

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI FIRENZE
FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA**

Corso di Laurea specialistica in scienza e tecnica dello sport

Titolo della Tesi:

**"ANALISI DEGLI EFFETTI DELL'ALLENAMENTO FUNZIONALE
SULLA CAPACITA' DI EQUILIBRIO E FORZA IN GIOVANI
CALCIATORI"**

Relatore Prof. Massimo Gulisano

Correlatore Prof. Mario Marella

Tesi di Laurea
Riccardo Santi

A. A. 2006\2007

1. Introduzione.....	pag. 3
2. Strutture anatomiche e funzioni connesse alla capacità di equilibrio.....	pag. 5
2.1. <i>struttura e funzione archeopropriocettiva</i>	
2.2. <i>struttura e funzione vestibolare</i>	
2.3. <i>struttura e funzione visiva</i>	
3. Equilibrio, proprioccezione e coordinazione.....	pag. 31
3.1. <i>Sistemi integrati che presiedono alla capacità di equilibrio</i>	
3.2. <i>Rapporto tra equilibrio e proprioccezione</i>	
3.3. <i>Tipi e importanza delle capacità coordinative</i>	
4. Il riscaldamento.....	pag. 38
4.1. <i>I principi generali dell'organizzazione del riscaldamento</i>	
4.2. <i>Struttura e contenuto del riscaldamento</i>	
4.3. <i>Applicazione al calcio</i>	
5. Gli adattamenti.....	pag. 43
5.1 <i>L'adattamento e i problemi della preparazione razionale degli atleti</i>	
5.2. <i>Le reazioni di adattamento nell'attività muscolare</i>	
5.3. <i>La formazione dell'adattamento a breve termine</i>	
5.4. <i>La formazione dell'adattamento a lungo termine</i>	
5.5. <i>I fenomeni di disadattamento, riadattamento e superadattamento negli atleti</i>	
6. La forza muscolare.....	pag. 51
6.1 <i>Determinanti della forza muscolare</i>	
6.2. <i>Determinanti della velocità di accorciamento</i>	
7. La coordinazione e la metodologia del suo miglioramento.....	pag. 54
7.1. <i>Tipi di capacità coordinative e fattori che le determinano</i>	
8. Introduzione alla ricerca.....	pag. 56
8.1. <i>Mezzi</i>	
8.2. <i>Metodi</i>	
8.3. <i>Risultati</i>	
8.4. <i>Discussione</i>	
9. Conclusioni.....	pag. 61
10. Bibliografia.....	pag. 64

1. Introduzione

Negli ultimi anni, analizzando il modello prestativo del gioco del calcio, l'intensità e la frequenza delle partite, il numero sempre crescente di infortuni, è andato aumentando lo studio e l'elaborazione, dagli addetti ai lavori, di nuove tipologie di allenamento che andassero più incontro alle attuali esigenze dei giocatori, dell'allenatore, delle società e degli impegni sempre più fitti che il calciatore moderno deve sostenere.

Da qui l'introduzione di nuove metodiche di allenamento della forza e della resistenza, ma soprattutto la voglia e la volontà di dare al giocatore una maggior conoscenza del proprio corpo e di poter percepire lo stesso in ogni suo aspetto e in ogni suo momento, in modo tale da aumentare il rendimento attraverso la percezione e precisione dei gesti che il giocatore stesso compie in condizioni più o meno variabili.

Da questi presupposti il passo è stato breve nell'avvertire la necessità di proporre esercitazioni sull'equilibrio, la coordinazione, la ritmicità dei movimenti e l'agilità; tutte abilità date per scontate negli atleti, ma che invece sono state e tutto oggi vengono tralasciate nell'allenamento dei calciatori.

Analizzando in modo più dettagliato e preciso l'aspetto sia coordinativo che dell'equilibrio è evidente come queste due componenti siano fondamentali, non solo nel calcio, ma in tantissimi altri sport; quante volte, ammirando magari un gol in rovesciata, c'è scappato detto "guarda che coordinazione!!" oppure vedere un attaccante che conserva il possesso della palla per calciare nonostante la pressione fisica data dal contatto dell'avversario. Ebbene queste sono alcune delle situazioni che si vengono a creare durante una partita di calcio; ecco quindi la necessità di escogitare un tipo di allenamento adatto al giocatore che oltre che migliorare il suo stato di forma attraverso l'aumento delle capacità condizionali (forza, velocità e resistenza), aumenti la sua capacità di reazione in situazioni improvvise e apparentemente incontrollabili.

