



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia Generale

Corso di laurea Magistrale in Neuroscienze e Riabilitazione

Neuropsicologica

Tesi di laurea Magistrale

**Effetti transienti di un videogioco d'azione sulle abilità oculo-motorie
fina in bambini del primo anno di scuola primaria**

**Transient effects of an action video game on fine oculomotor skills in children of
the first year of primary school**

Relatore

Prof. Andrea Facoetti

Correlatori

Dott.ssa Sara Bertoni

Dott.ssa Giovanna Puccio

Dott. Sandro Franceschini

Laureanda Palma Semeraro

Matricola 2022886

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

Introduzione	3
1. Il gioco come strumento di potenziamento di abilità cognitive e motorie	4
1.1 La storia del gioco dal punto di vista evolutivo	4
1.2 Il gioco al giorno d'oggi	6
1.3 L'impatto del gioco sulla cognizione	6
1.4 Il dominio sensorimotorio e le sue caratteristiche	10
1.4.1 Il processo di integrazione sensorimotoria e i sistemi coinvolti	11
1.4.2 Le abilità sensorimotorie nello sviluppo atipico	13
1.5 L'impatto del gioco sul dominio sensorimotorio	18
2. Gli effetti a breve termine del gioco sulle abilità oculo-motorie fini	26
2.1 Metodo	26
2.1.1 Partecipanti	26
2.1.2 Procedura e materiali	27
3. Risultati	31
3.1 Il video gioco d'azione e le abilità grosso motorie	31
3.2 L'effetto del videogioco d'azione sulle abilità oculo-motorie fini	31
3.3 Discussione e conclusioni	33
4. Bibliografia	39

Introduzione

Questo elaborato tratterà gli effetti a breve termine del videogioco d'azione sul dominio sensorimotorio, in particolare sulla coordinazione oculo-manuali fini, in bambini di età scolare con sviluppo tipico. Nel primo capitolo si descriverà il ruolo del gioco nella vita di mammiferi e altre specie animali, per passare a trattare, nello specifico, l'impatto che ha sull'uomo. In particolare, viene approfondito il rapporto tra il videogioco d'azione e le abilità cognitive generali, come il controllo attenzionale e la flessibilità cognitiva. Questi due domini, infatti, vengono stimolati e potenziati dalle dinamiche del videogioco d'azione in cui il giocatore deve essere veloce, deve monitorare costantemente gli ambienti e gestire gli imprevisti, in funzione di un obiettivo. Successivamente, si descriverà il dominio sensorimotorio e l'impatto del videogioco d'azione su di esso, riportando evidenze sia a livello comportamentale che neuroanatomico. La scelta di procedere con questo ordine deriva dal presupposto che il videogioco d'azione abbia degli effetti a livello cognitivo dominio-generale, che poi si traducono in modifiche sul dominio sensorimotorio. Le evidenze riportate circa le caratteristiche del dominio sensorimotorio e l'effetto del videogioco d'azione riguardano sia la popolazione tipica che atipica. Il secondo capitolo presenterà, invece, il nostro lavoro di ricerca condotto con bambini di età scolare con sviluppo tipico, presso quattro istituti della scuola primaria del Comune di Padova: "Quattro Martiri", "Luigi Luzzatti", "Elena Cornaro" e "G. Ricci Curbastro". L'obiettivo della ricerca è di testare gli effetti a breve termine sulle abilità cognitive e motorie in seguito a 30 minuti di videogioco d'azione, i.e. "Super Mario Kart". Il focus del presente elaborato è il dominio sensorimotorio, e per questo ci siamo focalizzati sulle prove e sui risultati ad esso relativi. Il terzo capitolo discuterà i risultati della nostra ricerca, evidenziando un effetto significativo del trattamento a breve termine con il videogioco d'azione sul tempo di esecuzione del compito del salvadanaio, relativo alle abilità oculo-motorie fini, con una significativa interazione con la dominanza manuale dei partecipanti.

1. Il gioco come strumento di potenziamento di abilità cognitive e motorie

1.1 Il gioco dal punto di vista evolutivo

Il gioco caratterizza da sempre la vita degli esseri viventi, infatti, si presenta nel contesto di vita dei mammiferi (Fagen, 1981) e di altre specie viventi come uccelli, pesci, insetti e cefalopodi, ancor prima di essere praticato dagli esseri umani (Mather e Anderson, 1999; Gamble e Cristol, 2002; Burghardt, 2005; Dapporto et al., 2006). Sono stati definiti cinque criteri per individuare e descrivere l'attività di gioco in tutte le specie viventi, inclusa quella umana. Il gioco si presenta come un'attività non completamente funzionale nel contesto in cui appare, infatti, non è principalmente volto alla sopravvivenza. Inoltre, è spontaneo, piacevole, gratificante e volontario; differisce dagli altri comportamenti in quanto è esagerato o incompleto. Per essere definito "gioco", il comportamento messo in atto deve essere ripetuto, ma non in modo anomalo né in forma stereotipata. Infine, viene praticato in assenza di grave stress (Burghardt, 2001; 2005; 2010). Il comportamento di gioco, inoltre, può essere solitario o sociale, con o senza l'utilizzo di un oggetto (Tanner e Byrne, 2010).

Sono state elaborate diverse teorie volte a definire e descrivere il comportamento di gioco, tra queste le tre teorie chiave sono: (i) il surplus di energia, (ii) la pratica istintiva e (iii) la ricapitolazione. La teoria del surplus di energia ipotizza che gli animali superiori, come i mammiferi, giochino quando sono in uno stato di buona alimentazione e la loro condizione fisica supporti un'attività fisica rigorosa (Spencer, 1872). La teoria funzionale sostiene, invece, che l'istinto e l'esperienza dell'attività di gioco siano la base per la preparazione alla vita adulta, e che gli animali giochino per affinare le proprie abilità (Groos, 1898; 1901). La teoria della ricapitolazione definisce il gioco come un comportamento residuo del passato evolutivo, che consiste nel mettere in atto comportamenti che prima erano utili alla sopravvivenza e adesso, invece, sono solo vestigiali (Hall, 1904).

Nella prospettiva neuroevolutiva di nostro interesse è sicuramente rilevante l'ipotesi secondo cui il gioco, che coinvolge l'attività fisica, va a modificare negli animali lo sviluppo del sistema neurocognitivo e neuromuscolare (Bekoff e Byers, 1981; Byers

e Walker, 1995). Diverse evidenze hanno suggerito che il gioco, durante i periodi sensibili dello sviluppo, possa facilitare lo sviluppo di appropriati tipi di fibre muscolari scheletriche, migliorando anche la sinaptogenesi cerebellare in ratti, gatti e topi (Byers e Walker, 1995). Nei mammiferi la funzione più accreditata del gioco è la preparazione ad affrontare eventi imprevedibili, che mettono l'animale nella condizione di sviluppare una cinematica flessibile e risposte emotive a eventi che comportano stress e perdita di controllo (Spinka et al., 2001). Inoltre, stimola azioni complesse e tale attivazione determina modifiche nel sistema percettivo e sensorimotorio, favorendo lo sviluppo di nuove abilità cognitive (Graham e Burghardt, 2010). La forma di gioco più studiata è il gioco sociale. Si suppone, che esso sia importante per il miglioramento delle abilità sociali, permettendo di imparare a stringere rapporti sociali, diminuire la frequenza dei comportamenti aggressivi e favorire la cooperazione, l'altruismo, la reciprocità e l'onestà (Fagen, 1981; Lee, 1983; Bekoff, 2001; Bekoff e Pierce, 2009; Pellis e Pellis, 2009). La mancata esperienza di gioco potrebbe rendere carente l'abilità di reagire adeguatamente allo stress sociale, portando a reazioni ipo o iper-difensive (Hol, 1999). Per esempio, ratti deprivati della possibilità di giocare fra i 25 e i 45 giorni dalla nascita, mostreranno difficoltà nelle interazioni sociali (Einon e Morgan, 1977; Pellis e Pellis, 2009). Anche negli esseri umani il gioco ha un impatto su aspetti sia sociali che cognitivi. Per esempio, bambini che hanno avuto maggiori esperienze di gioco di lotta mostrano maggiori competenze a livello sociale (Pellegrini, 1993). Inoltre, stimola l'autoregolazione, la creatività e il problem solving (Nijhof et al., 2018) e la resilienza fisica e psicologica (Pellis e Pellis, 2017). Considerando, che i diversi mammiferi giocano nonostante la grande diversità in termini di dimensioni del cervello, habitat, dimensioni corporee, modello locomotore, organizzazione sociale, storia di vita e dieta (Graham e Burghardt, 2010) e che molti altri animali (come uccelli, e in particolare i corvidi) giocano molto per tutta la vita, è probabile che il gioco, indipendentemente dalle caratteristiche e dai contesti, generi uno stato positivo e attivo. Tale stato potrebbe basarsi su un network che favorirebbe l'integrazione di informazioni, facilitando così il pensiero e l'azione (Franceschini et al., 2022).

1.2 Il gioco al giorno d'oggi

Il gioco attualmente rappresenta un'attività trasversale a diverse culture, e vede impegnate milioni di persone almeno 3 ore al giorno (Entertainment Software Association, 2019). Il dato interessante è che al giorno d'oggi lo sviluppo della tecnologia mette a disposizione sia di bambini che di adulti videogiochi che, per le peculiari caratteristiche, rappresentano un promettente ambito di studio circa gli effetti sulla plasticità neurale e la salute umana. La ricerca si è principalmente focalizzata sull'effetto di un particolare tipo di videogioco, quello d'azione (AVG), che presenta particolari caratteristiche rispetto ai videogiochi non d'azione (NAVG). La principale caratteristica è la velocità della dinamica di gioco, che presenta oggetti in movimento ed eventi transitori che il giocatore deve gestire; inoltre, comportano un alto carico percettivo, cognitivo e motorio. Un'altra caratteristica fondamentale è l'imprevedibilità temporale e spaziale delle dinamiche dell'AVG, che richiedono un'adeguata elaborazione periferica e la pronta elaborazione di piani d'azione alternativi per fronteggiare gli imprevisti (Green et al., 2010). Sulla base di tali caratteristiche e considerando il facile accesso a tali strumenti, è interessante approfondire l'impatto della pratica con gli AVG sui diversi domini cognitivi, sia in contesti di sviluppo tipico che atipico. Infatti, i videogiochi si presentano come potenziali strumenti di abilitazione e riabilitazione di diverse abilità cognitive (Primack et al., 2012; Pine et al., 2020). Inoltre, molte ricerche si sono focalizzate sui benefici dei videogiochi nei contesti riabilitativi, indicando un effetto superiore o equivalente a quello dei trattamenti più tradizionali (Horne-Moyer et al., 2014; Franceschini et al 2013).

1.3 L'impatto del gioco sulla cognizione

La pratica con gli AVG ha un impatto su due meccanismi, coinvolti a loro volta nel processo di apprendimento: il meccanismo della ricompensa, e il conseguente comportamento di motivazione, e il sistema di attenzione, che comporta la selezione degli stimoli rilevanti e la simultanea soppressione di quelli irrilevanti (Killi, 2005; Watanabe e Sasaki, 2015, Bavelier e Green, 2019). Il sistema di ricompensa gioca chiaramente un ruolo diretto nell'apprendimento, in quanto gli individui imparano il

valore delle loro azioni, aumentando la frequenza di quelle che li avvicinano ai propri obiettivi. Tale meccanismo sarebbe mediato dalla dopamina, il neurotrasmettitore rilasciato a livello del nucleo accumbens, e coinvolta in un'ampia gamma di comportamenti umani, tra cui il piacere, la dipendenza e l'apprendimento. Inoltre, essa favorirebbe la modulazione delle informazioni trasmesse da un'area cerebrale all'altra, stimolando la plasticità cerebrale. Infatti, l'attivazione della proiezione dopaminergica mesocorticolimbica è non solo associata al pattern cognitivo correlato alla ricompensa, ma induce anche uno stato cerebrale nel quale le connessioni tra i neuroni sono più facilmente modificabili (Kilgard e Merzenich, 1998). Data l'importanza di questo neurotrasmettitore, le neuroscienze hanno approfondito le conseguenze neurochimiche derivanti dall'attività di gioco, misurando la quantità di dopamina rilasciata dopo aver giocato (Koepp et al., 1998). Nei giocatori di AVG si è registrato un incremento di dopamina soprattutto nelle aree deputate al circuito della ricompensa e all'apprendimento. Il ruolo di questo aumento di dopamina e le sue implicazioni non sono attualmente ben noti, ma il lavoro sui ratti suggerisce che la dopamina potrebbe essere importante nella modifica del cervello in seguito all'allenamento percettivo. Infatti, è stato condotto uno studio in cui per un gruppo di ratti è stata associata la presentazione di un tono particolare (9-kHz) con la stimolazione dei neuroni della dopamina, mentre in un altro gruppo si presentava il tono da solo. Dopo un'ora e diciassette minuti circa di allenamento, si è osservata un'espansione della parte del cervello dedicata alla percezione del tono solo nei ratti in cui era stata stimolata la dopamina. È stato ipotizzato, quindi, che i neuroni della dopamina svolgano un ruolo critico nell'apprendimento, che si traduce nella riorganizzazione neurale. Si potrebbe immaginare che la grande ondata di dopamina, osservata quando gli individui giocano con un AVG, svolga un ruolo simile a quello osservato nei topi, portando ad un apprendimento più rapido e diffuso (Bao et al., 2001). Il sistema dell'attenzione, almeno in parte, funziona di concerto con il sistema della ricompensa: seleziona le informazioni che sono importanti per ottenere la ricompensa e allo stesso tempo inibisce quelle irrilevanti (Leong et al., 2017). È probabile che l'impatto di entrambi i sistemi si presenti a tutti i livelli di elaborazione, dal "basso livello" di percezione ed elaborazione motoria, al "livello superiore" di elaborazione cognitiva. Tale apprendimento sarebbe probabilmente mediato da una

costante interazione tra le strutture sottocorticali che supportano l'automatizzazione, come i gangli della base, e le strutture frontali che supportano le funzioni esecutive, come il mantenimento degli obiettivi, la flessibilità cognitiva, l'aggiornamento della memoria e l'inibizione (Botvinick, 2012). I due sistemi appena descritti sono potenziati e stimolati dagli AVG che agiscono in modo simile al condizionamento operante. I designer di videogiochi fanno uso di programmi di ricompensa a rapporto variabile, in cui il rinforzo viene fornito dopo un numero variabile di risposte date dal giocatore. Questo significa che, di volta in volta, le azioni da compiere per raggiungere l'obiettivo saranno maggiori o minori rispetto alle precedenti. In questo modo, i giocatori non possono mai sapere quando la prossima azione potrebbe produrre una ricompensa considerevole. Allo stesso tempo, i designer di videogiochi tendono a limitare le punizioni, poiché la punizione spesso produce effetti collaterali indesiderati come rabbia, ostilità o evitamento (Hodent, 2017). Alcuni recenti studi fMRI evidenziano il coinvolgimento del sistema di ricompensa, registrando l'attivazione dello striato e delle sue proiezioni frontali durante il gioco ad esposizioni ripetute (Kuhn et al., 2011; Lorenz et al., 2015). La proposta teorica che l'apprendimento sia facilitato proprio dal premiare le contingenze e da un maggiore controllo dell'attenzione ipotizza che qualsiasi esperienza in grado di soddisfare adeguatamente questi due vincoli dovrebbe a sua volta migliorare l'apprendimento. Per questa ragione gli AVG potrebbero fornire esperienze di apprendimento esemplari (Bavelier et al., 2012).

