



## **Il cervello dell'atleta. Studi neuroanatomici strutturali, funzionali e tecnica del Biofeedback**

*Tessa Biagioli*

### **L'acquisizione di *expertise*: eccellenza mentale e fisica**

Per un lungo periodo le prestazioni eccezionali in domini complessi sono state spiegate con le abilità innate. La ricerca sull'*expertise* (competenza)

discute questo assunto e dimostra che le prestazioni possono essere enormemente influenzate dall'allenamento intensivo volontario. Prove circa la plasticità della mente umana e del corpo suggeriscono che l'acquisizione di competenze dovrebbe piuttosto essere descritta come un processo di adattamenti specifici alle attività tipiche del dominio piuttosto che come uno sviluppo della pre-esistente abilità innata.

Interpreti eccezionali nella musica, nello sport e in molti altri domini hanno affascinato sia il pubblico che i ricercatori di campi diversi da secoli. La loro eccellenza incredibile rispetto ai soggetti medi o anche professionisti "normali" porta facilmente al presupposto che un'innata abilità svolga un ruolo importante. I "geni" o "talenti" sono considerati uomini di natura diversa e talvolta è persino scontato che abbiano raggiunto il loro livello di prestazioni senza sforzo. Tra gli esempi più famosi ci sono Usain Bolt e Wolfgang A. Mozart, ovviamente ambiti come la musica, le arti o lo sport sono particolarmente inclini alla spiegazione di capacità innate. Nel XVI secolo gli umanisti hanno attribuito l'eccellenza di artisti e scienziati a doni divini innati e la conferma è stata data nel XIX secolo dalle teorie biologiche e genetiche, ad esempio quando Galton ha trovato strette associazioni tra il livello di prestazione e differenze ereditarie nel sistema nervoso e nella dimensione e struttura del cervello (Ericsson, 2005).

Il lavoro dello psicologo olandese De Groot (1946) sui giocatori di scacchi ha ispirato un gran numero di studi sulla natura della prestazione esperta. In particolare dopo la "rivoluzione cognitiva" avviata dallo sviluppo del paradigma di elaborazione dell'informazione, molti studi hanno investigato il *problem-solving*, i processi di ricerca o il richiamo alla memoria negli esperti. Molte prove empiriche hanno trovato che i vantaggi degli esperti non erano basati su una superiorità generale, ma si limitavano al dominio di competenza. Questa evidenza ha scosso alla radice l'assunzione di abilità innate. Sono emerse le teorie circa l'acquisizione di *expertise*, così come le

ipotesi sul ruolo della pratica (di solito quella estesa per un periodo di diversi anni) con pianificazione o "pratica intenzionale" (Ericsson, Krampe e Tesch-Römer, 1993) e le teorie sulla ristrutturazione di conoscenze specialistiche basate sull'esperienza (Boshuizen e Schmidt, 1992). Gli studi di formazione intenzionale hanno confermato l'enorme plasticità delle prestazioni cognitive umane in modo da limitare o attivare fattori motori, fisiologici, neurali o anatomici che non erano più nel mirino della ricerca sulle competenze. L'idea di abilità corporee innate ha perso la sua attrattiva dal momento in cui è diventato fondamentale l'interesse per misure cognitive modificabili e i vari adattamenti.

Una delle strategie di base nel campo della ricerca sull'*expertise* è denominato "approccio contrastivo". Soggetti di diversi livelli di performance in un dato dominio vengono identificati e poi confrontati in base alle variabili che costituiscono la rispettiva spiegazione teorica della natura della competenza. Nella maggior parte dei casi sono stati identificati due livelli di competenza "esperti" e "novizi". L'identificazione degli esperti è una delle difficoltà più impegnative nel campo di queste ricerche, ma come sostenevano alcuni autori questo problema può essere evitato in ambiti in cui la qualità della prestazione può essere misurata abbastanza facilmente e senza parere controverso, per esempio nella corsa e nel nuoto (tempo necessario per una particolare distanza).

### **Adattamenti durante l'acquisizione di competenze**

L'acquisizione di *expertise* risulta da adattamenti sostanziali ai vincoli tipici del compito in un dominio (Ericsson e Lehmann, 1996) coinvolgendo cambiamenti cognitivi, parametri fisiologici e percettivo-motori che facilitano le prestazioni superiori. La prestazione esperta è mediata da abilità cognitive e percettivo-motorie, da adattamenti fisiologici e anatomici dominio-specifici e in particolare dalla complessa interazione di queste componenti.

I recenti sviluppi nelle scienze hanno aperto nuove possibilità teoriche e tecniche di indagare la natura della competenza da diverse prospettive. Per esempio, la registrazione dettagliata dei movimenti oculari può essere utilizzata per collegare l'elaborazione visiva degli esperti e il loro ragionamento. Ipotesi sul processamento cognitivo di informazioni dominio-specifiche, come quelle fatte nella teoria del riconoscimento, possono essere verificate misurando fissazioni e quindi le regioni di interesse nella scansione visiva degli esperti per stimoli tipici. La ricerca sul riconoscimento visivo in medicina è stata usata per spiegare processi di acquisizione di competenze attraverso i dati di registrazione dei movimenti oculari (Krupinski et al., 2006).

L'*imaging* medico da allora si è sviluppato grazie ad alti tassi di innovazione tecnologica. Goulet, Bard e Fleury (1989) hanno mostrato che i livelli di *expertise* sono sistematicamente correlati con i movimenti oculari precedenti le decisioni dominio-specifiche: nel tennis gli esperti osservano

soprattutto le spalle e il tronco del corpo dell'avversario per anticipare la palla da giocare; al contrario i novizi si concentrano piuttosto sulla testa dell'avversario.

La ricerca sugli effetti della formazione e dell'esercizio fisico nello sport, ha analizzato in dettaglio gli adattamenti dei sistemi fisiologici, per esempio un aumento del massimo tasso di consumo di ossigeno negli atleti in resistenza (ad esempio i corridori della maratona) o un aumento del flusso sanguigno muscolare. Gli adattamenti anatomici e fisiologici osservati sono strettamente legati alla pratica e ai programmi di formazione.

