ERROR V</i>	12.1806	4.5816
<i>Tempo ERROR V</i>	5.9448	2.8619
<i>Numero errori ERROR V</i>	3.4250	2.8183

Tabella 3. Valori di normalità per l'escursione articolare di spalla, gomito e polso, tempi di esecuzione del gesto e numero di errori commessi. La strategia è indicata come FASTER (indicazione a uscire il più rapidamente possibile dal labirinto); il numero romano indica la classe frequentata dal bambino.

Variabile misurata	Media	Deviazione Standard
<i>Spalla FASTER I</i>	16.6380	3.4055
<i>Gomito FASTER I</i>	13.3527	10.9437
<i>Polso FASTER I</i>	10.2336	6.0167
<i>Tempo FASTER I</i>	4.4161	1.8318
<i>Numero errori FASTER I</i>	3.6111	1.9607
<i>Spalla FASTER II</i>	4.0679	2.2880
<i>Gomito FASTER II</i>	9.6569	5.0710
<i>Polso FASTER II</i>	9.7718	5.2335
<i>Tempo FASTER II</i>	4.3105	1.6107
<i>Numero errori FASTER II</i>	3.9744	2.1335
<i>Spalla FASTER III</i>	4.3115	2.3652
<i>Gomito FASTER III</i>	7.7219	3.7399
<i>Polso FASTER III</i>	10.5323	5.3046
<i>Tempo FASTER III</i>	4.2716	1.5552
<i>Numero errori FASTER III</i>	4.1579	2.0992
<i>Gomito FASTER IV</i>	11.5351	10.0522
<i>Polso FASTER IV</i>	10.8583	4.8606
<i>Tempo FASTER IV</i>	4.1615	1.8437
<i>Numero errori FASTER IV</i>	3.3818	1.5810
<i>Spalla FASTER V</i>	4.3924	2.7853
<i>Gomito FASTER V</i>	9.1707	6.3891
<i>Polso FASTER V</i>	11.5697	6.0325
<i>Tempo FASTER V</i>	4.7708	1.9487
<i>Numero errori FASTER V</i>	4.8205	2.6643

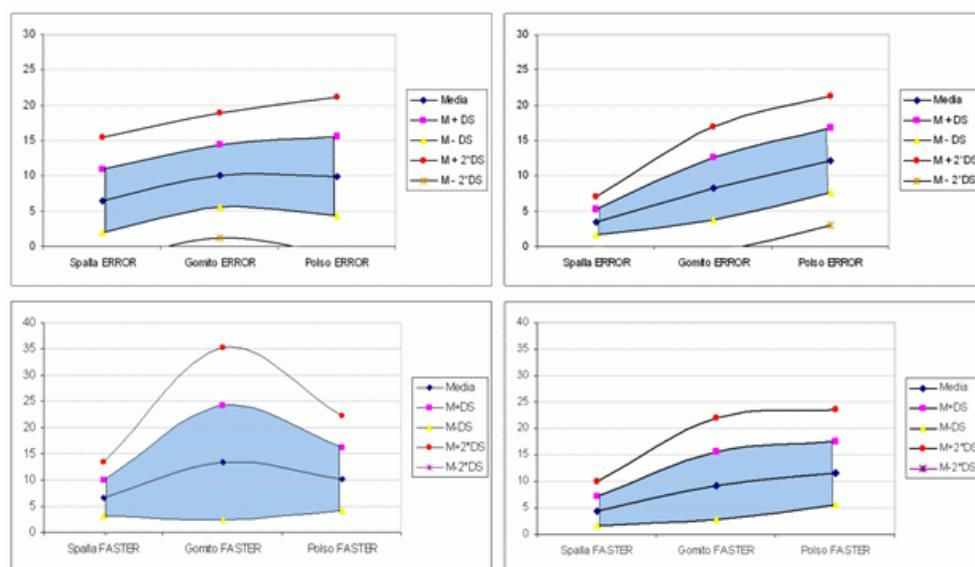


Figura 1. Rappresentazione grafica del gesto compiuto nelle prove ERROR e FASTER dai bambini della classe prima (colonna a sinistra) e quinta elementare (colonna a destra).

Bibliografia

1. Bejor M, De Bernardi E, Pavese C et al. Reliability of a new video analysis software to assess visuomotor skills. *Boll Soc Med Chir Pavia* 2009;122:725-735.
2. Chiappedi M, De Bernardi E, Dalla Toffola E et al. Child visuomotor skills: preliminary findings using a new low-cost movement analysis method. *Funct Neurol* 2010;25:45-48.
3. Feder KP, Majnemer A. Handwriting development, competency and intervention. *Dev Med Child Neurol* 2007;49(4):312-317.
4. Latash ML, Danion F, Sholtz JF et al. Approaches to analysis of handwriting as a task of coordinating a redundant motor system. *Hum Mov Sci* 2003;22:153-171.
5. Hogan N, Bizzi E, Mussa-Ivaldi FA et al. Controlling Multijoint motor behaviour. *Exercise Sport Sciences Review* 1987;15:153-190.
6. Turvey MT, Fonseca S. Nature of motor control: perspective and issues. In: Sternad D. Progress in motor control: A multidisciplinary perspective. Springer Verlag, New York 2009.
7. Gottlieb GL, Song Q, Almeida GL et al. Directional control of planar human arm movement. *J Neurophysiol* 1997;78(6):2985-2988.
8. Mantovani C. Feedback e controllo motorio. *Italian Journal of Sports Sciences* 2004;11:23-27.
9. Diedrichsen J, Shadmehr R, Ivry RB. The coordination of movement: optimal feedback control and beyond. *Trends Cogn Sci* 2010;14(1):31-39.
10. Rizzolatti G, Sinigaglia C, Anderson F. Mirrors in the brain: how our minds share actions and emotions. Oxford University Press, New York 2008.
11. Raven JC. CPM (Coloured Progressive Matrices). Edizione italiana a cura di Belacchi C, Scalisi TG, Cannoni E, Cornoldi C, Giunti OS, Torino 2008.
12. Beery KE. VMI (Developmental Test of Visual-Motor Integration). Giunti OS, Firenze 2000.