Soffermandosi sull'attenzione, è interessante sottolineare l'impatto dell'AVG sul controllo attenzionale, ovvero la capacità di concentrarsi sul compito da svolgere e ignorare le fonti di distrazione o rumore, monitorando costantemente i propri progressi e l'ambiente. In questa definizione, il controllo attenzionale non implica solo ciò che tradizionalmente verrebbe etichettato come attenzione selettiva (amplificazione di informazioni rilevanti e smorzamento di informazioni irrilevanti per il compito) ma anche l'attenzione divisa, per monitorare un ambiente ricco di stimoli. Questa definizione comprende anche l'attenzione sostenuta, o almeno una forma di attenzione sostenuta per cui il giocatore è impegnato in processi decisionali cognitivamente impegnativi per lunghi periodi di tempo, processi supportati dall'attivazione della corteccia orbito-frontale. Il passaggio tra diversi stati attentivi è

dovuto alla velocità e alle richieste della dinamica di gioco (Diamond, 2013). Il controllo attenzionale richiede anche l'attivazione della memoria di lavoro, che comprende i processi coinvolti nella memoria attiva, incluso il mantenimento degli obiettivi principali e degli obiettivi secondari attivi, e la revisione dinamica di tali obiettivi secondo la situazione. Fondamentalmente, gli AVG, data la loro velocità e la costante necessità di selezionare i bersagli tra i distrattori, pongono certamente un tale carico sul sistema attenzionale. In particolare, l'AVG potenzierebbe i processi di controllo top-down dell'attenzione, inducendo cambiamenti plastici nel circuito fronto-parietale, stimolando l'attenzione visuo-spaziale (Föcker et al., 2019).

È chiaro, quindi, che gli AVG, di cui fanno parte anche i "First Person Shooter", necessitano di una flessibilità cognitiva tale da permettere di reagire rapidamente agli stimoli visivi e uditivi improvvisi in movimento, rispetto ai NAVG (Colzato et al., 2010). Varie evidenze hanno rilevato differenti abilità cognitive tra giocatori e non giocatori abituali ai videogiochi d'azione, con conseguenti effetti importanti in diversi compiti. Per esempio, i videogiocatori superano i non videogiocatori nel tracciare visivamente più oggetti in movimento su un display affollato di distrattori (Trick et al., 2005). I videogiocatori hanno anche mostrato prestazioni migliori in attività di ricerca visiva sia facili che difficili (Castel et al., 2005); inoltre, l'esperienza videoludica modula diversi aspetti dell'attenzione selettiva visiva (Green e Bavelier, 2003; 2006a; 2006b; 2007). Si ipotizza che la pratica con questo tipo di videogiochi vada a potenziare la prestazione in compiti che richiedono flessibilità mentale, come nei compiti dove viene richiesto il passaggio da un'attività ad un'altra (Miyake et al., 2000; Monsell, 2003). Questo compito richiede la riconfigurazione del set cognitivo quando si passa da un tipo di attività all'altra, un processo che spesso ritarda i tempi di reazione imponendo un costo in termini temporali alla prima prova post-passaggio (Allport et al., 1994). Sulla base di questi elementi si può ipotizzare che i giocatori di videogiochi di AVG, rispetto ai non videogiocatori, non risentono del passaggio da una prova all'altra (Franceschini et al., 2017). Tale effetto è stato testato e confermato, supportando l'ipotesi che la pratica con l'AVG potenzi la flessibilità cognitiva e di conseguenza la prestazione del partecipante al compito. Si potrebbe dire che, piuttosto che processi percettivi o visivi di basso livello di per sé, potrebbero essere funzioni di

controllo esecutivo ad essere migliorate dalla pratica dei videogiochi (Colzato et al., 2010).

Un'altra evidenza a favore dell'impatto positivo degli AVG sulle abilità cognitive è l'induzione di uno stato definito di "flow". Tale stato è determinato dall'assorbimento cognitivo durante la pratica con il gioco, infatti, si caratterizza per un focus completo dell'attenzione sull'attività che si sta svolgendo. Questa condizione potenzia il funzionamento mentale generale, così come i processi cognitivi specifici, quali attenzione e percezione, seppur per periodi di tempo limitati (James e Marty, 1982; Csikszentmihalyi, 1990; Maslow, 1999). Una caratteristica chiave dell'induzione di stati cognitivi potenziati, almeno nel dominio visivo, è l'intensa focalizzazione volontaria dell'attenzione visiva su un oggetto scelto, che attiva le connessioni prefrontale-temporale e prefrontale-parietale nel cervello, facilitando così un potenziamento della memoria di lavoro visuo-spaziale (Kozhevnikov et al., 2009). Gli effetti degli AVG sono stati testati valutando anche le prestazioni in compiti di rotazione mentale e di memoria visiva, e sull'*Attention Network Test* (Fan et al., 2002), che misura le componenti esecutive, di orientamento e di allerta dell'attenzione. Immediatamente dopo aver giocato con gli AVG, le prestazioni dei partecipanti a questi compiti risultavano migliorate. L'effetto riscontrato è scomparso ed è tornato al livello di base per tutte le attività dopo 30 minuti di riposo. Pertanto, tali evidenze suggeriscono che la pratica con gli AVG possa dare accesso a stati cognitivi migliorati temporanei e relativamente brevi. È possibile dedurre che, durante la fase di potenziamento delle abilità cognitive, il focus attenzionale sia "più nitido" e di maggiore risoluzione e quindi che la codifica delle informazioni visuo-spaziali diventi più efficiente (Takashi e Kozhevnikov, 2012; Kozhevnikov et al., 2018).

1.4 Il dominio sensorimotorio e le sue caratteristiche

Ci focalizziamo adesso sul dominio sensorimotorio, oggetto del presente lavoro di tesi. Ne descriveremo le caratteristiche e approfondiremo come si presenta in condizioni atipiche di sviluppo. Sulla base di questo tratteremo nell'ultimo paragrafo di questo capitolo gli effetti degli AVG nella popolazione tipica e atipica.

1.4.1 Il processo di integrazione sensorimotoria e i sistemi coinvolti

Lo sviluppo motorio fa parte della traiettoria evolutiva di un individuo, e comprende le abilità fino e grosso motorie, il movimento e la coordinazione. Lo sviluppo motorio tipico è fondamentale per la salute umana, associandosi infatti a benefici cognitivi, emotivi e fisici. Il dominio sensorimotorio rappresenta lo strumento di comunicazione e interazione con il mondo esterno, mediante un processo di integrazione sensorimotoria. Le evidenze sperimentali suggeriscono che l'integrazione sensorimotoria sia l'esito dell'attività sincronizzata dei livelli midollare, sottocorticale e corticale, che danno luogo a circuiti paralleli e sincronizzati. Il livello midollare opera l'iniziale associazione tra le diverse informazioni provenienti dalla pelle, dai muscoli e dalle articolazioni. Gli schemi di movimento che derivano da questo livello comprendono azioni motorie stereotipate come i riflessi che, nella vita quotidiana, verranno sostituiti da schemi motori più elaborati. Questi ultimi sono il prodotto di un'elaborazione a livelli più elevati del cervello, tra cui il sottocorticale e il corticale (Bizzi et al., 2000). Il secondo livello di integrazione sensorimotoria è quello sottocorticale, responsabile della selezione e dell'organizzazione dei repertori motori del midollo spinale, utilizzati per il controllo della muscolatura assiale, sollecitata per la stabilizzazione posturale. Essenziali in questo secondo livello gerarchico sono i nuclei vestibolari, la formazione reticolare e il collicolo superiore, responsabili della regolazione dei pattern oscillatori durante la locomozione. Inoltre, questo livello include gli aggiustamenti posturali anticipatori al movimento volontario; infatti, la muscolatura viene attivata prima e durante il sollevamento di un oggetto (Balasubramaniam e Wing, 2002). Sono presenti anche i substrati dei nuclei della base e del cervelletto, importanti nella pianificazione delle azioni motorie volontarie (Imamizu, et al., 2000). Entrambi fanno parte di un complesso circuito che coinvolge diverse aree corticali. Il terzo livello di integrazione sensorimotoria si verifica nella corteccia cerebrale, in particolare nelle aree associative, che integrano diverse informazioni sensoriali in un network necessario per l'esecuzione dell'atto motorio. Tale integrazione è mediata anche da aspetti cognitivi superiori come l'attenzione, le emozioni, la pianificazione e la memoria. Ogni modalità sensoriale raccoglie gli input ambientali attraverso specifici percorsi, che portano alle aree sensoriali primarie (uditiva, visiva, somestesica); tali aree trasmettono le informazioni

alle aree di associazione unimodale, che integrano aspetti separati della stessa modalità sensoriale. In seguito, convergono nelle aree associative multimodali, di cui se ne riconoscono tre: l'area di associazione posteriore (la corteccia parietale posteriore), l'area di associazione limbica (la corteccia temporale) e l'area di associazione anteriore (la corteccia prefrontale). L'esito di questa integrazione viene inviato alle aree premotorie e motorie primarie della corteccia cerebrale. Infine, la corteccia motoria primaria diviene l'output di informazioni, trasmettendo i comandi motori dalle vie corticospinali agli effettori, come le estremità muscolari (Monfils et al., 2005). Il risultato di questo processo è l'esecuzione dell'atto motorio (Machado et al., 2010).

Quando parliamo del processo di integrazione sensorimotoria, non possiamo non fare riferimento al ruolo del sistema visivo. È uno dei sistemi sensoriali più importanti che abbiamo, coinvolto sin dalle prime fasi di elaborazione di uno stimolo, percepito dai movimenti oculari degli occhi. Parliamo, quindi, del sistema oculomotore elicitato dallo stimolo visivo, che comprende tre tipi di movimento: le fissazioni, il movimento di inseguimento e la saccade. La fissazione è un movimento oculare che si orienta su un bersaglio fermo; l'inseguimento regolare traccia il movimento del bersaglio che rimane al centro della fovea; la saccade è un rapido movimento degli occhi che serve a mirare lo sguardo sull'oggetto di interesse, mentre navighiamo nell'ambiente (Karatekin, 2007). Inoltre, la saccade permette di focalizzare lo sguardo in diverse parti del campo visivo in tempi stretti. Tali movimenti, elicitati dallo stimolo visivo, sono mediati dalla coordinazione tra aree sensoriali e associative. In questo modo, il cervello analizza lo stimolo in vista della preparazione del network, a livello delle aree motorie, per l'esecuzione dell'azione (Jagla et al., 2007). Quindi, la relazione tra lo stimolo visivo e i movimenti oculari è considerata un tipo fine di integrazione sensorimotoria. I modelli basati sulla rete neurale, inoltre, spiegano l'integrazione multisensoriale come un processo di convergenza tra informazioni visive, uditive e tattili con i substrati sensorimotori, che sono necessari per mantenere la coordinazione tra testa e occhi (Jeka et al., 1997). Il sistema sensoriale, infatti, è fondamentale nell'integrazione sensorimotoria, fornendo alle aree corticali e subcorticali differenti informazioni attraverso i recettori (Shadmehr e Holcomb, 1999). In tal modo, il sistema nervoso integra informazioni diverse, garantendo il controllo e la stabilità

motoria. Tale processo include l'integrazione delle informazioni temporali e di quelle sensoriali spaziali nel loro insieme, cioè visive, vestibolari e propriocettive. Un esempio è la pratica di tiro al bersaglio che richiede un alto livello di attenzione focalizzata, controllo motorio fine e stabilità posturale, tutte caratteristiche determinanti per una buona prestazione (Ventegodt et al., 2008). L'atto motorio volontario riceve così diversi feedback sensoriali, che consentono il controllo, l'adeguamento, la correzione e l'esecuzione di nuovi modelli di movimento volontario (Machado et al., 2010).

1.4.2 Le abilità sensorimotorie nello sviluppo atipico

Le abilità sensorimotorie includono due tipi: le abilità grosso motorie e quelle fino motorie. Le prime citate sono le abilità fondamentali che i bambini imparano e usano per esplorare e navigare nel loro ambiente come salire le scale, correre, calciare un pallone. Le abilità sensorimotorie fini consistono, invece, in movimenti di piccoli muscoli, come quelli di mani, piedi, lingua, labbra e viso, e sono alla base della coordinazione (Lloyd, MacDonald e Lord, 2013). Tali abilità possono risultare compromesse in presenza di alcuni disturbi e condizioni patologiche, che rendono atipica la traiettoria evolutiva del bambino.

Il disturbo della coordinazione motoria (DCD) è un disturbo del neurosviluppo, che vede compromesse le abilità motorie del bambino. Tale condizione si caratterizza per la presenza di abilità motorie inferiori al livello previsto in una condizione di sviluppo tipico. Inoltre, dà luogo a diverse difficoltà come goffaggine nel movimento, lentezza e imprecisione nell'esecuzione di azioni, come prendere un oggetto in mano, scrivere, disegnare e andare in bicicletta. La manifestazione del DCD, ovviamente, varia con l'avanzare dell'età: i bambini piccoli sono lenti nel raggiungimento delle tappe motorie come sedersi, gattonare e camminare, sebbene poi riescano a raggiungere traguardi motori tipici. Inoltre, potrebbero ritardare l'acquisizione di abilità come scendere le scale, pedalare o abbottonarsi una camicia. Anche nel momento in cui l'abilità motoria dovesse essere acquisita, l'esecuzione risulta lenta, goffa e meno precisa rispetto ai coetanei con sviluppo tipico. I bambini più grandi e gli adulti continuano a presentare bassa velocità e imprecisione in attività come scrivere a

mano, giocare a palla, guidare e prendersi cura di sé (criterio A del DSM-5). Questa condizione atipica del neurosviluppo interferisce con le attività di vita quotidiana del bambino, provocando difficoltà nella performance e nella partecipazione alle attività in famiglia, ma anche a livello scolastico e sociale. Il bambino avrà difficoltà nel vestirsi, maneggiare utensili o giocare fisicamente con gli altri bambini, con un movimento molto lento. Questa condizione ha non solo conseguenze a livello fisico come l'obesità, ma dà luogo anche a bassa autostima, problemi emozionali e comportamentali. A livello scolastico si manifesta nella lentezza dell'output motorio di scrittura e, anche nella vita adulta, tutte le attività che richiedono accuratezza e velocità saranno compromesse dal DCD (criterio B del DSM-5). La diagnosi non precede i 5 anni di vita del bambino, perché possono esserci differenze individuali nell'acquisizione tipica di molte abilità motorie (criterio C del DSM-5); inoltre, si manifesta prevalentemente tra i 5 e gli 11 anni. Infine, ai fini della diagnosi, il DCD non può essere spiegato dalla presenza di disabilità intellettiva, deficit visivi neurologici o da condizioni neurologiche che colpiscono il movimento, per esempio paralisi cerebrale, distrofia muscolare e disturbo degenerativo (criterio D del DSM-5). Il DCD non ha specifici sottotipi, colpisce principalmente le abilità grosso motorie e fino motorie (DSM-5, Section II, Neurodevelopmental disorders). Tra i deficit nelle abilità grosso-motorie si osserva che i bambini cadono frequentemente, manifestano uno schema di corsa atipico, fanno cadere spesso gli oggetti e hanno difficoltà a eseguire schemi motori e imitare posture. Le abilità fino motorie principalmente compromesse nel DCD sono, invece, la scrittura a mano e il disegno, ma si manifestano anche difficoltà di pianificazione ed esecuzione di altre abilità motorie fini, come la presa e la vestizione. Il DCD comporta, infine, problemi psicosociali a scuola, problemi di apprendimento e di lettura, e rischio di un minore livello di intelligenza (Barnhart et al., 2003).