L'avvento dei moderni metodi di *neuroimaging* ha permesso studi empirici sull'assunzione della neuroplasticità. Sia le modifiche funzionali che strutturali (anatomiche) del cervello potrebbero essere legate all'esperienza in corso e in particolare a periodi di allenamento intensivo degli esperti all'interno del loro dominio di eccellenza. Nella loro revisione Munte, Altenmüller e Jancke (2002) hanno presentato molte prove del fatto che le dimensioni e l'organizzazione temporale delle rappresentazioni corticali di stimoli si formano continuamente con l'esperienza. Molti studi sono stati condotti da allora usando strumenti di imaging cerebrale nuovi o tradizionali: la risonanza magnetica funzionale (fMRI) è ancora la tecnica più comunemente usata; se al centro dell'interesse ci sono i processi metabolici, ad esempio il tasso di neurotrasmettitori, è comunemente usata la Tomografia ad Emissione di Positroni (PET). Oltre a queste tecniche di imaging, che solo indirettamente misurano l'attività neurale, la magneto ed elettroencefalografia sono due tecniche non invasive per misurare direttamente l'attività dei neuroni nel cervello. Usando queste tecniche è stato dimostrato che i cambiamenti adattativi di queste componenti sono chiaramente legati alla formazione e alla pratica (Landau et al., 2004; Nielsen e Cohen, 2008). La maggior parte di questi studi, oltre che dallo sport, proviene dal dominio musicale.

### **Plasticità neuronale**

Gli adattamenti fisiologici sono un fenomeno quotidiano e avvengono in risposta all'uso abituale del nostro corpo, per esempio l'aumento dei muscoli dopo l'allenamento nella corsa. Lehmann e Gruber (2006) hanno dimostrato nella loro review che i musicisti subiscono una serie di adattamenti come, ad esempio, la rotazione dell'avambraccio nei violinisti, le capacità del polmone vitale e totale nei cantanti o l'inalazione e la respirazione nei trombettisti. Una serie di studi sul sistema nervoso centrale hanno chiarito come il processamento pre-attentivo di stimoli musicali migliori attraverso la pratica e l'esperienza. Le misure dei potenziali evento-correlati (ERP) hanno indicato che il raggruppamento uditivo e la segmentazione dei suoni dipendono dalle abilità musicali (van Zuijen et al., 2004). I musicisti differiscono dai non musicisti nei potenziali evento-correlati (ERP), nei campi magnetici evento-correlati (ERFs) durante l'ascolto di melodie (Neuhaus, Knösche e

Friederici, 2006) ed inoltre elaborano le frasi in un modo molto strutturato che riflette complessi processi cognitivi di fraseggio, mentre i non-musicisti rilevano piuttosto le interruzioni nella melodia. Munte e colleghi (2003) da una serie di studi tramite ERP concludono che esistono differenze qualitative dei correlati neurali dell'elaborazione uditiva tra musicisti e non-musicisti.

Studi simili sono rintracciabili anche nello sport. L'esercizio fisico facilita i tempi di reazione e il processo decisionale nel proprio dominio di competenza. In uno studio sull'apprendimento motorio Doyon et al. (2002) hanno trovato prove di un cambiamento di attivazione (dipendente dall'esperienza) dalla rete cerebellare-corticale a quella striato-corticale dopo una pratica estesa. Esperti in tiro con la carabina hanno mostrato una raffinatezza e una maggiore efficienza dell'attività cerebrale corticale che ha facilitato la prestazione visuomotoria (Hung et al, 2007).

Prove di adattamenti basati sull'esperienza nelle componenti motorie e fisiologiche di attività complesse esistono in molte aree in cui le capacità motorie sono coinvolte come nello sport. In una review sugli adattamenti del sistema muscolare e nervoso dopo l'attività prolungata, Enoka (1997) riportò che la maggior parte dei suggerimenti derivati dalle scienze della formazione e dell'esercizio fisico nello sport si basano su presupposti per un eventuale adeguamento sostanziale dei sistemi cardiorespiratorio e neuromuscolare, volti a migliorare l'erogazione di ossigeno dall'atmosfera ai mitocondri e consentire una più stretta regolamentazione del metabolismo muscolare, reclutamento massimale, specificità e schemi temporo-spaziale di efferenze neurali ai muscoli. Soprattutto negli sport di resistenza (come la maratona) molti effetti sono stati indagati in modo affidabile e trasferiti nei programmi di formazione (Jones e Carter, 2000). Vi è un crescente corpo di prove secondo cui l'allenamento ha un impatto notevole non solo sui processi fisiologici del corpo e sui sistemi ma anche sul cervello. In questo ambito di ricerche è plausibile distinguere tra plasticità neurale funzionale e strutturale (anatomica).

### **La teoria della efficienza neurale**

L'idea centrale di questa teoria è che nel cervello dell'atleta alcune funzioni si siano strutturate grazie a fenomeni di plasticità cerebrale in modo adattivo e verso una condizione di massima efficienza, consentendo prestazioni eccellenti con minor impegno neurale (Hatfield e Hillman, 2001).

Il *principio di efficienza* (definito come rapporto sforzo/lavoro) è molto usato nell'ambito degli studi di fisiologia biomeccanica e dello sport, ad esempio per spiegare il diminuito reclutamento di unità motorie misurato dall'elettromiogramma integrato in soggetti allenati rispetto a soggetti non allenati (De Vries e Housh, 1994).

Hatfield e Hillman (2001) sottolineano che oltre all'efficienza si deve tener conto anche del *principio di adattività*: una performance può essere caratterizzata da un elevatissimo livello di sforzo, ma essere perfettamente adeguata alle richieste del compito. Gli autori estendono il concetto di efficienza alle funzioni cerebrali definendola come il rapporto fra il comportamento psicomotorio e allocazione di risorse neurali. Quando un individuo si confronta con un compito specifico inizialmente reagisce con un'attivazione neurale globale che coinvolge molteplici connessioni corticali rilevanti e anche irrilevanti rispetto al compito; si mostra quindi solo parzialmente efficiente. Quando invece aumentano le abilità, l'organizzazione neurale si raffina e le connessioni irrilevanti sono soppresse. A questo punto è sufficiente il coinvolgimento di una porzione più piccola di corteccia cerebrale per far fronte al compito; il processo è divenuto più "economico" (Spinelli et al., 2011).

Le prestazioni su una varietà di compiti motori, per esempio sciare, ballare e suonare il pianoforte, migliorano attraverso la formazione e questo indica la notevole plasticità del cervello umano per l'esperienza motoria. Due linee di ricerca principali indagano questo fenomeno negli esseri umani. Il primo studia i cambiamenti strutturali che avvengono nel cervello in seguito all'esperienza motoria: la formazione influenza l'entità della rappresentazione corticale del segmento corporeo più utilizzato. A seconda dell'estensione temporale (quantità) della pratica motoria, questi cambiamenti possono essere reversibili (Pascual-Leone et al., 1995) o stabili (Elbert et al., 1995).

L'altra linea di ricerca indaga gli effetti dell'esperienza motoria a livello funzionale sia con la risonanza magnetica funzionale (fMRI) che con tecniche elettrofisiologiche.

### **Studi di fMRI**

La *functional magnetic resonance imaging* (fMRI) non è una tecnica invasiva e non richiede somministrazione di sostanze radioattive o impiego di raggi X; è inoltre indolore e consente una più elevata risoluzione spaziale. La fMRI si basa sul fatto che ogni tessuto ha proprietà magnetiche differenti, legate in genere alla diversa concentrazione di protoni (nuclei di idrogeno) che se sottoposti a un campo magnetico ruotano attorno al proprio asse e si allineano secondo l'asse principale del campo; se il campo magnetico è perpendicolare si disallineano e ruotano. Quando cessa il campo interferente i protoni si riallineano emettendo a loro volta onde radio registrate da appositi sensori che forniscono indicazioni sulla variazione delle proprietà magnetiche del tessuto in esame. L'aumento di flusso cerebrale comporta l'aumento di ossiemoglobina (il tipo di emoglobina veicolante ossigeno) rispetto alla deossiemoglobina (il tipo che ha già ceduto ossigeno ai tessuti). Il rilevamento di queste variazioni fisiche permette di costruire immagini tridimensionali delle variazioni stesse e di ottenere mappe ad alta risoluzione dell'attività cerebrale evocata da un certo compito.

Grazie a questa tecnica è stato possibile tra l'altro mostrare che in soggetti normali, durante il movimento, l'attivazione di singoli distretti corporei segue regole di rappresentazione topografica (Lotze et al., 2000).

Calvo-Merino et al. (2005) hanno studiato tre gruppi diversi di sportivi: ballerini professionisti di danza classica, ballerini di danza capoeira e non atleti. Hanno cercato le differenze nell'attività cerebrale registrabile quando si guarda un'azione in cui si è esperti (ad esempio il video di danza classica per i ballerini classici) rispetto a un'azione che non si sa fare (ad esempio il video di capoeira per i ballerini). I risultati mostrano che i ballerini di danza classica hanno una maggiore attività nel *mirror neurons system* (MNS) quando guardano video di danza classica rispetto al video di capoeira, invece i ballerini di capoeira mostravano l'effetto opposto. Mentre questa ricerca ed altre (vedi Wright et al., 2007) hanno indagato il sistema mirror, alcuni studi si sono occupati invece della pianificazione motoria (l'attività cerebrale che precede l'esecuzione) nell'ottica di rilevare se già a questo livello sono presenti differenze tra atleti e principianti. Milton et al. (2007) hanno indagato l'attività cerebrale collegata alla pianificazione di un atto motorio in atleti professionisti di golf e in non-atleti. Gli esperti hanno attivazioni principalmente nel lobulo parietale superiore, nell'area premotoria laterale dorsale e nelle aree occipitali; un dato interpretabile come integrazione fra informazione visiva e aspetti esecutivi. Nei non atleti invece sono attivi il cingolo posteriore, l'amigdala e i gangli della base; queste attivazioni implicano un coinvolgimento emozionale che probabilmente disturba la concentrazione sul gesto sportivo.

Gli studi sulla pianificazione motoria (Kim et al., 2008) suggeriscono che l'allenamento porti ad una organizzazione più efficiente dell'attività neurale che elimina l'informazione irrilevante, mentre ciò non avviene nei non-atleti.

### **Ricerche mediante TMS**

La tecnica della *transcranial magnetic stimulation* (TMS) offre la straordinaria opportunità di estendere il paradigma della correlazione anatomo-funzionale, tipico degli studi clinici su pazienti cerebrolesi, allo studio di partecipanti sani. La TMS è una tecnica neurofisiologica basata sulla produzione tramite campi magnetici che inducono campi elettrici in grado di stimolare la corteccia cerebrale. Tali campi magnetici sono ottenuti erogando brevi impulsi di corrente ad alta intensità in una bobina di stimolazione posta in varie posizioni dello scalpo. I campi elettrici generati per induzione elettromagnetica sono diretti parallelamente alla bobina e stimolano soprattutto i corpi cellulari dei neuroni corticali. Mediante un paradigma di stimolazione a singolo impulso la TMS può essere utilizzata per studiare l'eccitabilità del sistema motorio. Gli effetti della stimolazione della corteccia motoria sono quantificati misurando l'ampiezza dei potenziali evocati motori (PEM),

cioè le risposte elettromiografiche indotte dalla stimolazione della corteccia motoria primaria controlaterale. La TMS aggiungendo rumore all'attività dei circuiti neuronali può inoltre provocare effetti interferenziali reversibili (di brevissima durata) di specifiche aree corticali anche non motorie. Inducendo un'inattivazione funzionale reversibile dell'attività neuronale sottostante il coil, la TMS consente quindi di indagare con elevata risoluzione temporale il ruolo funzionale delle aree corticali. Se da un lato tale metodica di studio è analoga al classico metodo neuropsicologico di correlazione tra sede della lesione nei pazienti e disturbi cognitivi risultanti, la reversibilità dei disturbi indotti dalla stimolazione magnetica in soggetti sani permette di individuare disturbi che possono essere mascherati da variazioni plastiche dell'organizzazione cerebrale nei pazienti cerebrolesi.

Lo studio di Pearce et al. (2000) applica la TMS su tre gruppi di atleti: giocatori di badminton, appassionati di giochi sociali da tavolo e non giocatori. Hanno trovato che i giocatori di badminton hanno MEP più ampi, ma solo per la mano che usano nel gioco. Fourkas et al. (2008) hanno usato la TMS per studiare l'effetto delle immagini mentali mentre tennisti e non-atleti immaginano di eseguire un servizio di tennis, di ping-pong e un lancio di golf. I risultati mostrano che i tennisti hanno maggior eccitabilità cortico-spinale solo durante l'immaginazione del servizio di tennis. Un ulteriore studio riguarda giocatori di basket (Aglioti et al., 2008) dove la TMS viene associata in questo caso a misure psicofisiche. Gli atleti devono prevedere, osservando dei filmati, se il giocatore in questione farà canestro o meno. Gli atleti sono in grado, rispetto ai novizi, di decidere correttamente sulla base di pochissimi frames. La loro superiorità è evidente anche dal confronto con allenatori e giornalisti.