Lo strumento diagnostico più utilizzato per rilevare la presenza del DCD è il Movement ABC Test (Henderson e Sugden, 1992), arrivato attualmente alla seconda edizione. Il Movement ABC 2 (M-ABC 2) estende il range di età del bambino dai 3 ai 16 anni, suddiviso in tre fasce di età (AB): AB1 (3-6 anni), AB2 (7-10 anni) e AB3 (11-16 anni). Per ognuna di queste tre sezioni l'M-ABC 2 prevede la valutazione di tre sottotipi di abilità motorie: destrezza manuale, mira e cattura ed equilibrio. I tre

compiti di destrezza manuale si concentrano sull'uso delle mani nella manipolazione degli oggetti in vari modi. Ciò prevede una misura di velocità e precisione in ciascuna mano separatamente, un'attività bimanuale a tempo e un'attività di disegno senza tempo. La componente di mira e cattura comprende compiti che richiedono la proiezione di un oggetto verso un bersaglio e la ricezione di un oggetto in una o due mani. La componente di equilibrio include un compito di equilibrio statico e due compiti di equilibrio dinamico. Uno di questi ultimi prevede un movimento controllato e sostenuto, ad esempio camminare lungo una linea; l'altro comporta un'azione più esplosiva, come saltare. Un simile set di otto compiti è incluso all'interno di ciascuna fascia di età nelle tre sottocomponenti, con compiti crescenti in difficoltà con l'avanzare dell'età (Henderson et al., 2007). È stata testata e dimostrata la validità strutturale di questo strumento separatamente in tutte e tre le fasce d'età (Schulz, et al., 2011). Un altro strumento di misura ideato e utilizzato per valutare le abilità motorie del bambino è il The Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency (BOT), utilizzato dai terapisti in contesti clinici e scolastici (Bruininks, 1978). Attualmente è stata elaborata una seconda edizione, il BOT-2, che ben si presta alla valutazione delle capacità motorie fini e grossolane dei bambini, a partire dai 4 anni fino all'età di 21 anni. In particolare, è utile per caratterizzare abilità come il controllo manuale fine, la coordinazione del corpo, la forza e l'agilità. Il BOT-2 viene utilizzato da diverse figure come terapisti occupazionali, fisioterapisti, insegnanti di educazione fisica adattata e ricercatori a supporto delle diagnosi di disabilità motoria, per lo screening di bambini che potrebbero avere disabilità motorie, per aiutare a prendere decisioni di posizionamento o di adeguamento del programma, e per valutare gli interventi motori. Il BOT-2 ha sia una versione completa che una versione breve; è composto da quattro aree motorie indagate. La prima è il controllo manuale fine, che comprende le abilità motorie che coinvolgono il controllo e la coordinazione della muscolatura distale delle mani e delle dita. La seconda è il coordinamento manuale, che comprende le abilità motorie che coinvolgono il controllo e il coordinamento delle braccia e delle mani, in particolare per la manipolazione di oggetti. La terza area è relativa alla coordinazione del corpo, che comprende il controllo e la coordinazione della muscolatura utilizzata per mantenere la postura e l'equilibrio. Infine, l'ultima area indagata riguarda la forza e l'agilità, comprende aspetti di fitness e

coordinamento coinvolti nel gioco occasionale, negli sport competitivi e nell'attività fisica (Bruininks e Bruininks, 2005, p. 61).

Il DCD compromette anche il sistema oculomotorio e, per comprendere meglio tale aspetto, è stato fatto un confronto tra la prestazione di soggetti con questa diagnosi e due gruppi di controllo sani, associati ai DCD per età cronologica (7-10 anni) e per capacità motoria (motor match group, MM). Le competenze motorie sono state valutate con l'M-ABC 2. I movimenti oculari sono stati rilevati usando l'eye tracker; inoltre, sono stati somministrati quattro task. Il compito di fissazione, che richiedeva di mantenere lo sguardo sul bersaglio al centro dello schermo finché non scompariva; il compito di inseguimento visivo, in cui il target si muoveva a diverse velocità. Il compito di prosaccade richiedeva di guardare il punto di fissazione centrale, per poi spostare gli occhi il più velocemente possibile verso il bersaglio, quando si spostava dal punto centrale dello schermo. Il compito antisaccade, con la stessa procedura del precedente ma con istruzioni differenti: ai bambini è stato chiesto di ignorare l'obiettivo quando si spostava dal centro dello schermo e guardare il più rapidamente possibile nella direzione opposta. I bambini con diagnosi DCD, rispetto ai controlli, presentavano difficoltà nel mantenimento della fissazione, compiendo saccadi intrusive, e deficit nel compito di inseguimento; inoltre, commettevano più errori anti-saccadici. I due gruppi con sviluppo tipico si sono comportati in modo simile, tranne che sull'inseguimento regolare ad alta velocità e nell'attività antisaccade, in cui il gruppo con pari età cronologica ha superato il gruppo MM più giovane. Tali risultati suggeriscono che i bambini con DCD abbiano problemi nell'inibizione saccadica e nel mantenere l'attenzione su un obiettivo visivo, eseguendo più saccadi intrusive. Queste difficoltà potrebbero essere dovute a deficit nel controllo esecutivo top-down, essendo i processi oculomotori di base intatti nei bambini DCD (Sumner et al., 2016).

Un'altra condizione atipica che colpisce il dominio sensorimotorio è il disturbo dello spettro autistico (ASD), una condizione eterogenea che si caratterizza per deficit sociali e comunicativi, oltre che per pattern di comportamento ripetitivo e stereotipato (American Psychiatric Association, 2013). Diversi studi hanno evidenziato la presenza di atipie nel dominio sensomotorio durante l'infanzia in soggetti con ASD (Brisson et al., 2012). Tali dati fanno pensare che l'ASD emerga non solo nel dominio sociale e comunicativo, ma potenzialmente anche in quello motorio, sensoriale e nei

processi di integrazione sensorimotoria (Wozniak et al., 2017). Perciò, le abilità sensorimotorie compromesse potrebbero essere considerate come sintomo di ASD (Sutera et al., 2007). Definire le abilità sensorimotorie che caratterizzano l'ASD è importante per definire il fenotipo ASD e gli interventi basati su tali abilità. Inoltre, è interessante approfondire la relazione tra i deficit sensorimotori e la gravità degli altri sintomi ASD. I dati ricavati da una metanalisi dimostrano la presenza dei deficit sensorimotori sia nelle abilità fino che grosso motorie, tale condizione peggiora con l'età ma pare non subiscano l'influenza della gravità degli altri sintomi tipici dell'ASD (Lloyd et al., 2013). Tra le ricerche considerate, alcune hanno rilevato abilità motorie ridotte nell'ASD, soprattutto in termini di goffaggine, coordinazione motoria, instabilità posturale e funzionamento motorio generale (Vilensky et al., 1981; Jones e Prior, 1985; Bauman, 1992; Kohen-Raz et al., 1992; Rogers et al., 1996; Rapin, 1997; Ghaziuddin e Butler, 1998; Molloy et al., 2003). Inoltre, altri deficit riscontrati nelle abilità motorie riguardano il controllo motorio e l'integrazione oculomotoria in soggetti ASD rispetto ai normotipici (Gallagher et al., 2019). L'interesse circa le abilità sensorimotorie nell'ASD è dovuto alla loro importanza nello sviluppo e nel mantenimento delle abilità sociali e comunicative, che sono compromesse in questi pazienti (Page e Boucher, 1998; Bhat et al., 2011). Infatti, una delle ipotesi fatte è che il deficit nelle abilità sensorimotorie dia luogo non solo a difficoltà nel dominio motorio, ma abbia un impatto negativo anche sul comportamento sociale, come la coordinazione del contatto visivo con i gesti e l'interpretazione del comportamento altrui (Hannant et al., 2016). Il movimento, infatti, rappresenta la primitiva forma di gioco nei bambini piccoli (Pellegrini e Smith, 1998), permette di essere fisicamente attivi e di saper interagire con i pari (Pellegrini and Smith, 1998; Ridgers et al., 2006; Sutera et al., 2007). Si potrebbe ipotizzare che le scarse abilità sociali dei soggetti ASD contrastino con lo sviluppo delle abilità motorie e viceversa, dando luogo a un circolo vizioso. Tale ipotesi è plausibile perché i deficit sociali di questi pazienti limitano il tempo che impiegano in attività sociali di gioco con i pari, occasioni durante le quali le abilità grosso motorie verrebbero scoperte (Dewey et al., 1988). Anche le abilità fino motorie sono compromesse in soggetti ASD, con un impatto sulle opportunità di apprendimento e sulle abilità di vita quotidiana (Jasmin et al., 2009). Tali risultati confermano il coinvolgimento e

l'importanza dei deficit motori in ASD, che non rappresentano solo un sintomo secondario provocato da deficit cognitivi (Ozonoff et al., 2008). È chiara, quindi, l'importanza di interventi precoci sulle difficoltà motorie, da considerare importanti quanto i deficit sociali, verbali e comportamentali di questa condizione neuroevolutiva atipica (Lloyd et al., 2013).

Un'altra condizione patologica in cui il dominio motorio è compromesso è la Sindrome di Down (SD). Tale condizione è nota anche come trisomia 21, è una condizione genetica causata da un errore nella divisione cellulare che si verifica al concepimento e si traduce in una copia aggiuntiva del cromosoma 21. Secondo l'Associazione Nazionale per la SD (2009), SD è il più comune disturbo cromosomico, con un'incidenza di 1 su 800 nati vivi. Basso tono muscolare e lassità legamentosa sono caratteristici degli individui con SD. Questi fattori influenzano la consapevolezza del controllo muscolare volontario del corpo nello spazio e la qualità del movimento. Rispetto ai loro coetanei, le persone con SD dimostrano ridotta forza muscolare e resistenza, che richiedono maggiori quantità di dispendio energetico durante la giornata. Maggiori costi energetici portano a una minore tolleranza all'attività fisica, predisponendo gli individui con SD a stili di vita sedentari, percentuali più elevate di grasso corporeo, diabete mellito, diminuzione della forma cardiovascolare, aumento rischio di osteoporosi e difficoltà nello svolgimento delle attività della vita quotidiana (Tsimaras e Fotiadou, 2004; Lewis e Fragala-Pinkham, 2005; Shields et al., 2008; Page et al., 2017).

1.5 L'impatto del gioco sul dominio sensorimotorio

La pratica con gli AVG comporta delle conseguenze significative sul dominio sensorimotorio precedentemente descritto, dando luogo a un miglioramento della prestazione. Infatti, considerando diversi compiti e diversi tipi di risposta motoria richiesta, come quella vocale, manuale o saccadica, si registrano minori tempi di reazione (Green et al., 2012; West et al., 2013; Heimler et al., 2014; Mack e Ilg, 2014; Zhang et al., 2015). Inoltre, confrontando i tempi di reazione di giocatori di AVG con quelli dei non giocatori, emerge che per i primi si riducono del 10%. Una possibile spiegazione è l'accelerazione del tempo tra il momento in cui viene presa una

decisione e l'esecuzione dell'atto motorio. Molti videogiochi enfatizzano l'esecuzione veloce dell'atto motorio, tale pratica, ripetuta in un contesto gratificante, potrebbe aumentare l'eccitabilità corticale e i processi plastici associati (Butefish et al., 2000; Nitsche et al., 2007). Infine, date le loro richieste di elaborazione, forse non sorprende che la pratica con gli AVG sia stata associata a cambiamenti neurali a tutti i livelli dell'elaborazione, da quelli sensoriali a quelli motori (Gong, He et al., 2016; Gong, Ma, et al., 2019). Ad esempio, è stata riscontrata una maggiore integrità della sostanza bianca nei giocatori di videogiochi rispetto ai non giocatori sia nei percorsi visivi che motori, con gli stessi risultati osservati sia negli adulti che nei bambini (Zhang et al., 2015; Gong, Ma, Gong, et al., 2017; Pujol et al., 2016). È importante sottolineare che questi cambiamenti specifici sono stati direttamente collegati ai cambiamenti nella velocità di elaborazione. Al di fuori dei primi percorsi sensomotori, i giocatori di AVG hanno dimostrato un maggiore coinvolgimento di altre aree associate alla coordinazione oculo-motoria e all'apprendimento rispetto ai non giocatori (Granek et al., 2010; Kuhn e Gallinat, 2014). I cambiamenti cerebrali visti come effetto del gioco, quindi, non si limitano alle aree percettive o motorie. In aggiunta, l'attività di gioco giornaliera determina un effetto sulla corteccia prefrontale (Moisala et al., 2017). Uno studio longitudinale ha evidenziato che due mesi di training con l'AVG "Super Mario 64", che richiede abilità di navigazione spaziale, determini cambiamenti a livello del cervelletto, dando luogo a fenomeni di plasticità cerebrale. Sappiamo che questa struttura è coinvolta nel controllo motorio e nell'apprendimento di nuove abilità motorie. È emerso che il trattamento con gli AVG abbia dato luogo a cambiamenti bilaterali a livello del lobulo IV, V e VI; in particolare, gli ultimi due corrispondono alla rappresentazione della mano. Questo dato è interessante, dato che l'aumento di volume della sostanza grigia nella parte sinistra del VI lobulo è associata alla destrezza manuale. Questo effetto di plasticità cerebrale sarebbe spiegato dall'uso dei bottoni della console di gioco, che darebbe come effetto una maggior precisione dei movimenti con mano e braccia (Kuhn et al., 2014).

Un altro aspetto da affrontare è il potenziamento delle abilità oculomotorie che deriva dalla pratica con gli AVG. Sappiamo che la regolazione efficace dei movimenti oculomotori si basa sull'interazione tra meccanismi di controllo motorio bottom-up e

top-down. Quando il bersaglio e il distrattore compaiono nel campo visivo, i segnali bottom-up prodotti da entrambi convergono sulla mappa motoria, localizzata al livello del collicolo superiore, dove competono reciprocamente per la saccade attraverso il meccanismo di inibizione. Per risolvere tale competizione, il sistema oculomotore utilizza sistemi top-down di inibizione dell'attivazione correlata con il distrattore. Dato che il contributo alla programmazione saccadica è più lento in caso di processi top-down rispetto a quelli bottom-up, è possibile osservare un determinato andamento temporale della programmazione saccadica. I cambiamenti in questo andamento temporale possono fornire una misura circa gli effetti degli AVG sul sistema di controllo oculomotorio. Per indagare se esiste una differenza nel controllo oculomotorio tra giocatori e non giocatori, è stato utilizzato un paradigma in cui i partecipanti facevano saccadi verso uno stimolo bersaglio mentre cercavano di ignorare un distrattore visualizzato contemporaneamente. Sono state misurate le deviazioni di traiettoria in direzione o in allontanamento dal distrattore per rilevare la presenza di eventuali differenze nel controllo saccadico tra i due gruppi. I risultati hanno mostrato effetti associati all'AVG, che modula l'interazione tra lo stimolo e i processi top-down, che determinano direttamente il controllo dei movimenti saccadici dell'occhio (West et al., 2011).

Una caratteristica tipica degli AVG è che richiedono di reagire molto velocemente ai nemici; perciò, la vittoria si basa essenzialmente sui tempi di reazione e sulla coordinazione mano-occhio (Green e Bavelier, 2004). In uno dei primi studi effettuati su tale argomento, è stata testata la differenza tra giocatori e non giocatori in un test di coordinazione mano-occhio. Utilizzando un'unità di inseguimento rotante (essenzialmente una bacchetta), i soggetti dovevano tracciare uno stimolo luminoso che si muoveva a varie velocità (da 1 a 50 giri/min) e con schemi diversi (circolare, quadrato e triangolare). I giocatori hanno superato di gran lunga i non giocatori in questo compito, in particolare alle alte velocità, dimostrando chiaramente di avere una coordinazione occhio-mano superiore (Griffith et al., 1983; Bavelier e Green, 2004). Un'altra evidenza circa la coordinazione mano-occhio è stata ottenuta testando 20 soggetti in un test sui tempi di reazione, la metà di loro ha eseguito il test prima e dopo 15 minuti di pratica con un AVG. In particolare, si trattava di un test composto da 20 trials, in cui il partecipante aveva il compito di schiacciare un bottone in

corrispondenza degli stimoli visivi, che in questo caso erano delle luci rosse, verdi, blu e bianche. Coloro che avevano fatto pratica con il videogioco dimostravano una riduzione dei tempi di reazione di circa 50 millisecondi rispetto all'altro gruppo (Orosy-Fildes e Allan, 1989; Bavelier e Green, 2004). Tali dati, quindi, dimostrano che l'esperienza e le caratteristiche dell'AVG, che richiede azioni veloci in tempi stretti, potenzia le abilità visive e motorie e la coordinazione mano-occhio (Powers et al., 2013).