### **Studi di registrazione dei potenziali evento correlati (ERP)**

La sincronizzazione dei segnali elettroencefalografici con l'avvio di un dato evento interno (ad esempio muovere un dito) ha dato origine alla tecnica dei *potenziali evento-correlati* che ha fornito importanti informazioni sulla pianificazione motoria. Si tratta di una tecnica di registrazione dell'attività di singole cellule effettuata tramite elettrodi posizionati direttamente nel parenchima cerebrale, sia corticale che sottocorticale. Variazioni della scarica neuronale in relazione a determinati compiti, permette di osservare quando un certo neurone è coinvolto in un dato compito. Il posizionamento degli elettrodi è effettuato dopo anestesia dello scalpo e delle parti molli. Poiché il parenchima cerebrale non ha terminazioni dolorifiche, le registrazioni possono essere effettuate mentre il soggetto è sveglio. È una tecnica tipicamente impiegata negli esperimenti con gli animali ed è stata utilizzata anche nell'uomo per la diagnosi di attività neurali patologiche (ad esempio

epilessia) o per aiutare un chirurgo a comprendere quanto fosse estesa una zona tumorale o un focolaio epilettico.

Una scoperta interessante è che l'esperienza motoria passata interagisce con l'apprendimento motorio. Differenze nell'attività cerebrale di soggetti esperti e naive mentre eseguivano un compito motorio, sono state documentate in termini di: a) diminuita attivazione corticale nella fase di preparazione motoria che precede il movimento reale, che è una percentuale più grande di ritmo alfa prima del movimento negli esperti rispetto ai soggetti non-esperti (Crews e Landers, 1993); b) diminuita attivazione corticale in fase di esecuzione in funzione del periodo di formazione, cioè più lunga è la formazione minore è l'attivazione (Krings e Tropper, 2000) e c) decremento di attivazione bilaterale a favore dell'emisfero destro o sinistro dominante (cioè un modello più lateralizzato di attivazione durante le sequenze motorie molto praticate) in relazione alle differenti abilità motorie e al grado di controllo emisferico per quell'abilità (Mikheev et al., 2002).

Nel complesso questi dati suggeriscono che un cervello esperto ha bisogno di meno risorse rispetto ad un cervello non esperto per preparare ed eseguire un atto motorio. Inoltre la pratica sopprime i processi cognitivi irrilevanti per il compito motorio: aumenta l'automatizzazione e un minor sforzo cognitivo è dedicato al compito motorio (Kerick et al, 2004). A seguito della pratica il compito viene eseguito in "economia", con meno sforzo cognitivo e minore (o più lateralizzata) attivazione di aree corticali dedicate all'attività motoria (Hatfield e Hillman, 2001). Precedenti studi elettrofisiologici hanno derivato il concetto di economia dalla variazione dell'attività EEG globale. Al contrario, nel loro studio Di Russo, Pitzalis, Aprile e Spinelli (2005) hanno esaminato gli indici specifici dell'attività cerebrale di atleti di tiro al piattello e non-atleti, come i potenziali evento correlati (ERP) associati con la preparazione motoria e l'esecuzione. Per raggiungere questo obiettivo hanno scelto come metodo per lo studio l'attività corticale legata al movimento: la registrazione di potenziali corticali connessi al movimento (CPRM). In contrasto con la fMRI, che ha scarsa risoluzione temporale perché media l'attività cerebrale attraverso i minuti di registrazione, la tecnica elettrofisiologica della CPRM permette di valutare l'andamento temporale degli eventi cerebrali con precisione (dell'ordine di millisecondi). Inoltre con le tecniche multi-elettrodi è possibile localizzare le fonti dell'attività corticale con sufficiente precisione. I loro risultati indicano che negli atleti l'economia ha luogo a livello di preparazione motoria: solo l'attività neurale necessaria per preparare un movimento volontario è ridotta, mentre quella spesa nella fase di esecuzione è identica. I tiratori hanno mostrato un vantaggio rispetto ai soggetti di controllo nel semplice compito di saccadi verso un bersaglio visivo. Il loro tempo di reazione saccadico è stato ridotto rispetto ai controlli. Alla luce dei presenti risultati, possiamo interpretare questo vantaggio in termini di minore preparazione motoria saccadica conseguente all'iper-apprendimento di movimenti



degli occhi in seguito alla formazione coinvolta nella pratica della sparatoria. I dati sono compatibili con il principio generale che l'esercizio motorio coinvolto nello sport aumenta l'efficienza psicomotoria. I dati attuali mostrano che l'esperienza del tiro è associata con una ridotta attività neurale nella preparazione motoria e quindi un'organizzazione neurale più raffinata per questo processo.

### **Indagini elettroencefalografiche (EEG)**

L'*elettroencefalogramma* (EEG) è una tecnica non invasiva che permette di misurare, tramite una serie di elettrodi posizionati sullo scalpo, l'attività dei neuroni corticali sottostanti ciascun elettrodo. Hatfield e Hillman (2001) hanno utilizzato come indicatore i ritmi cerebrali mediante EEG e si sono focalizzati in particolare sul *ritmo alfa*. Tradizionalmente il ritmo alfa è considerato un indicatore dello stato di rilassamento. Nunez (1995) ha però suggerito che rifletta piuttosto uno stato d'interazione globale cortico-corticale, mentre i ritmi a frequenze più elevate indicherebbero un'attivazione locale. Smith et al. (1999) hanno interpretato l'aumento di alfa nel corso dell'acquisizione di un'abilità specifica come indicatore di un cambiamento nei processi neurali nella direzione di un adattamento al compito specifico. Così la presenza di ritmo alfa potrebbe rispecchiare sia un rilassamento rispetto a fonti di disturbo irrilevanti per il compito, sia la transizione verso una riorganizzazione neurale più adattiva (Earle, 1988).

Uno dei primi studi riguarda atleti d'élite di tiro a segno con la carabina. Questo sport closed-skill implica un'altissima concentrazione da parte dell'atleta e pochissimi movimenti del corpo; per questo è stato possibile registrare l'EEG durante il tiro. Nella fase di puntamento del bersaglio (circa 7 secondi prima del tiro) si osserva una chiara asimmetria emisferica: l'emisfero sinistro diminuisce la propria attività e quello destro rimane attivo (Hatfield, Landers e Ray, 1984). Gli autori hanno interpretato questi dati come una soppressione dei processi analitici e verbali caratteristici dell'emisfero sinistro mentre sono attivi i processi visuo-spaziali tipici dell'emisfero destro.

Questi dati vengono confermati anche nello studio di Landers e colleghi (1991) che hanno indagato l'attività di atleti di tiro con l'arco durante la fase di mira. Anche in questo caso è stato rilevato un aumento dell'intensità alfa nella regione temporale sinistra, associato con un miglioramento della performance. Deeny et al. (2009) hanno studiato sul campo tiratori di fucile esperti e novizi, valutando la coerenza fra l'attività di diverse regioni corticali per i diversi ritmi cerebrali, dal più basso (teta) al più elevato (gamma). Negli atleti esperti la coerenza dei ritmi EEG correla positivamente con le variazioni del movimento del fucile in corso del puntamento. Hung et al. (2008) osservarono che la complessità dell'attività corticale cerebrale è minore in tiratori di fucile

esperti rispetto ai novizi e negli esperti c'è una relazione negativa fra questa complessità e la performance (invece nei novizi la correlazione è positiva).

I dati sono compatibili con l'idea di un raffinamento e di una maggiore efficienza dei processi cerebrali negli esperti. La minor complessità viene imputata alla riduzione del rumore neuromotorio e alla conseguente riduzione dell'interferenza con l'azione che s'intende svolgere.

Un lavoro di Babiloni et al. (2008) in laboratorio su un simulatore di golf, ha rivelato che nei tiri falliti, maggiore è la riduzione di alfa durante la preparazione, minore è l'errore (cioè la distanza dalla buca). Pare dunque che l'ampiezza di alfa in queste aree corticali (prefrontale, cingolata e supplementare motoria) abbia un legame con il controllo motorio fine e possa predire la performance. In alcuni esperimenti viene testato invece l'equilibrio posturale, misurato dalle dimensioni dell'area di oscillazione del corpo su piattaforma stabilometrica. Ad esempio atleti di scherma e di karate sono stati confrontati con un gruppo di non-atleti per misurare la correlazione fra attività corticale e oscillazione del corpo misurata in posizione eretta con occhi aperti e chiusi. La riduzione di alfa è stata maggiore negli atleti rispetto ai non-atleti; inoltre nei karatechi la riduzione è stata proporzionale al restringimento dell'area di oscillazione dovuta al passaggio occhi chiusi/occhi aperti. In uno studio sull'accoppiamento cortico-muscolare, Vecchio et al. (2008) misurarono la coerenza spettrale fra EEG e EMG mentre il soggetto stava eretto con gli occhi aperti o chiusi; l'assunzione di base è che l'accoppiamento EEG-EMG possa controllare gli arti inferiori nella posizione eretta. L'area di oscillazione del corpo è identica nei due gruppi (atleti e non-atleti), mentre negli atleti la coerenza EEG-EMG è costante e nei non-atleti diminuisce con gli occhi chiusi. Il dato suggerisce che l'informazione visiva influenzi la coerenza EEG-EMG nei non-atleti, mentre gli atleti sono in grado di controllare ottimamente l'equilibrio grazie agli input propriocettivi.

Alcuni tipi di onde elettroencefalografiche (potenziali lenti) sono modulabili tramite atti di volontà: se questi potenziali vengono proiettati su uno schermo e mostrati al soggetto che li produce, il soggetto può imparare (tramite la tecnica del *biofeedback*) ad aumentare o a diminuire l'ampiezza delle onde stesse. La modulabilità volizionale di queste onde ha consentito di costruire il cosiddetto dispositivo di traduzione del pensiero: Birbaumer et altri (1999) hanno allenato soggetti paralizzati in seguito ad una grave malattia neurologica (come la sclerosi laterale amiotrofica) a produrre potenziali lenti positivi con ampiezza superiore a un certo voltaggio. Se ad esempio il soggetto voleva comporre la lettera B doveva produrre un potenziale lento di elevata ampiezza in risposta a un gruppo di lettere (ad esempio A-K) contenente la lettera da inserire e così via con gruppi di lettere sempre più piccoli fino a giungere fra la scelta di due singole lettere, come A-B ed infine B.

Sebbene sia un processo lento e laborioso ha permesso ai pazienti di comporre messaggi scritti per comunicare con l'esterno.

Da questo esempio emerge la molteplicità di impiego della tecnica del biofeedback, ma in sintesi di cosa si tratta? Sulla base di quanto detto finora circa la neuroanatomia e neurofisiologia specifica del cervello dell'atleta esperto, come è possibile impiegare la tecnica del biofeedback per portare lo sportivo a un miglioramento della propria performance?

### **Tecnica del Biofeedback**

Le ricerche sulla tecnica del *biofeedback* (BFB) cominciarono negli Stati Uniti negli anni quaranta e sul finire degli anni sessanta fu l'ambito clinico a mostrare un crescente interesse. Solo negli anni ottanta la psicologia dello sport fu attratta dalle potenzialità terapeutiche della tecnica del biofeedback e svolse le sue prime ricerche per ridurre il dolore e la fatica, incrementare la forza muscolare e regolare il ritmo cardiaco. Successivamente l'interesse si spostò verso il miglioramento delle prestazioni e l'individuazione delle condizioni psicologiche ad esse associate, attraverso la modifica e il controllo del livello di attivazione. Tali ricerche erano però svolte esclusivamente in setting di laboratorio e soltanto agli inizi degli anni novanta, dopo ripetute critiche, l'applicazione del *biofeedback training* è stata indirizzata verso setting naturali di competizione sportiva.

I risultati delle prime ricerche evidenziarono le condizioni psicofisiologiche associate con prestazioni di alto livello soprattutto nell'ambito degli sport closed skill.

Nonostante si noti recentemente un crescente interesse da parte dei ricercatori, la letteratura evidenzia quanto il biofeedback sia ancora poco conosciuto e applicato all'interno di un più ampio programma di intervento finalizzato a migliorare la prestazione atletica. Infatti l'utilizzo del biofeedback oggi non è ancora considerato parte integrante dell'ordinaria preparazione sportiva, sia mentale che fisica, perché molti atleti e allenatori non ne conoscono l'importanza e le potenzialità nei processi di allenamento.