Come abbiamo detto fino ad ora la pratica con gli AVG potenzia l'attenzione e il sistema sensorimotorio; in particolare, c'è una regione del nostro cervello coinvolta in entrambi questi domini. Stiamo parlando dell'insula, la quale è composta da due subregioni: il network attentivo anteriore (A-network) che comprende il giro frontale superiore, medio e inferiore, la giunzione temporo-parietale, la corteccia cingolata rostrale anteriore, il cuneo, il precuneo e la circonvoluzione temporale superiore; e il network sensomotorio posteriore (P-network) che coinvolge la corteccia sensomotoria, la corteccia motoria supplementare, il giro temporale superiore, il giro temporale medio, linguale e cerebellare. Infine, vi è una subregione che collega i due circuiti anteriore e posteriore dell'insula (Cauda et al., 2012). Sulla base di queste informazioni si è ipotizzato l'impatto della pratica con l'AVG sulla plasticità delle subregioni dell'insula e sul potenziamento dei loro collegamenti. Confrontando un gruppo di esperti giocatori da 6 anni con un gruppo di principianti, sono state considerate come misure: la connettività funzionale e il volume di sostanza grigia di dieci subregioni bilaterali, la connettività funzionale delle reti A e P e le correlazioni tra la connettività funzionale, il volume di sostanza grigia e la quantità media settimanale di tempo che i partecipanti hanno trascorso giocando. Nel gruppo degli esperti è emerso un incremento dell'integrazione funzionale tra le regioni anteriori e posteriori dell'insula, in particolare di quella sinistra; questo dato è coerente con il coinvolgimento dell'attenzione nelle funzioni sensomotorie. L'attenzione, infatti, è un meccanismo determinante in questo dominio; nell'AVG i giocatori possono completare circa 150 risposte sensorimotorie al minuto utilizzando la tastiera e il mouse, il che richiede la coordinazione tra i due sistemi. L'integrazione tra le due reti converge con l'ipotesi che gli AVG possano indurre plasticità neurale nell'insula. Il presente studio rivela un aumento del volume di sostanza grigia nella parte lunga del

giro sinistro dell'insula e del solco insulare centrale, e l'integrazione funzionale tra il network attentivo e sensorimotorio. Inoltre, l'esperienza con gli AVG è anche associata all'aumento del volume di sostanza grigia nello striato dorsale, nella corteccia parietale posteriore destra, nella corteccia entorinale, nell'ippocampo, nella corteccia occipitale, nella formazione dell'ippocampo destro e nella corteccia prefrontale dorsolaterale destra, nonché in entrambi gli emisferi del cervelletto. Evidenze neuroscientifiche convergenti suggeriscono che l'insula, in particolare il lato sinistro, sia sensibile a determinate attività di apprendimento. È molto probabile, quindi, che l'attivazione dell'insula sia migliorata a lungo termine dagli AVG, con effetti sul sistema attentivo e sensorimotorio (Gong, He, Liu et al., 2015).

Altre evidenze importanti circa l'impatto degli AVG sul sistema sensorimotorio riguardano le modifiche indotte a livello neurale nei circuiti motori cerebrali (Giboin et al., 2020). Sappiamo, infatti, che i movimenti rapidi e precisi della mano e delle dita negli esseri umani si basano principalmente sull'integrità delle vie corticospinali e, soprattutto, delle connessioni dirette tra la corteccia motoria primaria (M1) e i motoneuroni (Lemon, 2008; Isa et al., 2013). Quindi, ci si può aspettare che i giocatori abituali abbiano differenti caratteristiche corticospinali rispetto ai non giocatori (soggetti di controllo). Per rilevare tali differenze, la dimensione e il sito di una mappa motoria corticale, così come l'eccitabilità delle reti neuronali che costituiscono la mappa di un muscolo, sembrano essere un appropriato oggetto di indagine, poiché le proprietà delle mappe motorie corticali potrebbero essere correlate alla capacità di acquisire una nuova abilità (Monfils et al., 2005). Oltre alle differenze nelle mappe motorie tra giocatori e non giocatori, ci si potrebbe aspettare di trovare anche differenze nella modulazione dei circuiti di eccitazione e inibizione corticale. Sono state testate le prestazioni sensorimotorie durante la pratica con gli AVG e, utilizzando la stimolazione magnetica transcranica (TMS), sono state misurate la mappa motoria, le curve di input-output (IO) e di inibizione intracorticale corta (SICI) nel primo muscolo interosseo dorsale (FDI) dei giocatori e dei controlli. È emerso che i giocatori hanno una migliore prestazione rispetto ai non giocatori; inoltre, si registrano potenziali motori evocati maggiori, più ampia IO e SICI. È emerso, quindi, che i giocatori di AVG presentano una maggiore efficienza della rete corticale motoria inibitoria e neurale eccitatoria (Giboin et al., 2020).

Molti studi si sono focalizzati sul coinvolgimento degli AVG nel trattamento di bambini con sviluppo atipico. Le recenti ricerche si sono concentrate sul possibile uso della realtà virtuale come strumento per favorire lo sviluppo di abilità motorie (Pridmore et al., 2007). L'idea di utilizzare questo strumento deriva dal fatto che il gioco coinvolge il corpo, e la sua interazione con la console di gioco rispecchierebbe le caratteristiche di naturali attività motorie. Si tratta, infatti, di un ambiente interattivo che offre l'opportunità di manipolare oggetti e di apprendere in un ambiente controllato (Green e Wilson, 2012). Tra i principali strumenti di questo tipo c'è la Nintendo Wii, in particolare la Wii Fit. È una console dotata di sensori motori e di una barra di bilanciamento, che funge da input nell'ambiente virtuale con cui il giocatore interagisce. La barra contiene sensori che misurano i movimenti dell'utente, mappandoli nell'ambiente virtuale. Inoltre, usa le differenze nella forza e nei movimenti applicati per modificare la quantità di feedback visivo e audio forniti. Considerando queste caratteristiche, si è ipotizzato che la Wii Fit possa fungere da strumento per migliorare le abilità motorie e aumentare la partecipazione alle attività fisiche in bambini con disturbi motori. È stato effettuato, quindi, uno studio pilota con l'obiettivo di valutare se brevi sessioni di gioco di 10 minuti svolte a scuola (tre volte a settimana per un mese) potessero favorire miglioramenti motori in bambini con DCD. I partecipanti sono stati divisi in un gruppo sperimentale con la Wii Fit e un gruppo di controllo con il Jump Ahead, un programma di intervento motorio tradizionale fatto a scuola. Per ogni partecipante sono state misurate il controllo manuale fine, il coordinamento manuale, la coordinazione del corpo, la forza e l'agilità con il BOT-2, ottenendo un unico punteggio motorio composito. Dai risultati emerge che entrambi i gruppi hanno mostrato un miglioramento dei punteggi totali BOT-2, ma il dato è significativo solo nel gruppo sperimentale. Questi risultati suggeriscono che il trattamento con i giochi di equilibrio Wii Fit, svolto in sessioni brevi per il periodo di un mese, possa portare a guadagni nella competenza motoria, migliorando anche la percezione da parte del bambino delle proprie capacità motorie e il benessere emotivo. I guadagni più significativi sono stati visti nella competenza motoria grossolana; questo dato può essere prevedibile dato che i giochi puntano su capacità di equilibrio e coordinazione bilaterale, e meno nella precisione motoria fine e nell'integrazione oculomotoria. È incoraggiante, tuttavia, che i guadagni siano stati

visti anche in queste ultime abilità, anche se in misura minore. Questi risultati sono incoraggianti per l'uso di questo strumento nell'ambito terapeutico (Hammond et al., 2013). La stessa console di gioco è stata utilizzata per confrontare la performance motoria di bambini con sviluppo tipico, bambini DCD e bambini con problemi di equilibrio. In particolare, le abilità motorie sono state valutate utilizzando l'M-ABC 2, e tre subtest del BOT-2: coordinazione bilaterale, equilibrio e velocità nella corsa e agilità. È emerso che i partecipanti con problemi di equilibrio e quelli a rischio DCD hanno mostrato un miglioramento nel controllo dinamico del movimento e nell'equilibrio dopo il trattamento durato 6 settimane (Jelsma et al., 2014). È stato, inoltre, riscontrato un effetto positivo su abilità grosso motorie come prendere un oggetto, lanciarlo o saltare (Page et al., 2017).

Un'altra evidenza sperimentale a favore del futuro uso terapeutico dell'AVG con bambini con diagnosi di DCD è uno studio in cui è stato confrontato l'effetto del trattamento con la Wii Fit (eseguito per sei settimane, 30 minuti, 3 volte a settimana) con quello del Neuromotor Task Training (NTT, eseguito per 9 settimane, 45 minuti, 2 volte a settimana) in bambini di età compresa tra i 6 e 10 anni. L'NTT prevede lo svolgimento di attività di gioco fisico e di attività sportiva. Confrontando le abilità motorie dei partecipanti prima e dopo l'intervento, è emerso un miglioramento in entrambi i gruppi nel dominio del controllo motorio. Nonostante entrambi gli strumenti offrano opportunità di apprendimento implicito con basso carico cognitivo, con livelli crescenti di difficoltà, l'NTT si è rivelato migliore della Wii Fit. L'iniziale non familiarità con la Wii potrebbe aver dato luogo a un maggior carico cognitivo, ciò spiegherebbe perché non abbia dato risultati significativi rispetto all'NTT. In generale, in entrambi i gruppi si sono registrati miglioramenti nell'equilibrio: l'NTT ha migliorato le capacità aerobiche e anaerobiche, mentre la Wii ha avuto un impatto significativo solo su quelle anaerobiche. Questo può essere spiegato dal fatto che alcuni dei giochi selezionati prevedevano movimenti attivi ad ampio raggio del tronco, delle braccia e delle gambe, come marciare sul posto, calpestare o saltare ostacoli virtuali, o muovere il corpo ad alta velocità da sinistra a destra o indietro e avanti. Questi movimenti richiedono potenza esplosiva e, quindi, potrebbero aver contribuito allo sviluppo della capacità anaerobica. Tuttavia, poiché le manovre di gioco erano di breve durata e non praticate in modo coerente, non sono stati rilevati

miglioramenti sulla misura della prestazione aerobica. Sebbene l'intervento con la console Wii non abbia comportato un miglioramento significativo di tutte le capacità motorie, l'effetto sulle capacità anaerobica sostiene l'uso futuro di questo approccio. In generale quindi, saranno necessari ulteriori studi per definire i parametri di dosaggio più appropriati in termini di intensità, durata e frequenza di gioco, per la progettazione di programmi di intervento con la Wii Fit per bambini con DCD (Ferguson et al., 2013).

Un altro dato a favore dell'influenza positiva dell'AVG sul dominio motorio nella popolazione atipica deriva da uno studio che ha testato il trattamento con la console di gioco Wii in bambini con SD. In particolare, si trattava di bambini di 12 anni, che per 4 settimane hanno giocato a casa con la console di gioco, 4 volte a settimana per 20 minuti. L'effetto riscontrato è che la pratica ripetuta abbia determinato un miglioramento nella stabilità posturale, nell'equilibrio e nella coordinazione tra gli arti superiori (Berg et al., 2012).

Gli AVG, quindi, si presentano come possibili strumenti terapeutici per trattare pazienti con disabilità motorie come DCD, SD, ASD e paralisi cerebrale. Nonostante le evidenze riportate circa il ruolo dell'AVG nel potenziamento di deficit motori, la sua efficacia non si presenta sempre superiore ai trattamenti tradizionali. Bisognerebbe, quindi, sfruttare il potenziale di questo strumento, integrandolo con i programmi terapeutici più tradizionali (Hickman et al., 2017).

Sulla base delle evidenze riportate circa l'efficacia dell'AVG nel potenziamento di abilità cognitive e motorie, nel prossimo capitolo presentiamo il nostro lavoro di ricerca.

2. Gli effetti a breve termine del gioco sulle abilità oculo-motorie fini

In questo secondo capitolo verrà presentato il lavoro di ricerca svolto per indagare gli effetti a breve termine di un AVG sulle funzioni cognitive e motorie di bambini in età scolare. L'ipotesi di partenza è che la pratica con il videogioco d'azione, anche per periodi brevi di tempo, possa dare luogo a effetti temporanei, visibili in un miglioramento della prestazione nei compiti somministrati. In particolare, lo scopo del presente lavoro di tesi è di descrivere gli effetti sulle abilità sensorimotorie del bambino, testate con la somministrazione di prove che verranno di seguito descritte.

2.1 Metodo

2.1.1. Partecipanti

Il campione di soggetti che hanno partecipato a questo lavoro di ricerca è composto da bambini frequentanti il primo anno della scuola primaria, reclutati nelle scuole "Quattro Martiri", "Luigi Luzzatti", "Elena Cornaro" e "G. Ricci Curbastro" del comune di Padova. La partecipazione alla ricerca è avvenuta sulla base del consenso informato firmato dai genitori, informati circa gli obiettivi generali della ricerca. La ricerca si è svolta presso i locali delle quattro scuole, in cui hanno avuto luogo gli incontri sia di gioco che di somministrazione delle varie prove. Il campione è composto da 69 bambini, suddivisi in due gruppi in base al punteggio ottenuto al videogioco d'azione "Super Mario Kart" (come verrà descritto successivamente), divenendo quindi uno studio con disegno sperimentale *between subjects*. Il gruppo dei bravi giocatori (coloro che ottenevano un punteggio superiore alla mediana) è composto da 35 bambini e il gruppo dei cattivi giocatori da 34 bambini. Entrambi i gruppi non differiscono in maniera significativa per l'età ($t(67)=.328$, $p=.744$), infatti, il gruppo dei bravi giocatori è composto da bambini di età pari a 6.73 anni ($DS= 0.36$) e il gruppo dei cattivi giocatori di età pari a 6.69 anni ($DS=0.66$). Non ci sono, inoltre, differenze significative nella performance dei due gruppi ai test dei cubi ($t(67)=.298$, $p=.767$; Bravi giocatori: $M=10.91$; $DS=4.28$; Cattivi giocatori: $M=10.62$; $DS=3.97$) e delle somiglianze ($t(67)=1.166$, $p=.248$; Bravi giocatori: $M=12.71$; $DS= 4.13$; Cattivi giocatori: $M=11.41$; $DS= 5.11$) tratti dalla WISC-IV (Wechsler, 2003).

2.1.2 Procedura e materiali

Ogni bambino ha partecipato a tre incontri, a distanza di una settimana l'uno dall'altro. Un incontro era definito di baseline, in cui veniva svolta una valutazione neuropsicologica di diverse abilità cognitive, in assenza di una sessione di gioco, mentre negli altri due incontri in cui vi era una sessione di gioco e la relativa valutazione degli effetti a breve termine mediante la somministrazione di prove neuropsicologiche. L'ordine con cui i tre incontri venivano proposti ai bambini era randomizzato e controbilanciato. I due giochi proposti ai bambini erano: "Super Mario Kart" come videogioco d'azione giocato su Nintendo Switch Deluxe, e "Bust-a-Move" come videogioco non d'azione giocato su Nintendo DS.