La tecnica del biofeedback permette di gestire volontariamente alcune funzioni fisiologiche, relative al sistema nervoso autonomo, che sfuggono al controllo cosciente della persona come il battito cardiaco. È possibile ottenere il controllo volontario attraverso un adeguato training di apprendimento che ha inizio con il rilassamento, per mezzo di tecniche come il rilassamento progressivo, da tempo utilizzato anche nell'ambito sportivo e di recente associato alla tecnica del biofeedback, al fine di migliorare la concentrazione degli atleti ed ottenere così prestazioni migliori. I ricercatori hanno notato come la tecnica del biofeedback garantiva significativi effetti positivi sulla gestione delle funzioni fisiologiche se affiancata dall'utilizzo del *training autogeno*, che permetteva di raggiungere il rilassamento ottimale, e dell'*imagery* che sembrava essere la tecnica più efficace nel consentire un maggior effetto di attivazione. Molteplici ricerche presenti in

letteratura rilevano l'efficacia della tecnica del biofeedback in ambito sportivo, in particolare la sua utilità per gestire lo stress, gli stati d'ansia, ma anche per ridurre il dolore e la fatica e dunque migliorare la fiducia in sé degli atleti, soprattutto di alto livello, favorendo l'instaurarsi delle condizioni ottimali volte all'ottenimento della migliore prestazione.

Le tecniche di BFB (retroazione biologica) consistono nel fornire ad un soggetto, tramite un'apposita apparecchiatura elettronica per l'amplificazione dei segnali bioelettrici, un'informazione (un feedback) sensorialmente percepibile, continua ed immediata sull'andamento di una sua funzione fisiologica (volontaria o autonoma) con lo scopo di operare una modificazione della funzione stessa e permettere l'apprendimento di un autocontrollo.

Il feedback può essere acustico o visivo. Durante le sessioni lo psicologo rinforza l'allenamento dell'atleta con un feedback che rileva le variazioni del canale prescelto stabilendo una soglia di riferimento. Il terapeuta ha il completo controllo dei comandi per una puntuale acquisizione dei dati e per fornire al paziente in difficoltà anche dei rinforzi di tipo "placebo", agendo così sulla soglia<sup>1</sup>.

Nel campo della psicologia applicata allo sport, il BFB è una delle tecniche più efficaci per facilitare l'apprendimento dell'autoregolazione dell'attivazione; è stato riconosciuto, infatti, il grande potenziale offerto dalla psicofisiologia per la comprensione e il miglioramento della prestazione atletica.

Il BFB, abbinato alle tecniche di rilassamento e/o di attivazione, può essere utilizzato con successo al fine di ottenere un apprendimento sistematico del processo di psicoregolazione, permettendo all'atleta di definire soggettivamente e affrontare attivamente le situazioni, considerandone le caratteristiche specifiche.

L'utilizzo del BFB consente la realizzazione degli obiettivi seguenti: controllo dell'attivazione; riduzione dell'ansia da prestazione, del dolore e della fatica; incremento della forza muscolare; regolazione del ritmo cardiaco; gestione dello stress e ottimizzazione della performance.

Il BFB utilizza strumenti dotati di sensori e trasduttori (convertitori) che forniscono informazioni sullo stato di funzioni biologiche che solitamente non sottostanno al controllo volontario, quali la tensione muscolare, rilevata attraverso la lettura delle onde Elettromiografiche, la conduttanza cutanea (GSR), la frequenza cardiaca (HR) e le onde cerebrali (EEG).

Attraverso il BFB è possibile identificare le condizioni psicologiche dell'atleta associate sia alle prestazioni migliori che a quelle peggiori, misurare gli effetti del training autogeno, delle tecniche di rilassamento progressivo, dell'imagery e del training musicale.

---

<sup>1</sup> La *soglia* rappresenta un valore ben preciso al di sotto del quale non esiste feedback acustico o visivo.

Le procedure maggiormente utilizzate riguardano quindi la psicoregolazione, il rilassamento, l'attivazione ("psyching-up") e l'allenamento allo stress mediante l'uso di strategie di coping<sup>2</sup>.

Nella procedura di preparazione alla competizione si utilizza BFB computerizzato e un videoregistratore (VCR) abbinati a tecniche di rilassamento e/o attivazione per simulare le sensazioni delle situazioni di gara con un approccio più frequentemente a tre stadi:

- PRIMO STADIO: baseline. All'inizio viene utilizzato un test di autoregolazione dell'attivazione per esaminare il livello "baseline" prima che abbia inizio l'allenamento mentale e durante le varie fasi del programma. Dopo aver registrato la baseline psicofisiologica dell'atleta, gli viene chiesto di immaginare se stesso in uno stato di riposo e di tensione, in maniera consecutiva. Queste prime valutazioni hanno lo scopo di rilevare le misure di psicoregolazione usate intuitivamente dall'atleta e di osservare le sue specifiche modalità di risposta.

- SECONDO STADIO: l'atleta viene istruito sul BFB, impara la respirazione e come controllare in modo consapevole le sue risposte psicofisiologiche. Lo scopo centrale del secondo stadio è rinforzare le modalità di risposta più efficaci dell'atleta al BFB e associarle alle richieste dello sport praticato insegnandogli a controllarle in modo consapevole. In questo stadio vengono introdotte tecniche come la mental imagery, il rilassamento, la respirazione, la musica e altre (Schultz, 1971). Lo psicologo dello sport mostra all'atleta come può rilassarsi o attivarsi (psyched-up) e come a questi stati corrispondano variazioni psicofisiologiche che vengono rilevate dall'apparato del BFB e visualizzate sullo schermo del computer. Durante le sessioni l'atleta chiude gli occhi, si concentra e viene informato del livello di rilassamento/attivazione raggiunto attraverso un feedback sonoro che rileva il canale preferenziale.

- TERZO STADIO: l'atleta impara a modificare volontariamente i propri livelli di attivazione e a mantenere questo stato per quanto lo desidera. In questa fase l'atleta si prepara mentalmente ad affrontare la gara. Il materiale appreso e rinforzato dall'atleta nelle fasi precedenti, viene trasferito nei contesti di allenamento attuale. Alcuni autori consigliano l'uso del BFB portatile per aiutare gli atleti a regolare i loro stati psicofisiologici su campo. All'atleta viene chiesto di immaginare e rivivere le stesse sensazioni avute nella situazione di gara (lo stato di attivazione del pre-gara e la simulazione mentale della gara stessa). A fine sessione si chiede all'atleta di utilizzare le tecniche durante l'allenamento per poter riferire l'adeguatezza del suo stato emozionale-mentale per ottenere una buona prestazione. La padronanza degli stati mentali si raggiunge quando le sensazioni dell'atleta sono perfettamente coordinate ai cambiamenti delle misure psicofisiologiche. A questo

---

<sup>2</sup> Le strategie di *coping* sono volte a predisporre il soggetto ad affrontare efficacemente successivi eventi stressanti.

punto l'atleta ha imparato come controllare sia le risposte psicologiche che biologiche in situazioni di gara, attraverso la comprensione delle sue risposte corporee e dei loro cambiamenti.

Una volta che si sono manifestati in seduta i primi segni dell'apprendimento del controllo volontario, è necessario che il paziente completi il training con degli esercizi da svolgere a casa quotidianamente. La costante pratica di questi esercizi garantisce una buona generalizzazione di quanto appreso in seduta e riveste un ruolo rilevante nel successo della terapia. Al paziente andranno fornite semplici istruzioni e un CD da ascoltare, tendenti a metterlo in grado di riprodurre da solo senza l'aiuto del segnale le sensazioni e il rilassamento ottenuti in seduta.

Al termine del trattamento risulta utile effettuare una serie di sedute di richiamo, con frequenza settimanale, poi quindicinale ed infine mensile, per consentire al paziente di continuare ad esercitarsi con il biofeedback e di verificare e mantenere quanto è stato appreso.

## **Bibliografia**

- AGLIOTI S.M., CESARI P., ROMANI M., URGESI C. (2008). *Action anticipation and motor resonance in elite basketball players*. "Nature Neuroscience", 11(9): 1109-1116.
- BABILONI C., DEL PERCIO C., IACOBONI M., INFARINATO F., LIZIO R., MARZANO N., CRESPI G., DASSÙ F., PIRRITANO M., GALLAMINI M., EUSEBI F. (2008). *Golf putt outcomes are predicted by sensori motor cerebral EEG rhythms*. "Journal of Physiology", 586: 131-139.
- BLANCHARD E.B., EPSTEIN L.H. (1983). *Biofeedback: manuale introduttivo*. Torino, Boringhieri.
- BOSHUIZEN H. P. A. e SCHMIDT H. G. (1992). *On the role of biomedical knowledge in clinical reasoning by experts, intermediates and novices*. "Cognitive Science", 1: 153-184.
- CALVO-MERINO B., GLASER DE, GRÈZES J, PASSINGHAM RE, HAGGARD P. (2005). *Action observation and acquired motor skills: an fMRI study with expert dancers*. "Cerebral Cortex", 15 : 1243-49.
- COSTA A., BONACCORSI M., SCRIMALI T. (1984). *Biofeedback and control of anxiety preceding athletic competition*. "International Journal of Sport Psychology", 15 (2), 98-109.
- CREWS D.J. e LANDERS D.M. (1993). *EEG measures of attentional patterns prior to golf putt*. "Medicine and Science in Sports and Exercise", 25: 116-126.
- DANSKIN D.G. e CROW M.A. (1983). *Biofeedback*. Como, red./studio redazionale.
- DE VRIES H.A. e HOURSH T.J. (1994). *The circulatory system and exercise*. Physiology of exercise for physical education athletics and exercise science (5th ed.). New York: Brown & Benchmark.
- DEENY S.P., HAUFLER M., HARTFIELD B.D. (2009). *Electroencephalographic coherence during visuomotor performance: a comparison of cortico-cortical communication in experts and novices*. "Journal of Motor Behavior", 41: 106-116.
- DEGROOT A. D. (1946). *Thought and choice in chess*. Amsterdam, Noord Hollandsche.
- DI RUSSO F., PITZALIS S., APRILE,T., SPINELLI D. (2005). *Effect of Practice on Brain Activity: An Investigation in Top-Level Rifle Shooters*. "Medicine & Science in Sports & Exercise", 37(9): 1586-1593.
- DOYON J., SONG A. W., KARNI A., LALONDE F., ADAMS M.M., UNGERLEIDER L. G. (2002). *Experience-dependent changes in cerebellar contributions to motor sequence learning*. "Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA", 99: 1017-1022.
- EARLE, GB. (1988). *Task difficulty and EEG alpha asymmetry: an amplitude and frequency analysis*. "Neuropsychobiology", 20: 95-112.
- ELBERT T., PANTEV C., WIENBRUCH C., ROCKSTROH B., TAUB, E. (1995). *Increased cortical representation of the fingers of the left hand string players*. "Science", 270: 305-307.

- ENOKA R. M. (1997). *Neuronal adaptations with chronic physical activity*. "Journal of Biomechanics", 30: 447–455.
- ERICSSON K. A. (2005). *Recent advances in expertise research*. "Applied Cognitive Psychology", 19: 233–241.
- ERICSSON K. A. e LEHMANN A. C. (1996). *Expert and exceptional performance: Evidence of maximal adaptation to task constraints*. "Annual Review of Psychology", 47: 273–305.
- ERICSSON K. A., KRAMPE R. T., TESCH-RÖMER C. (1993). *The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance*. "Psychological Review", 100: 363–406.
- FOURKAS A. D., BONAVOLONTÀ V., AVENANTI A., AGLIOTI S.M. (2008). *Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players*. "Cerebral cortex" (New York, N.Y.: 1991), 18(10): 2382-90.
- GOULET C., BARD M., FLEURY C. (1989). *Expertise differences in preparing to return a tennis serve: A visual search information processing approach*. "Journal of Sports & Exercise Psychology", 11: 382–398.
- HATFIELD B. D., LANDERS D. M., RAY W. J. (1984). *Cognitive processes during self-paced motor performance: An electroencephalographic profile of skilled marksmen*. "Journal of Sport Psychology", 6(1): 42-59.
- HATFIELD B.D. e HILLMAN C.H. (2001). *The psychology of sports. A mechanistic understanding of the psychology of superior performance*. In: R.N. Singer, H. Hausenblas & C. Janelle (Eds), Handbook of sport psychology (2nd ed.). New York : John Wiley & Sons, 362-388.
- HUNG T., HAUFLER A., LO L., MAYER-KRESS G., HATFIELD B. (2007). *Visuomotor expertise and dimensional complexity of cerebral cortical activity*. "Medicine and Science in Sports and Exercise", 40: 752–759.
- HUNG T.M., HAUFLER A.J., LO L.C., MAYER-KRESS G., HATFIELD B.D. (2008). *Visuomotor expertise and dimensional complexity of cerebral cortical activity*. "Medicine and Science in Sports and Exercise", 40: 752-759.
- JACOBSON E. (1938). *Progressive relaxation*. Chicago, University of Chicago Press.
- JONES A. M. e CARTER H. (2000). *The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness*. "Sports Medicine", 29: 373–386.
- KERICK S.E., DOUGLASS L.W., HATFIELD B.D. (2004). *Cerebral cortical adaptations associated with visuomotor practice*. "Medicine and Science in Sport and Exercise", 36: 118-129.
- KIM J., LEE H.M., KIM W.J., PARK H.J., KIM S.W., MOON D.H., WOO M., TENNANT L.K. (2008). *Neural correlates of pre-performance routines in expert and novice archers*. "Neuroscience Letters", 445: 236-241.