Ogni incontro era suddiviso in due parti: durante i primi 30 minuti il bambino giocava ad uno dei due videogiochi oppure avveniva la somministrazione di prove cognitive e motorie che costituivano la valutazione neuropsicologica di baseline; durante gli altri 30 minuti avveniva la somministrazione di altre prove cognitive e motorie utili a valutare l'effetto a breve termine indotto dall'attività svolta in precedenza. I due momenti di ogni incontro venivano svolti da due sperimentatrici diverse: questo ha permesso di creare un disegno sperimentale in doppio cieco evitando così l'effetto di aspettativa sia nello sperimentatore che nel partecipante. Infatti, nonostante il bambino fosse consapevole del gioco a cui stava giocando, non era consapevole della differenza tra i due giochi e di conseguenza non era a conoscenza di quale dei due giochi fosse l'AVG e quale il NAVG.

Dopo questa introduzione al disegno di ricerca, ci focalizziamo adesso sulle prove di nostro interesse. Partiamo dai test relativi al QI della baseline: test dei cubi e delle somiglianze.

Il test dei cubi utilizzato nella ricerca è uno dei subtest presenti nella WISC-IV (Wechsler, 2003). È stato somministrato per testare l'abilità visuo-spaziale del bambino, a cui è richiesto di utilizzare i cubi per costruire dei modelli, cogliendo le relazioni spaziali tra le singole parti. Questo test è composto da 14 item, cioè modelli da copiare, ognuno a tempo misurato con il cronometro in secondi e millisecondi; il tempo concesso varia sulla base della difficoltà del modello da riprodurre. I cubi utilizzati per il test sono 9, ognuno con due lati rossi, due lati bianchi e due lati metà

rossi e metà bianchi. La somministrazione del test si fermava se il bambino effettuava tre prove invalide consecutive: nel momento in cui usufruiva di più tempo di quello previsto per l'item e/o se, pur stando nei tempi, copiava il modello in modo sbagliato (per esempio sbagliando la forma o il colore dei lati del modello). Prima di iniziare il test, era necessario assicurarsi che il bambino avesse chiare le istruzioni su come svolgerlo. Si iniziava con i primi due item, in cui il modello veniva costruito prima dalla sperimentatrice, che, lasciandolo davanti al bambino, gli chiedeva poi di riprodurlo usando i cubetti. Dal terzo item in poi il modello da riprodurre non era più quello realizzato dalla sperimentatrice, ma si trattava di un'immagine.

L'altro test preso dalla WISC-IV è il test delle somiglianze (Wechsler, 2003). Si tratta di un test che valuta la capacità di ragionamento verbale e la formazione dei concetti, coinvolgendo anche l'abilità di linguaggio, la conoscenza lessicale, la comprensione verbale uditiva e la capacità di distinguere tra caratteristiche essenziali e non essenziali degli item. Il test è composto da 23 coppie di item, iniziando da quelle più concrete, e procedendo poi verso item più astratti. La richiesta era di dire in cosa i due item presentati si somigliassero.

Durante l'incontro che andava a costituire la valutazione di baseline prevedeva anche la somministrazione di una prova motoria, chiamata Lancio del sacchetto della batteria ABC Movement (Henderson et al., 2007); il quale è un test che valuta le abilità di mira del bambino. In seguito a una dimostrazione data dalla sperimentatrice, al bambino veniva chiesto di lanciare un sacchetto con un movimento del braccio dal basso verso l'alto, all'interno di un bersaglio posizionato a una distanza di 1,80m. Dopo i primi 5 lanci di prova a disposizione del bambino, la prova vera e propria consisteva di un totale di 10 lanci da eseguire con la mano dominante e 10 lanci da eseguire con la mano non dominante. La sperimentatrice segnava il numero dei lanci validi e invalidi totalizzati dal bambino con ciascuna mano.

Il presente lavoro di tesi tratta gli effetti del AVG, per questo motivo ci concentreremo su quest'ultimo. Il videogioco "Super Mario Kart" consisteva nel guidare una macchina lungo una pista, con l'obiettivo di raccogliere il maggior numero di monetine incontrate nel percorso, superare gli ostacoli e procedere fino al traguardo, cercando di superare gli avversari. Si tratta, quindi, di un videogioco che stimola l'attenzione visuo-spaziale, richiedendo velocità durante la prestazione e una

elaborazione di stimoli multipli lungo il percorso. Il videogioco era suddiviso in diversi tornei. Non tutti i partecipanti hanno eseguito lo stesso numero di tornei in quanto vi era variabilità nel numero di partite giocate da ogni bambino. Per ogni partecipante è stato raccolto un punteggio, considerando il numero totale delle monete raccolte durante la sessione di gioco. Da questa variabile è stata calcolata la mediana dei punteggi e l'intero gruppo è stato suddiviso in due gruppi: i bravi giocatori erano coloro che avevano ottenuto un punteggio uguale o superiore alla mediana, i cattivi giocatori erano coloro che avevano ottenuto un punteggio inferiore alla mediana.

Come descritto in precedenza, subito dopo aver concluso la sessione di gioco, il bambino svolgeva una serie di compiti cognitivi.

La prima prova di nostro interesse è il compito del Salvadanaio facente parte della batteria ABC Movement (Henderson et al., 2007), che valuta le abilità fine motorie del bambino. Il compito del bambino è quello di inserire 12 monete nella fessura del salvadanaio, il più velocemente possibile e in maniera accurata. Il salvadanaio veniva posizionato perpendicolarmente rispetto al tavolo, con il lato corto rivolto verso il bambino e la fessura parallela rispetto al bordo del tavolo. Le monete venivano posizionate su quattro righe composte da tre monete ciascuna, lasciando 2,5 cm tra le righe e le colonne di monete. La prova viene svolta prima con la mano dominante e poi con quella non dominante, dopo aver chiesto al bambino con quale mano preferisse colorare. Prima di iniziare la prova vera si dava una dimostrazione pratica al bambino, sottolineando che il salvadanaio doveva restare fermo e le monete dovevano essere inserite una per volta, che era possibile usare solo la mano stabilita durante ciascuna prova e che bisognava lavorare il più velocemente possibile. Il bambino poteva esercitarsi con entrambe le mani inserendo sei monete. La pratica con ogni mano doveva precedere la prova formale con quella mano. Prima di cominciare la prova formale, la mano non-valutata doveva essere posizionata sul salvadanaio, la mano valutata, invece, era posizionata sul tavolo (senza toccare le monete). La prova formale veniva cronometrata prendendo nota dei tempi impiegati per inserire 6 monete (tempo parziale) e 12 monete (tempo totale). Il cronometro veniva fermato quando l'ultima moneta toccava il fondo del salvadanaio. Si considerava errore quando il bambino prendeva o inseriva più di una moneta per

volta, se cambiava mano o le usava entrambe durante la prova, o se faceva cadere una moneta a terra o al di fuori del salvadanaio. In nessun caso la prova veniva annullata.

3. Risultati

3.1 Il video gioco d'azione e le abilità motorie

Per valutare se vi fosse una differenza nell'abilità motoria di mira tra il gruppo dei bravi e giocatori e quello dei cattivi giocatori, misurata durante la valutazione di baseline e quindi a prescindere dall'attività svolta con il videogioco d'azione, sono stati condotti due T-test separatamente per le due mani. Solamente l'analisi condotta sulla mano non dominante ha evidenziato una differenza statisticamente significativa tra i due gruppi ($t(67)= 2.154$; $p=0.035$). Nello specifico, è emerso che chi risulta bravo giocatore ha una prestazione migliore ($M=6.94$, $DS=2.57$) rispetto a chi risulta cattivo giocatore ($M=5.5$, e $DS=2.99$; *Figura 1*).

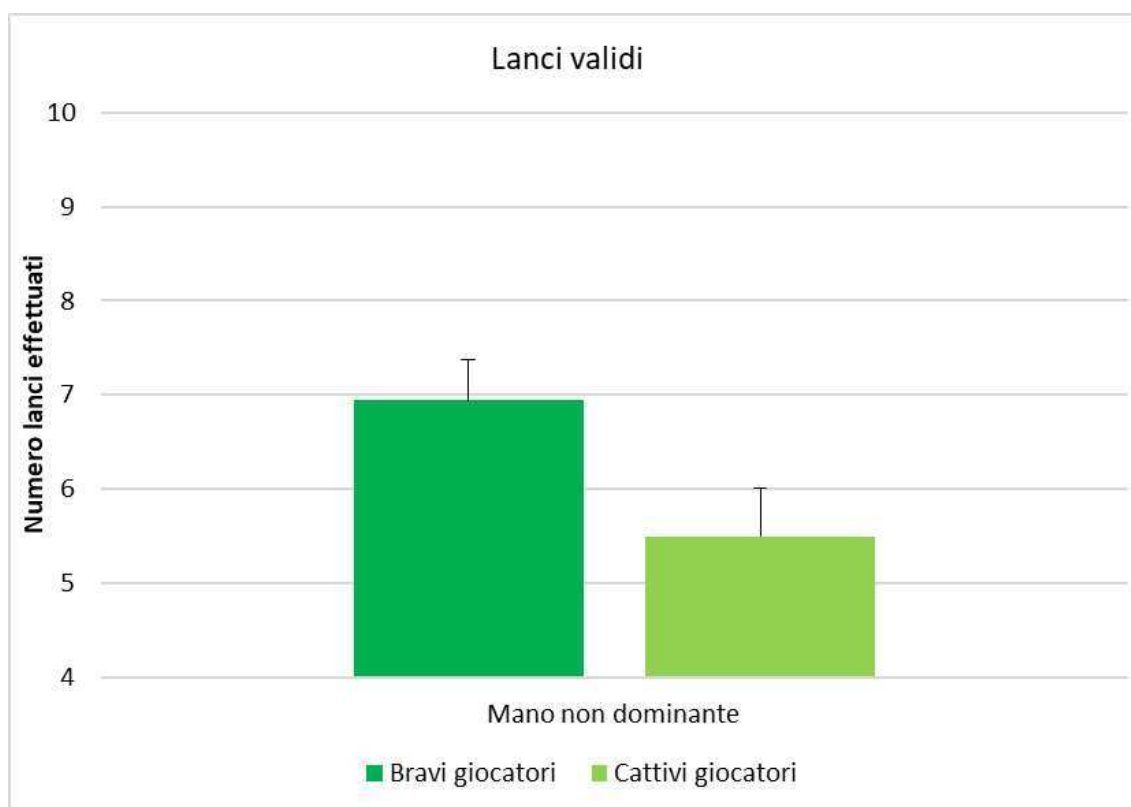


Figura 1. Il grafico mostra le medie dei lanci validi nei futuri bravi e cattivi giocatori con la mano non dominante. La barra degli errori rappresenta l'errore standard medio.

3.2 L'effetto del videogioco d'azione sulle abilità oculo-motorie fini

Per valutare l'effetto a breve termine del videogioco sulle abilità motorie fini esaminate mediante il compito del salvadanaio, è stata condotta una analisi della

varianza (ANOVA) con un disegno 2x2x2, in cui i fattori entro i soggetti erano la condizione sperimentale (baseline vs. post AVG) e la mano utilizzata (dominante vs. non dominante); mentre il fattore tra i soggetti era il gruppo (bravi vs. cattivi giocatori). La variabile considerata erano i tempi di esecuzione. Dai risultati emerge che l'effetto principale della condizione sperimentale è significativo ($F(1,67)=4.37$; $p=0.04$), così come l'effetto principale della mano utilizzata ($F(1,67)=58.56$; $p<0.001$). È emersa inoltre un'interazione significativa tra la condizione sperimentale e la mano utilizzata ($F(1,67)=7.69$; $p=0.007$). Da una successiva analisi compiuta sui confronti a coppie, emerge che la prestazione risulta migliore dopo l'AVG ($M=23.98$, $DS=0.43$) rispetto alla condizione di baseline ($M=25.08$, $DS=0.68$; *Figura 2*). Inoltre, da una successiva analisi compiuta sui confronti a coppie, emerge che la prestazione della mano dominante risulta migliore dopo l'AVG ($M=21.79$, $DS=0.41$) rispetto alla condizione di baseline ($M=24$, $DS=0.70$; *Figura 3*). Questo risultato indica che, dopo la pratica con il video gioco d'azione, vi sia un potenziamento della dominanza manuale, dando luogo a un vantaggio di circa 2 secondi nel tempo di esecuzione con la mano dominante.

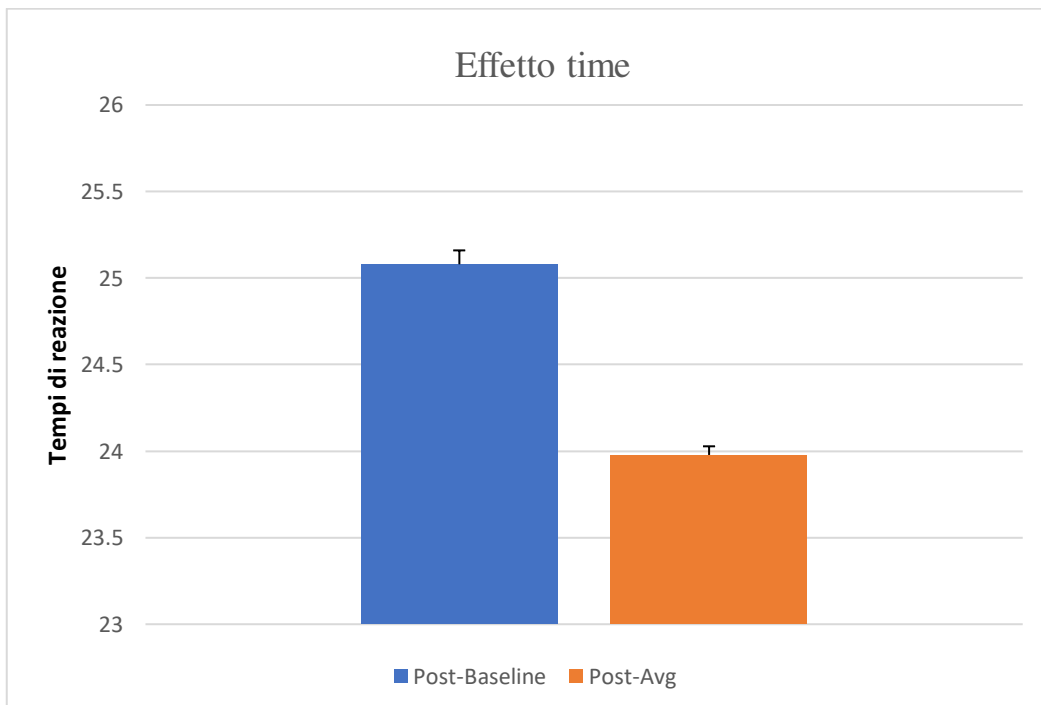


Figura 2. Effetto sul tempo di esecuzione del compito del salvadanaio nella condizione baseline e in quella post-videogioco d'azione. La barra degli errori rappresenta l'errore standard medio.

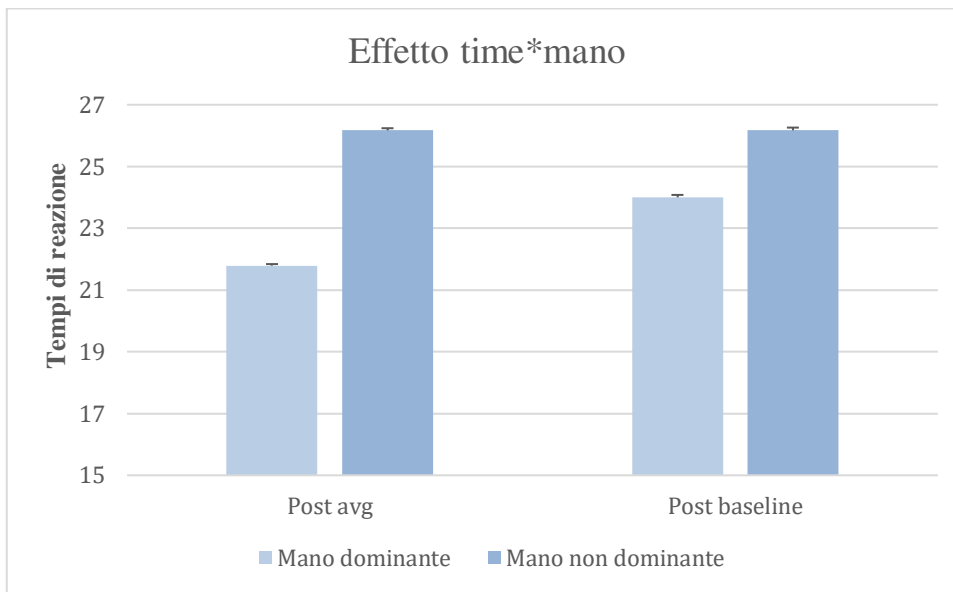


Figura 3. Effetto del tempo di esecuzione del compito del salvadanaio nelle due condizioni sperimentali con la mano dominante e con quella non dominante. La barra degli errori rappresenta l'errore standard medio.

3.3 Discussione e conclusioni

La nostra ricerca ha indagato l'effetto del videogioco d'azione "Super Mario Kart" sulle abilità motorie di bambini frequentanti il primo anno della scuola primaria. Dai dati emerge che dopo aver giocato a questo videogioco i bambini sono più rapidi a eseguire il compito del salvadanaio. Questo dato conferma l'ipotesi che un breve trattamento di 30 minuti con un AVG può dar luogo a degli effetti a breve termine sul piano comportamentale. La spiegazione di questo risultato va ricercata nelle caratteristiche dello strumento utilizzato e nei circuiti cerebrali che avrebbero risentito positivamente del suo effetto. L'AVG si potrebbe definire come una sorta di ambiente arricchito ideale, la cui principale caratteristica è il carico cognitivo adattato. Il giocatore, infatti, deve rapidamente fare delle scelte, valutando piani d'azione alternativi e fronteggiando diversi imprevisti. È chiaro che la pratica con questo tipo di videogiochi possa avere un impatto prima a livello dei circuiti neurali, strutture cerebrali e sistemi dominio generali, per poi dar luogo a un effetto specifico nella prestazione comportamentale del bambino. Inoltre, la pratica con l'AVG potrebbe aver avuto un effetto su strutture cerebrali direttamente coinvolte nella

prestazione motoria. L'ipotesi più plausibile per spiegarci questi effetti è l'impatto dell'AVG su sistemi di controllo automatico dell'attenzione e del movimento. Parliamo, infatti, del salience network (SN), un sistema composto dall'insula anteriore (AI) e dalla corteccia cingolata anteriore (ACC). L'SN si attiva in risposta a stimoli salienti interni ed esterni, di natura cognitiva, omeostatica o emotiva, portando così ad una risposta comportamentale. Questo sistema va ad aggiungersi ad altri due presenti nel nostro cervello: il centro esecutivo centrale (CEN) e il sistema di default (DMN). Il CEN comprende la DCLPF e la corteccia parietale posteriore (PPC), ed è coinvolto nell'esecuzione di compiti cognitivi, che coinvolgono l'attenzione e la working memory (WM), per esempio il decision making (Fox et al., 2006). Il DMN, invece, include la corteccia parietale posteriore (BA 7, 39, 40), la corteccia cingolata posteriore e la corteccia prefrontale ventromediale. È attivo quando il nostro cervello non sta svolgendo nessuna attività cognitiva che richieda attenzione focalizzata (Buckner et al., 2008). È chiaro, quindi, che questi due sistemi siano in competizione, infatti, l'attivazione di uno corrisponde con la deattivazione dell'altro. L'SN avrebbe un ruolo in questa dinamica, infatti, l'AI, una volta rilevato lo stimolo saliente, lo amplifica e ne facilita l'elaborazione. In questo modo, l'informazione relativa allo stimolo ascende fino alla corteccia sensoriale primaria e secondaria, coinvolgendo l'attenzione e la WM, attivando così il CEN e deattivando il DMN. Successivamente l'ACC modula la risposta allo stimolo rilevante a livello della corteccia sensoriale, associativa e motoria. Infatti, l'ACC e la corteccia prefrontale dorsomediale sono dotate di connessioni con il midollo spinale e altre aree oculo-motorie sottocorticali, esercitando quindi un controllo motorio (Fires, 1984). Da questi dati emerge che l'SN e in particolare l'AI, eserciti un ruolo nel controllo cognitivo e comportamentale bottom-up, attivando a cascata un controllo centrale top-down (Menon e Uddin, 2010). La pratica con l'AVG potenzierebbe l'integrazione funzionale tra l'SN e il CEN. Infatti, in uno studio è stato riscontrato che nei giocatori di AVG vi sia una maggiore connettività funzionale (FC) tra i due sistemi, sia a livello globale che nodale. Inoltre, è stato rilevato un incremento in FC tra la DCLPF (correlata con l'attenzione e la working memory) e l'SN, e tale attivazione sarebbe correlata con il sistema sensorimotorio (Gong et al., 2016). Un altro sistema bottom-up che potrebbe presentare l'effetto dell'AVG è il sistema

dell'attenzione *stimulus driven* localizzato nel circuito ventrale fronto-parietale, che include la giunzione temporo-parietale (TPJ) e la corteccia frontale ventrale (VFC), lateralizzato a destra. Questo sistema bottom-up viene attivato dalla comparsa sulla scena di stimoli rilevanti dal punto di vista comportamentale, ma inaspettati. Si riscontra, infatti, una maggiore attivazione in risposta a stimoli presenti in una posizione imprevista e con bassa frequenza, comportando un riorientamento dell'attenzione. L'attivazione di questo sistema potrebbe essere stimolata dalla pratica con l'AVG, infatti, abbiamo detto che si presenta come una realtà virtuale in cui il giocatore deve gestire eventi improvvisi e imprevedibili. Parliamo, quindi, di stimoli rilevanti dal punto di vista comportamentale, che però richiedono di rielaborare spazialmente l'ambiente. Si potrebbe, inoltre, ipotizzare che il circuito ventrale-parietale lavori di concerto con il sistema di controllo top-down localizzato a livello della DCLPF. Una possibilità è che la rete ventrale serva da sistema di allerta che rileva gli stimoli comportamentali rilevanti nell'ambiente, ma non è dotato di sensori spaziali ad alta risoluzione. Quindi, una volta rilevato lo stimolo saliente, la sua precisa localizzazione dipende dal sistema dorsale. Un'ipotesi correlata è che il sistema TPJ – VFC agisca come un circuito di interruzione dell'attività cognitiva in corso quando viene rilevato uno stimolo nuovo. Quindi, il sistema *stimulus driven* agirebbe come un sistema di avviso per il circuito dorsale, grazie all'interazione tra TPJ e il solco intraparietale (IPS) del sistema dorsale (Corbetta e Shulman, 2002). In questo modo si può ipotizzare che la pratica con l'AVG abbia dato luogo a un effetto sul circuito ventrale fronto parietale *stimulus driven* bottom-up, e poi, di conseguenza, sul circuito dorsale top-down, che include IPS, il lobulo parietale superiore e il campo visivo bilaterale. Inoltre, parte del segnale del sistema ventrale potrebbe dipendere dalla proiezione noradrenergica a livello del *locus coeruleus*, coinvolto nel sistema attentivo di allerta. Nell'uomo vi è una maggiore concentrazione a livello del talamo destro, spiegando la lateralizzazione destra del circuito ventrale. Il *locus coeruleus* noradrenergico è attivato dalla comparsa di stimoli salienti, ma inaspettati. Questo dato è congruente con l'ipotesi descritta prima circa l'interazione tra TPJ–VFC e sistema dorsale (Petersen e Posner, 2012). Il risultato di questo effetto sarebbe un miglioramento della percezione dello spazio e degli stimoli presenti. Avendo riscontrato un effetto sulla prestazione del

salvadanaio, che richiede una coordinazione mano-occhi e una pianificazione precisa del movimento della mano, il trattamento a breve termine potrebbe aver avuto un impatto anche sul cervelletto. Si tratta di una struttura coinvolta nella prestazione motoria, responsabile dell'equilibrio, dell'apprendimento e del controllo motorio. Inoltre, è una struttura importante per le abilità fino-motorie di nostro interesse. Ci sono diverse evidenze che suggeriscono un effetto degli AVG sul cervelletto nella performance motoria. Infatti, è stato dimostrato che in soggetti con una lunga storia di pratica con l'AVG vi sia un migliore prestazione in compiti che richiedono una risposta motoria con la mano. In particolare, è stata testata la performance in un compito richiedeva di indicare sullo schermo il target, in cui poteva esserci la condizione standard (in cui *cue* e target erano nella stessa posizione) o condizione non standard. In particolare, è emerso che la pratica con l'AVG dia luogo a livello cerebrale a una minore attività cerebrale preparatoria misurata con il segnale BOLD. Questo vuol dire che prima di eseguire un movimento con gli arti, a livello cerebrale vi è una minore attivazione, rilevata nella corteccia occipitale e nel cervelletto. Infatti, durante il periodo preparatorio dell'azione vi è una correlazione negativa tra il tempo speso a giocare e l'ampiezza del segnale BOLD. Questo dato ci dice che maggior tempo speso a giocare è correlato con risposte motorie visivamente guidate più veloci in compiti visuomotori. Questi risultati sono relativi all'attivazione del cuneo sinistro, del giro occipitale medio sinistro e del lobulo posteriore dell'emisfero destro del cervelletto. In particolare, questa condizione si riscontra nell'esecuzione di movimenti motori in cui la posizione tra il target visivo e il movimento della mano sono spazialmente dissociati (Gorbet e Sergio, 2018). Un altro dato a favore dell'impatto dell'AVG sul cervelletto riguarda un incremento della sostanza grigia del cervelletto, che migliora la performance sensorimotoria. Infatti, si osserva che nella popolazione più anziana, il decremento di sostanza grigia in questa struttura, determini un peggioramento nel dominio sensomotorio e nell'equilibrio. La pratica con l'AVG potrebbe anche avere un effetto sull'ippocampo, struttura coinvolta nella navigazione spaziale e nell'elaborazione di mappe spaziali. Infatti, si è riscontrato in uno studio un incremento di sostanza grigia nella parte destra dell'ippocampo (West et al., 2017). La pratica con l'AVG può, inoltre, dar luogo a un effetto sul *when pathway*, localizzato a livello del lobo parietale inferiore destro. A livello anatomico,

questo sistema parte dalla corteccia visiva primaria (V1), la struttura chiave è la TPJ insieme al lobo parietale inferiore (IPL). Si tratta di un circuito responsabile della percezione temporale dell'ordine degli eventi-stimolo, ed è un sistema bilaterale (Batteli et al., 2007). Parliamo, quindi, di un sistema di attenzione temporale, che ovviamente la dinamica veloce dell'AVG può stimolare. Il potenziamento di questo sistema attentivo può avere un effetto positivo anche sulla performance motoria e sulla coordinazione dei movimenti. Nonostante le ipotesi soprariportate circa l'effetto di una breve sessione di AVG su sistemi di controllo automatico dell'attenzione e del movimento, alcuni studi ipotizzano anche un effetto più diretto a livello delle strutture del CEN. Infatti, ci sono diverse evidenze circa l'impatto esercitato dai videogiochi d'azione sulla corteccia prefrontale dorsolaterale (DLPFC). La DLPFC è una struttura cerebrale coinvolta nel controllo esecutivo, nella flessibilità cognitiva, nel controllo attentivo e nella pianificazione. È infatti interconnessa con altre strutture della corteccia prefrontale, ed è alla base della rappresentazione di informazioni relative a oggetti, informazioni spaziali e strategie d'azione (Miller e Cohen, 2001). È una struttura chiave per l'integrazione delle informazioni sensoriali con le intenzioni comportamentali (azioni) del soggetto, facilitando l'azione attraverso il controllo cognitivo sul comportamento motorio (Cieslik et al., 2013). Tale controllo cognitivo è potenziato nella dinamica dell'AVG, essendo importante per avere successo. Alcuni studi hanno riscontrato un incremento di sostanza grigia nella DLPFC destra che, in particolare, integra le informazioni provenienti da diverse parti del monitor. L'incremento di sostanza grigia nella DLPFC sinistra, invece, è stato associato a un miglioramento dei tempi di gioco (Basak et al., 2011). Inoltre, come abbiamo già detto, l'AVG comporta un carico cognitivo tale da dar luogo a un potenziamento della memoria di lavoro visuo-spaziale (Kozhevnikov et al., 2009), migliorando le prestazioni in compiti di attenzione visuo-spaziale ed esecutiva. Il potenziamento di capacità dominio-generalì, come nel caso delle abilità attentive, potrebbe tradursi in una maggiore rapidità di esecuzione della prestazione motoria.

Sulla base di queste evidenze possiamo, quindi, spiegarci l'effetto che si trova nei dati di questa tesi, in cui i giocatori dimostrano di essere più abili nella programmazione ed esecuzione del movimento di inserimento delle monete. Come

abbiamo detto, l'ipotesi più plausibile è l'effetto sui sistemi veloci di controllo attentivo e motorio, ma non possiamo escludere anche un effetto a livello centrale top-down. L'AVG richiede, inoltre, coordinazione tra il movimento della mano e degli occhi sotto pressione temporale per avere successo, stimolando quindi l'integrazione visuo-motoria (Spence e Feng, 2010). Tutto questo porta a un vantaggio nell'esecuzione del compito del salvadanaio, basato sulle abilità motorie fini. Andando più nello specifico, il miglioramento osservato nei dati qui presentati erano a vantaggio della mano dominante, è quindi possibile che il potenziamento del sistema dominio generale dell'attenzione visuo-spaziale e della coordinazione mano-occhi si traduca, a sua volta, in un potenziamento dell'effetto dominanza. Il dato relativo alle abilità motorie di mira ci dice, invece, che chi è bravo a videogiocare ad un videogioco d'azione esegue più canestri con la mano non dominante quando non ha precedentemente videogiocato. In questo caso, sarebbe l'abilità motoria valutata in baseline a predire il successo nel videogioco d'azione.

In conclusione, i risultati ottenuti nella presente ricerca indicherebbero che una sessione breve di trattamento con un AVG possa potenziare le abilità fino motorie a prescindere dall'appartenenza del soggetto al gruppo dei bravi o dei cattivi giocatori. Questo significa che la sola esposizione al videogioco sia sufficiente a dare tali effetti, indipendentemente da quanto sia bravo il giocatore. Infine, essendo il dominio sensorimotorio un ambito ancora poco indagato, saranno sicuramente necessari ulteriori studi per testare l'efficacia dell'AVG, sia nella popolazione a sviluppo tipico che atipico. In particolare, saranno necessari nuovi studi per definire meglio i meccanismi neurali su cui il videogioco agisce nel dominio motorio. In questo modo, si forniranno, anche, informazioni più precise circa il tipo di AVG da usare e la durata del trattamento con pazienti con disturbi motori (Hickman et al., 2017).