- KRINGS T. R. e TOPPER (2000). *Cortical activation patterns during complex motor tasks in piano players and control subjects. A functional magnetic resonance imaging study*. "Neuroscience Letters", 278: 189–193.
- KRUPINSKI E.A., TILLACK, A.A., RICHTER L., HENDERSON J.T., BHATTACHARYYA A.K., SCOTT K.M., GRAHAM A.R., DESCOUR M.R., DAVIS J.R., WEINSTEIN R.S. (2006). *Eye-movement study and human performance using telepathology virtual slides. Implications for medical education and differences with experience*. "Human Pathology", 37: 1543–1556.
- LANDAU S.M., SCHUMACHER E.H., GARAVAN H., DRUZGAL T.J., D'ESPOSITO M. (2004). *A functional MRI study of the influence of practice on component processes of working memory*. "NeuroImage", 22: 211–221.
- LANDERS D.M., PETRUZZELLO S.J., SALAZAR W., CREWS D.J., KUBITZ K.A., GANNON T.L., HAN M. (1991). *The influence of electrocortical biofeed-back on performance in pre-élite archers*. "Medicine and Science in Sport and Exercise", 23: 123-129.
- LEHMANN A. C. e GRUBER H. (2006). *Music*. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, & R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, 457–470. Cambridge: Cambridge University Press.
- LOTZE M., ERB M., FLOR H., HUELSMANN E., GODDE B., GRODD W. (2000). *fMRI evaluation of somatotopic representation in human primary motor cortex*. "Neuroimage", 11: 473-481.
- MIKHEEV M., MOHR C., AFANASIEV S., LANDIS T., THUT G. (2000). *Motor control and cerebral hemispheric specialization in highly qualified judo wrestlers*. "Neuropsychology", 8: 1209–1219, 200.
- MILTON J., SOLODKIN A., HLUSTIK P., SMALL S.L. (2007). *The mind of expert motor performance is cool and focused*. "Neuroimage", 35: 804-813.
- MÜNTE T.F., ALTENMÜLLER E., JÄNCKE L. (2002). *The musician's brain as a model of neuroplasticity*. "Nature Reviews": Neuroscience, 3: 473–478.
- MÜNTE T.F., NAGER W., BEISS T., SCHRÖDER C., ALTENMÜLLER E. (2003). *Specialization of the specialized: Electrophysiological investigations in professional musicians*. "Annals of the New York Academy of Sciences", 999: 131–139.
- NEUHAUS C., KNÖSCHE, T. R., FRIEDERICI A. D. (2006). *Effects of musical expertise and boundary markers on phrase perception in music*. "Journal of Cognitive Neuroscience", 18: 472–493.
- NIELSEN J. B. e COHEN L.G. (2008). *The Olympic brain. Does corticospinal plasticity play a role in acquisition of skills required for high-performance sports?* "The Journal of physiology", 586(1): 65-70.
- NUNEZ P.L. (1995). *Neocortical dynamics and human EEG rhythms*. Oxford: Oxford University Press.

- PASCUAL-LEONE A., WASSERMAN E.M., SADAT N., E M. HALLETT (1995). *The role of reading activity on the modulation of motor cortical outputs to the reading hand in Braille readers*. "Annals of Neurology", 38: 910–915.
- PEARCE, A.J., THICKBROOM, G.W., BYRNES, M.L., MASTAGLIA F.L. (2000). *Functional reorganisation of the corticomotor projection to the hand in skilled racquet players*. "Experimental Brain Research", 130: 238-243.
- SCHULTZ J.H. (1971). *Il training Autogeno. Esercizi Superiori*. Teoria del metodo, vol. II, trad. it., Milano, Feltrinelli.
- SMITH M.E., MCEVOY L.K., GEVINS A. (1999). *Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition*. Brain Research, Cognitive Brain Research, 7: 389-404.
- SPINELLI D., DI RUSSO F., PITZALIS S. (2011). *Il cervello dell'atleta*. In Sportivamente: temi di Psicologia dello Sport, ed. Lucidi F., pp. 112-127. Milano: Edizioni Universitarie di Lettere Economia Diritto.
- VAN ZUIJEN T. L., SUSSMAN E., WINKLER I., NÄTÄÄNEN R., TERVANIEMI M. (2004). *Grouping of sequential sounds. An event-related potential study comparing musicians and nonmusicians*. "Journal of Cognitive Neuroscience", 16: 331–338.
- VECCHIO F., DEL PERCIO C., MARZANO N., FIORE A., TORAN G., ASCHIERI P., GALLAMINI M., CABRAS J., ROSSINI P.M., BABILONI C., EUSEBI F. (2008). *Functional cortico-muscular coupling during upright standing in athletes and nonathletes: a coherence electroencephalographic-electromyographic study*. "Behavioural Neuroscience", 122: 917-927.
- WOLPE J. (1973). *The practice of behavior therapy*. New York, Pergamon Press.
- WRIGHT M.J. e JACKSON R.C. (2007). *Brain regions concerned with perceptual skills in tennis: an fMRI study*. "International Journal of Psychophysiology", 63: 214-220.