4. Bibliografia

Allport, D. A., Styles, E. A., & Hsieh, S. (1994). "Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks," in Umiltà, C., & Moscovitch, C. (Eds.), *Attention and Performance XV: Conscious and Nonconscious Information Processing* (pp. 421-452) MIT press, Bradford Books

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)* <http://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>

Balasubramaniam, R., & Wing, A.M. (2002). The dynamics of standing balance. *Trends in cognitive science*, 6(12), 531-536. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(02\)02021-1](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(02)02021-1)

Bao, S., Chan, V., & Merzenich, M. (2001). Cortical remodelling induced by activity of ventral tegmental dopamine neurons. *Nature*, 412(6842), 79–83. <https://doi.org/10.1038/35083586>

Barnhart, R.C., Davenport, M.J., Epps, S.B., & Nordquist, V.M. (2003). Developmental coordination disorder. *Physical Therapy*, 83(8), 722–731. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.722>

Basak, C., Voss, M.W., Erickson, K.I., Boot, W.R., & Kramer, A.F. (2011). Regional differences in brain volume predict the acquisition of skill in a complex real-time strategy videogame. *Brain and Cognition*, 76(3), 407–414. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.03.017>

Battelli, L., Pascual-Leone, A., & Cavanagh, P. (2007). The ‘when’ pathway of the right parietal lobe. *Trends in cognitive science*, 11(5), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.03.001>

Bauman, M. L. (1992). "Motor dysfunction in autism" in Joseph, A. B., and Young, R.R. (Eds.), *Movement disorders in neurology and psychiatry* (pp. 660–663) Blackwell Scientific Publications

- Bavelier, D., & Green, C.S. (2004). Effects of video game playing on visual functions. *Journal of Vision*, 4(11), 23. <https://doi.org/10.1167/4.11.23>
- Bavelier, D., & Green, S. (2019). Enhancing Attentional Control: Lessons from Action Video Games. *Neuron*, 104(1), 147-163. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.031>
- Bavelier, D., Green, C.S., Pouget, A., & Schrater, P. (2012). Brain plasticity through the life span: learning to learn and action video games. *Annual Review of Neuroscience*, 35, 391-416. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-060909-152832>
- Bekoff M. (2001). Social play behaviour: cooperation, fairness, trust, and the evolution of morality. *Journal of Consciousness Studies*, 8(2), 81–90
- Bekoff M., & Byers, J. A. (1981). “A critical re-analysis of the ontogeny and phylogeny of mammalian social and locomotor play: an ethological hornet’s nest” in Immelmann, K., Barlow, G.W., Petrinovich, L., & Main, M. (Eds.), *Behavioral Development: The Bielefeld Interdisciplinary Project*, (pp. 296-337) Cambridge University Press
- Bekoff, M., & Pierce J. (2009). *Wild Justice: The Moral Lives of Animals*. University of Chicago Press
- Berg, P., Becker, T., Martian, A., Primrose, K.D., & Wingen, J. (2012). Motor Control Outcomes Following Nintendo Wii Use by a Child With Down Syndrome. *Pediatric Physical Therapy*, 24(1), 78–84. <http://doi.org/10.1097/PEP.0b013e31823e05e6>
- Bhat, A. N., Landa, R. J., & Galloway, J. C. (2011). Current perspectives on motor functioning in infants, children, and adults with autism spectrum disorders. *Physical therapy*, 91(7), 1116-112. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100294>
- Bizzi, E., Tresch, M.C., Saltiel, P., & D’Avella, A. (2000). New perspectives on spinal motor systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(2), 101-89. <https://doi.org/10.1038/35039000>

- Botvinick, M. M. (2012). Hierarchical reinforcement learning and decision making. *Current Opinion in Neurobiology*, 22(6), 956-962. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2012.05.008>
- Brisson, J., Warreyn, P., Serres, J., Foussier, S., & Adrien-Louis, J. (2012). Motor anticipation failure in infants with autism: a retrospective analysis of feeding situations. *Autism*, 16 (4), 420-429. <http://doi:10.1177/1362361311423385>
- Bruininks, R. (1978). *Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency: Examiner's Manual*. American Guidance Service
- Bruininks, R., & Bruininks, B. (2005). *Bruininks-Oseretsky test of motor proficiency (2nd ed.)*. Pearson, Assessments
- Buckner, R.L., Andrews-Hanna, J.R., & Schacter, D.L. (2008). The brain's default network: anatomy, function, and relevance to disease. *Annals of the new York Academy of Sciences*, 1124(1), 1-38. <https://doi.org/10.1196/annals.1440.011>
- Burghardt, G. M. (2001). Play: attributes and neural substrates. *Handbook of Behavioral Neurobiology*, 13, 327-366
- Burghardt, G. M. (2005). *The Genesis of Animal Play: Testing the Limits*. MIT Press.
- Burghardt, G. M. (2010). "Defining and recognizing play" in Pellegrini, A.D. (Eds.), *Oxford Handbook of the Development of Play* (pp. 9-18). Oxford University Press
- Butefish, C.M., Davis, B.C., Wise, S.P., Sawaki, L., Kopylev, L., Classen, J., & Cohen, L.G. (2000). Mechanisms of use-dependent plasticity in the human motor cortex. *Proceedings of the national academy of sciences*, 97(7), 3661-3665. <https://doi.org/10.1073/pnas.97.7.3661>
- Byers J. A., & Walker C. B. (1995). Refining the motor training hypothesis for the evolution of play. *The American Naturalist*, 146(1), 25– 40. <https://doi.org/10.1086/285785>

Castel, A. D., Pratt, J., & Drummond, E. (2005). The effects of action video game experience on the time course of inhibition of return and the efficiency of visual search. *Acta Psychologica*, *119*(2), 217–230. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2005.02.004>

Cauda, F., Costa, T., Torta, D.M.E., Sacco, K., D'Agata, F., Duca, S., Geminiani, G., Fox, P.T., and Vercelli, A. (2012). Meta-analytic clustering of the insular cortex: characterizing the meta-analytic connectivity of the insula when involved in active tasks. *NeuroImage* *62*, 343–355 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.012>

Cieslik, E.C., Zilles K., Caspers S., Roski, C., Kellermann, T.S., Jakobs, O., Langner, R., Laird, A.R., Fox, P.T., & Eickhoff, S.B. (2013). Is there 'one' DLPFC in cognitive action control? Evidence for heterogeneity from co-activationbased parcellation. *Cerebral Cortex*, *23*(11), 2677–2689. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs256>

Colzato, L.S., van Leeuwen, P.J.A., van den Wildenberg, W.P.M., & Homme, B. (2010). DOOM'd to switch: superior cognitive flexibility in players of first person shooter games. *Frontiers in psychology*, 1-8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00008>

Corbetta, M., & Shulman, G. (2012). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Review Neuroscience*, *3*(3), 201-215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>

Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. Harper

Dapporto L., Turillazzi S., & Palagi E. (2006). Dominance interactions in young adult paper wasp (*Polistes dominulus*) foundresses: a playlike behavior? *Journal of Comparative Psychology* *120*(4), 394 – 400

Dewey, D., Lord, C., & Magill, L. (1988). Qualitative assessment of the effect of play materials in dyadic peer interactions of children with autism. *Canadian Journal of Psychology*, *42*(2), 242–260. <https://doi.org/10.1037/h0084183>

Diamond, A. (2013). Executive function. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135-168.
<http://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Entertainment Software Association (2019) <https://www.theesa.com/wp-content/uploads/2019/05/2019-Essential-Facts-About-the-Computer-and-Video-Game-Industry.pdf>

Fagen R. M. (1981). *Animal Play Behavior*. Oxford University Press

Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the Efficiency and Independence of Attentional Networks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(3), 340-347. <https://doi.org/10.1162/089892902317361886>

Ferguson, G.D., Jelsma, D., Jelsma, J., & Smits-Engelsman, B.C.M. (2013). The efficacy of two task-orientated interventions for children with Developmental Coordination Disorder: Neuromotor Task Training and Nintendo Wii Fit training. *Research in Developmental Disabilities*, *34*(9), 2449–2461.
<https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.05.007>

Filsecker, M., & Hickey, D. T. (2014). A multilevel analysis of the effects of external rewards on elementary students' motivation, engagement and learning in an educational game. *Computers & Education*, *75*, 136-158

Föcker, J., Mortazavi, M., Khoe, W., Hillyard, S.A., & Bavelier, D., (2019). Neural Correlates of Enhanced Visual Attentional Control in Action Video Game Players: An Event-Related Potential Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *31*(3), 377–389

Fox, M.D., Corbetta, M., Snyder, A.Z., Vincent, J.L., & Raichle, M.E. (2006). Spontaneous neuronal activity distinguishes human dorsal and ventral attention systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(26), 10046-10051.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0604187103>

Franceschini, S., Bertoni, S., Lulli, M., Pievani, T., & Facoetti, A. (2022). Short Term Effects of Video Games on Cognitive Enhancement: the Role of Positive Emotions.

Journal of Cognitive Enhancement, 6(1), 29-46. <https://doi.org/10.1007/s41465-021-00220-9>

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Simona, V., Massimo, M., & Facoetti, A. (2013). Action video games make dyslexic children read better. *Current biology*, 23(6), 462-466. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.01.044>

Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., Facoetti, A., & Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific reports*, 7(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>

Fries W. (1984) Cortical projections to the superior colliculus in the macaque monkey: a retrograde study using horseradish peroxidase. *Journal of Comparative Neurology*, 230(1), 55–76. <https://doi.org/10.1002/cne.902300106>

Gallagher, A., Dalla Bella, S., Brambati, S.M., & Hyde, K. (2019). Sensorimotor skills in autism spectrum disorders: a meta-analysis. *Research in Autism Spectrum Disorder*, 76, 101570. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2020.101570>

Gamble J. R., & Cristol D. A. (2002). Drop-catch behaviour is play in herring gulls, *Larus argentatus*. *Animal Behaviour*, 63(2), 339–345

Ghaziuddin, M., & Butler, E. (1998). Clumsiness in autism and Asperger syndrome: a further report. *Journal of Intellectual Disabilities Research*, 42(1), 43–48

Giboin, L.-S., Tokuno, C., Kramer, A., Henry, M., & Gruber, M. (2020). Motor learning induces time dependent plasticity that is observable at the spinal cord level. *The Journal of Psychology*, 598(10), 1943-1963

Giboin, L.-S., Reunis, T., & Gruber, M. (2020). Corticospinal properties are associated with sensorimotor performance in action video game players. *NeuroImage*, 226, 117576. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117576>

- Gong, D., He, H., Liu, D., Ma, W., Dong, L., Luo, C., & Yao, D. (2015). Enhanced functional connectivity and increased gray matter volume of insula related to action video game playing. *Scientific Reports*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep09763>
- Gong, D., He, H., Ma, W., Liu, D., Huang, M., Dong, L., Gong, J., Li, J., Luo, C., & Yao, D. (2016). Functional Integration between Salience and Central Executive Networks: A Role for Action Video Game Experience. *Neural Plasticity*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/9803165>
- Gong, D., Ma, W., Gong, J., He, H., Dong, L., Zhang, D., Li, J., Luo, C., & Yao, D. (2017). Action Video Game Experience Related to Altered Large-Scale White Matter Networks. *Neural Plasticity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7543686>.
- Gong, D., Ma, W., Liu, T., Yan, Y., & Yao, D. (2019). Electronic-sports experience related to functional enhancement in central executive and default mode areas. *Neural Plasticity*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/1940123>
- Gorbet, D., & Sergio, L.E. (2018). Move faster, think later: Women who play action video games have quicker visually guided responses with later onset visuomotor-related brain activity. *PloS one*, 13(1), e0189110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189110>
- Graham, K. L., & Burghardt, G. M. (2010). Current perspectives on the biological study of play: Signs of progress. *The Quarterly Review of Biology*, 85(4), 393–418
- Granek, J.A., Gorbet, D.J., & Sergio, L.E. (2010). Extensive video-game experience alters cortical networks for complex visuomotor transformations. *Cortex*, 46(9), 1165-1177. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.10.009>
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534–537
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2006a). Enumeration versus multiple object tracking: the case of action video game players. *Cognition*, 101(1), 217–245. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.10.004>

Green, C. S., & Bavelier, D. (2006b). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology*, 32(6), 1465–1468. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.6.1465>

Green, C. S., & Bavelier, D. (2007). Action-video-game experience alters the spatial resolution of attention. *Psychological Science*, 18(1), 88–94

Green, C. S., Li, R., and Bavelier, D. (2010). Perceptual learning during action video game playing. *Topics in Cognitive Science*, 2(2), 202–216

Green, C.S., & Bavelier, D. (2019). Enhancing Attentional Control: Lessons from Action Video Games. *Neuron*, 104(1), 147-163. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.031>

Green, C.S., Sugarman, M.A., Medford, K., Klobusicky, E., & Bavelier, D. (2012). The effect of action videogame on task-switching. *Computers in Human Behavior*, 28(3), 984-994. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.09.031>

Green, D., & Wilson, P. H. (2012) Use of virtual reality in rehabilitation of movement in children with hemiplegia – a multiple case study evaluation. *Disability and Rehabilitation*, 34(7), 593–604. <https://doi.org/10.3109/09638288.2011.613520>

Green, S.C., & Bavelier, D. (2004). “The cognitive neuroscience of video games” in Messaris & Humphreys (Eds.). *Digital Media; Transformations in Human Communication*, 1(1), 211-223

Griffith, J.L., P. Voloschin, G.D. Gibb, and J.R. Bailey (1983). Differences in eye-hand motor coordination of video-game users and non-users. *Perceptual and Motor Skills* 57(1), 155-158. <https://doi.org/10.2466/pms.1983.57.1.155>

Groos K. 1901. *The Play of Man*. Appleton

Groos, K. (1898). *The Play of Animals*. Appleton

Hall, G. S. (1904). *Adolescence: Its psychology and its relations to physiology, anthropology, sociology, sex, crime, religion, and education (Vols. I & II)*. Appleton & Co.

Hammond, J., Jones, V., Hill, E.L., Green, D., & Male, I. (2014). An investigation of the impact of regular use of the Wii Fit to improve motor and psychosocial outcomes in children with movement difficulties: a pilot study. *Child: care, health and development*, 40(2), 165-175. <https://doi.org/10.1111/cch.12029>

Hannant, P., Cassidy, S., Tavassoli, T., & Mann, F. (2016). Sensorimotor difficulties are associated with the severity of autism spectrum conditions. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 10, 1-28. <https://doi.org/10.3389/fnint.2016.00028>

Heimler, B., Pavani, F., Donk, M., & van Zoest, W. (2014). Stimulus- and goal-driven control of eye movements: action videogames players are faster but not better. *Attention Perception and Psychophysics*, 76(8), 2398-2412. <https://doi.org/10.3758/s13414-014-0736-x>

Henderson, S. E., & Sugden, D. A. (1992). The movement assessment battery for children. *Research in Developmental Disabilities*.

Henderson, S.E., Sugden, D.A., & Barnett, A.L. (2007). *Movement assessment battery for children [examiner's manual] (2nd ed.)*. APA PsycTests. <https://doi.org/10.1037/t55281-000>

Hickman, R., Popescu, L., Manzanares, R., Morris, B., Lee, S.-P., & Dufek, J. (2017). Use of active video gaming in children with neuromotor dysfunction: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology* 2017, 59(9), 903–911. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13464>

Hodent, C. (2017). *The Gamers' Brain: How Neuroscience and UX Can Impact Video Game Design*. Crc Press

Horne-Moyer, H. L., Moyer, B. H., Messer, D. C., & Messer, E.S. (2014). The use of electronic games in therapy: A review with clinical implications. *Current Psychiatry Reports*, 16(12), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s11920-014-0520-6>

Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, T., Sasaki, Y., Takino, R., Pütz, B., Yoshioka, T., & Kawato, M. (2000). Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature*, 403(6766), 192-59. <https://doi.org/10.1038/35003194>

Isa, T., Kinoshita, M., & Nishimura, Y. (2013). Role of direct vs. indirect pathways from the motor cortex to spinal motoneurons in the control of hand dexterity. *Frontiers in Neurology*, 4, 191. <https://doi.org/10.3389/fneur.2013.00191>

Jagla, F., Jergelová, M., & Riečanský, I. (2007). Saccadic eye movement related potentials. *Physiological Research*, 56(6), 707-13.

James, W., & Marty, M. E. (1982). *The varieties of religious experience : a study in human nature*. Penguin Books

Jasmin E, Couture M, McKinley P, Reid G, Fombonne E, & Gisel E. (2009). Sensorimotor and daily living skills of preschool children with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 39(2), 231–241. <https://doi.org/10.1007/s10803-008-0617-z>

Jeka, J.J., Schoner, G., Dijkstra, T., Ribeiro, P., & Lackner, J.R. (1997). Coupling of fingertip somatosensory information to head and body sway. *Experimental Brain Research*, 113(3), 475-83. <https://doi.org/10.1007/PL00005600>

Jelsma, D., Geuze, R.H., Mombarg, R., & Smits-Engelsman, B.C.M. (2014). The impact of Wii Fit intervention on dynamic balance control in children with probable Developmental Coordination Disorder and balance problems. *Human Movement Science*, 33, 404–418. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.12.007>

Jones, V., & Prior, M. (1985). Motor imitation abilities and neurological signs in autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 15(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/BF01837897>

Karatekin, C. (2007). Eye tracking studies of normative and atypical development. *Developmental Review*, 27(3), 283–348. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2007.06.006>

Kilgard, M. P., & Merzenich, M. M. (1998). Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity. *Science*, 279(5357), 1714-1718. [DOI: 10.1126/science.279.5357.1714](https://doi.org/10.1126/science.279.5357.1714)

Killi, K. (2005). Digital game-based learning: towards an experimental gaming model. *Internet Higher Education*, 8(1), 13-24. <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2004.12.001>

Koepp, M. J., Gunn, R.N., Laurence, A.D., Cunningham, V.J., Dagher, A., Jones, T., Brooks, D.J., Brench, C.J., & Grasby, P.M. (1998). Evidence for striatal dopamine release during a video game. *Nature*, 393(6682), 266-268. <https://doi.org/10.1038/30498>

Kohen-Raz, R., Volkman, F. R., & Cohen, D. J. (1992). Postural control in children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 22(3), 419-432. <https://doi.org/10.1007/BF01048244>

Kozhevnikov, M., Li, Y., Wong, S., Obana, T., & Amihai, I. (2018). Do enhanced states exist? Boosting cognitive capacities through an action video-game. *Cognition*, 173, 93-105. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2018.01.006>

Kozhevnikov, M., Louchakova, O., Josipovic, Z., & Motes, M.A. (2009). The Enhancement of Visuospatial Processing Efficiency Through Buddhist Deity Meditation. *Psychological Science*, 20(5), 645-653. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02345.x>

Kuhn, S., Gleich, T., Lorenz, R.C., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: gray matter changes resulting from training with a commercial video game. *Molecular Psychiatry*, 19(2), 1-7. <https://doi.org/10.1038/mp.2013.120>

Kuhn, S., Romanowski, A., Schilling, C., Lorenz, R., Morsen, C., Seiferth, N., Banaschewski, T., Barbot, A., Barker, G.J., Buchel, C., P J Conrod, P.J., Dalley, J.W., Flor, H., Garavan, H., Ittermann, B., Mann, K., Martinot, J.L., Paus, T., Rietschel, M., ... Gallinat, J. (2011). The neural basis of video gaming. *Translational Psychiatry*, 1(11), e53-e53. <https://doi.org/10.1038/tp.2011.53>

- Lee, P.C. (1983). "Play as a means for developing relationships" in Hinde, R.A. (Eds.), *Primate Social Relationships* (pp. 82-89). Sinauer
- Lemon, R.N. (2008). Descending pathways in motor control. *Annu. Rev. Neurosci.*, *31*, 195-218 . <http://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.060407.125547>
- Leong, Y. C., Radulescu, A., Daniel, R., DeWoschin, V. & Niv, Y. (2017). Dynamic interaction between reinforcement and attention in multidimensional environment. *Neuron*, *93*(2), 451-463. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2016.12.040>
- Lewis, C.L. & Fragala-Pinkham, M.A. (2005). Effects of aerobic conditioning and strength training on a child with Down Syndrome: a case study. *Pediatric Physical Therapy*, *17*(1), 30-36. <http://doi.org/10.1097/01.PEP.0000154185.55735.A0>
- Lloyd, M., MacDonald, M., & Lord, C. (2013). Motor Skills of Toddlers with Autism Spectrum Disorders. *Autism*, *17*(2), 133–146. <http://doi.org/10.1177/1362361311402230>
- Lorenz, R.C., Gleich, T., Galliant, J., & Kuhn, S. (2015). Video game training and reward system. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*, 1-40. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00040>
- Machado, S., Cunha, M., Velasques, B., Minc, D., Teixeira, S., Domingues, C.A., Silva, J.G., Bastos, V.H., Budde, H., Cagy, M., Basile, L., Piedade, R., & Ribeiro, P. (2010). Sensorimotor integration: Basic concepts, abnormalities related to movement disorders and sensorimotor training-induced cortical reorganization. *Revista de Neurologia*, *51*(7), 427-36.
- Mack, D.J., & Ilg, U.J. (2014). The effects of video game play on the characteristics of saccadic eye movements. *Vision Research*, *102*, 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.07.010>
- Maslow, A.H. (1999). *Toward a psychology of being (3rd ed.)*. J. Wiley & Sons.

- Mather J.A., & Anderson R.C. (1999). Exploration, play and habituation in octopuses (*Octopus dofleini*). *Journal of Comparative Psychology*, 113(3), 333–338. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.113.3.333>
- Menon, V. & Uddin, L.Q. (2010). Saliency, switching, attention and control: a network model of insula function. *Brain structure and function*, 214(5), 655–667. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0262-0>
- Miller, E.K., & Cohen, J.D., (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202. [http://doi.org/0147-006X/01/0301-0167\\$14.00](http://doi.org/0147-006X/01/0301-0167$14.00)
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contribution to complex “Frontal Lobe” tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- MM Virtual Design, L. (2004). Imagery testing battery [Computer software]. Newark
- Moisala, M., Salmela, V., Hietajarvi, L., Carlson, S., Vountela, V., Lonka, K., Hakkarainen, K., Salmela-Aro, K., & Aho, K. (2017). Gaming is related to enhanced working memory performance and task-related cortical activity. *Brain Research*, 1655, 204–255. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.10.027>
- Molloy, C. A., Dietrich, K. N., & Bhattacharya, A. (2003). Postural stability in children with autism spectrum disorder. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 33(6), 643–652. <https://doi.org/10.1023/B:JADD.0000006001.00667.4c>
- Monfils, M.-H., Plautz, E.J., & Kleim, J.A. (2005). In Search of the motor engram: motor map plasticity as a mechanism for encoding motor experience. *The Neuroscientist*, 11(5), 471–483. <https://doi.org/10.1177/1073858405278015>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Science*, 7(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00028-7)

National Association of Down Syndrome (2009). *Facts about Down syndrome*. http://www.nads.org/pages_new/facts.html

Nijhof, S. L., Vinkers, C. H., van Geelen, S. M., Duijf, S. N., Achterberg, E. M., Van Der Net, J., Veltkamp, R.C., Grootenhuis, M.A., van de Putte, E.M., Hillegers, M.H.J., van der Brug, A.W., Wierenga, C.J., Benders, M.J.N.L, Engels, R.C.M.E, van der Ent, C.K., Vanderschuren, L.J.M.J, & Lesscher, H.M.B (2018). Healthy play, better coping: The importance of play for the development of children in health and disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 95, 421–429. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.09.024>

Nitsche, M.A., Roth, A., Kuo, M.-F., Fischer, A.K., Liebetanz, D., Lang, N., Tergau, F., & Paulus, W. (2007). Timing dependent- modulation of associative plasticity by general network excitability in the human motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 27(14), 3807-3812. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5348-06.2007>

Orosy-Fildes, C., & Allan, R.W. (1989). Psychology of computer use: XII. Videogame play: Human reaction time to visual stimuli. *Perceptual and Motor Skills* 69(1), 243-247. <https://doi.org/10.2466/pms.1989.69.1.243>

Ozonoff, S., Young, G.S., Goldring, S., Greiss-Hess, L., Herrera, A.M., Steele, J., & Rogers, S.J. (2008). Gross motor development, movement abnormalities, and early identification of autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 38(4), 644–656. <https://doi.org/10.1007/s10803-007-0430-0>

Page, J., & Boucher, J. (1998). Motor impairments in children with autistic disorder. *Child Language Teaching and Therapy*, 14(3), 233-259. <https://doi.org/10.1177/026565909801400301>

Page, Z.E., Barrington, S., Edwards, J., & Barnett, L.M. (2017). Do Active Video Games Benefit the Motor Skill Development of Non-Typically Developing Children and Adolescents: A Systematic Review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(12), 1087-110. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2017.05.001>

Pellegrini, A.D., & Smith, P.K. (1998). Physical activity play: the nature and function of a neglected aspect of playing. *Child Development*, 69(3), 577–598. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1998.tb06226.x>

Pellis S., & Pellis V. (2009). *The Playful Brain: Ventures to the Limits of Neuroscience*. Simon and Schuster

Pellis, S. M., & Pellis, V. C. (2017). What is play fighting and what is it good for? *Learning & Behavior*, 45(4), 355–366. <https://doi.org/10.3758/s13420-017-0264-3>

Petersen, S. E., & Posner, M. (2012). The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual review of neuroscience*, 35(73), 73-89. <http://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>

Pine, R., Fleming, T., McCallum, S., & Sutcliffe, K. (2020). The effects of casual videogames on anxiety, depression, stress, and low mood: A systematic review. *Games for Health Journal*, 9(4), 255-264. <https://doi.org/10.1089/g4h.2019.0132>

Powers, K.L., Brooks, P.J., Aldrich, N.J., Palladino, M.A., & Alfieri, L. (2013). Effects of video-game play on information processing: A meta-analytic investigation. *Psychonomic Bulletin Review*, 20(6), 1055–1079. <https://doi.org/10.3758/s13423-013-0418-z>

Pridmore, T., Cobb, S., Hilton, D., Green, J., & Eastgate, R. (2007) Mixed reality environments in stroke rehabilitation: interfaces across the real/virtual divide. *International Journal on Disability and Human Development*, 6(1), 87-96. <https://doi.org/10.1515/IJDHD.2007.6.1.87>

Primack, B. A., Carroll, M. V., McNamara, M., Klem, M. L., King, B., Rich, M., Chan, C., & Nayak, S. (2012). Role of video games in improving health-related outcomes: A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(6), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2012.02.023>

Pujol, J., Fenoll, R., Forns, J., Harrison, B.J., Martinez-Vilavella, G., Macià, D., Alvarez-Pedrerol, M., Blanco-Hinojo, L., Gonzalèz-Ortiz, S., Desus, J., & Sunyer, J.

(2016). Video game in school children: how much is enough? *Annals of Neurology*, 80(3), 424-433. <https://doi.org/10.1002/ana.24745>

Rapin, I. (1997). Autism. *New England Journal of Medicine*, 337(2), 97–104

Ridgers, N.D., Stratton, G., & Fairclough, S.J. (2006). Physical activity levels of children during school playtime. *Sports Medicine*, 36(4), 359–371. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00005>

Rogers, S. J., Bennetto, L., McEvoy, R., & Pennington, B. F. (1996). Imitation and pantomime in high-functioning adolescents with autism spectrum disorders. *Child Development*, 67(5), 2060–2073. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1996.tb01843.x>

Spinka M., Newberry R. C., & Bekoff M. (2001). Mammalian play: training for the unexpected. *Quarterly Review of Biology*, 76(2), 141–168. <https://doi.org/10.1086/393866>

Schulz, J., Henderson, S.E., Sugden, D.A., & Barnett, A.L. (2011). Structural validity of the Movement ABC-2 test: Factor structure comparisons across three age groups. *Research in Developmental Disabilities*, 32(4), 1361-1369. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.01.032>

Shadmehr, R., & Holcomb, H. (1999). Inhibitory control of competing motor memories. *Experimental Brain Research*, 126(2), 235-251. <https://doi.org/10.1007/s002210050733>

Shepard, R.N., & Metzler, J. (1971). Mental Rotation of 3- Dimensional Objects. *Science*, 171(3972), 701-703. <http://doi.org/10.1126/science.171.3972.701>

Shields, N., Taylor, N.F., & Dodd, K.J (2008). Effects of a community-based progressive resistance training program on muscle performance and physical function in adults with Down Syndrome: a randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(7), 1215-1220. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.056>

Spence, I., & Feng, J. (2010). Video Games and Spatial Cognition. *Review of General Psychology*, 14(2), 92-104. <https://doi.org/10.1037/a0019491>

Spencer H. (1872). *The Principles of Psychology. Second Edition, Volume 2.* Appleton

Sumner, E., Hutton, S.B., Kuhn, G., & Hill, E.L., (2016). Oculomotor atypicalities in Developmental Coordination Disorder. *Developmental Science*, 21(1), e12501. <https://doi.org/10.1111/desc.12501>

Sutera, S., Pandey, J., Esser, E. L., Rosenthal, M. A., Wilson, L. B., Barton, M., & Fein, D. (2007). Predictors of optimal outcome in toddlers diagnosed with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 37(1), 98-107. <https://doi.org/10.1007/s10803-006-0340-6>

Takashi, O., & Kozhevnikov, M., (2012) State effects of action video-game playing on visuospatial processing efficiency and attention among experienced action video-game players. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 34(34)

Tanner J.E., & Byrne R.W. (2010). Triadic and collaborative play by gorillas in social games with objects. *Animal Cognition* 13(4), 591—607. <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0308-y>

Trick, L. M., Jaspers-Fayer, F., & Sethi, N. (2005). Multiple-object tracking in children: the “Catch the Spies” task. *Cognitive Development*, 20(3), 373–387. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2005.05.009>

Tsimaras, V.K., & Fotiadou, E.G (2004). Effect of training on the muscle strength and dynamic balance ability of adults with Down Syndrome. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 343-347. <http://doi.org/10.1519/r-12832.1>

Ventegodt, S, Hermansen, T.D., Kandel, I., & Merrick, J. (2008). Human development XII: a theory for the structure and function of the human brain. *TheScientificWorldJOURNAL*,8, 621-42. <https://doi.org/10.1100/tsw.2008.7>

Vilensky, J. A., Damasio, A. R., & Maurer, R. G. (1981). Gait disturbances in patients with autistic behaviour: A preliminary study. *Archives of Neurology*, 38(10), 646–649. <http://doi.org/10.1001/archneur.1981.00510100074013>

Watanabe, T., & Sasaki, Y. (2015). Perceptual learning: toward a comprehensive theory. *Annual Review of Psychology*, 66, 197-221. <http://doi.org/10.1146/annurev-psych-010814-015214>

West, G.L., Al-Aidroos, N., & Pratt, J. (2011). Action video game experience affects oculomotor performance. *Acta Psychologica*, 142(1), 38-42. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.08.005>

West, G.L., Zendel, B.R., Konishi, K., Benady-Chorney, J., Bohbot, V.D., Peretz, I., & Belleville, S. (2017). Playing Super Mario 64 increases hippocampal grey matter in older adults. *PLoS one*, 12(12), e0187779. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187779>

Wozniak, R. H., Leezenbaum, N. B., Northrup, J. B., West, K. L., & Iverson, J. M. (2017). The development of autism spectrum disorders: variability and causal complexity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 8(1-2), e1426. <https://doi.org/10.1002/wcs.1426>

Zhang, Y., Du, G., Yang, Y., Qin, Y., Li, X., & Zhang, Q. (2015). Higher integrity of the motor and visual pathways in long term video game players. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 98. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00098>