Concludendo quindi possiamo affermare che con un allenamento propriocettivo si contribuisce sia a migliorare la gestione del disequilibrio, migliorando di conseguenza la prestazione motoria e sportiva sia a ridurre l'insorgenza di infortuni durante l'allenamento e la gara.

Tale tipologia di allenamento va al di là dei tradizionali studi sulla propriocezione di derivazione compensativa e rieducativa, per inquadrarsi a pieno titolo nell'ambito del processo di allenamento delle attività sportive di squadra. Tutto ciò ci porta a concludere come l'allenamento neuromuscolare e propriocettivo possa essere

utilizzato per la prevenzione di infortuni e per il miglioramento della capacità di equilibrio e della performance.

Da qui, lo studio che effettuerò sarà improntato su esercitazioni tecniche e fisiche, svolte in condizioni di equilibrio instabile, al fine di migliorare le prestazioni degli atleti nel campo delle prestazioni, nella gestione dell'equilibrio e nella prevenzione degli infortuni.

Lo studio e la descrizione dei rapporti funzionali tra le strutture anatomiche, centrali e periferiche, implicate nel processo di analisi delle informazioni propriocettive e nella gestione del disequilibrio, assumono un ruolo fondamentale nella comprensione di queste correlazioni: infatti rendono evidente come esistono differenti strategie per il controllo dell'equilibrio e come tale funzione sia assicurata dall'intervento integrato e sistemico di differenti organi ed apparati.

2. Strutture anatomiche e funzioni connesse alla capacità di equilibrio

Il controllo posturale e la gestione del disequilibrio si basano sull'intervento coordinato e sinergico di tre importanti funzioni:

- funzione archeopropriocettiva
- funzione vestibolare
- funzione visiva

2.1. STRUTTURA E FUNZIONE ARCHEOPROPRIOCETTIVA

La maggioranza dei segnali propriocettivo è diretta verso aree comuni a tutti i vertebrati, definite archeo perché fisiologicamente più antiche (Riva 2000). Di tali aree fanno parte:

- i recettori periferici
- il midollo spinale
- il tronco encefalico
- il cervelletto

I recettori periferici

I recettori periferici sono terminazioni nervose o delle cellule deputate a captare le influenze delle diverse forme di energia che agiscono sull'organismo e a trasformarle in segnali che vengono trasmessi dai nervi ai centri in modo da essere avvertite ed eventualmente confrontate con esperienze pregresse.

Una classificazione classica dei recettori è quella proposta da Sherrington. Basata sulla provenienza dello stimolo che essi recepiscono, per la quale si distinguono *esterocettori, enterocettori e propriocettori.*

Gli *esterocettori* sono recettori sensibili agli stimoli provenienti dall'ambiente esterno, sono rappresentati da diverse forme di terminazioni nervose (terminazioni libere e corpuscoli terminali) e costituiscono i recettori visivi, nei quali l'occhio è solo il primo elemento. In esso avvengono la focalizzazione delle immagini e la loro trasformazione in codice nervoso (traduzione). Ciascun occhio è un dispositivo capace di rilevare radiazioni elettromagnetiche mediante una superficie costituita da un centinaio di milioni di fotorecettori. Questi ultimi sono di due tipi, i coni e i bastoncelli, ed hanno la funzione di frazionare, codificare e trasmettere l'informazione derivata dai raggi luminosi dando origine, nell'insieme al senso della vista. Il sistema è poi formato dai centri sottocorticali, dove vengono integrati i riflessi oculari destinati ad ottimizzare la formazione delle immagini mediante la loro fine focalizzazione, l'adattamento all'intensità luminosa e l'opportuno orientamento dell'occhio; e dai centri corticali, dove avviene l'elaborazione delle immagini visive e infine la percezione.

Di altra natura sono i recettori cutanei: la loro funzione meccanocettiva è deputata alla ricezione, alla trasmissione al S.N.C. e all'elaborazione corticale di informazioni sull'ambiente esterno.

Questa funzione media la capacità di discriminare la forma, la dimensione e le caratteristiche della superficie degli oggetti, il loro movimento sulla cute e la vibrazione. Si riconoscono quattro tipi di meccanocettori:

- i dischi di Merkel
- i corpuscoli di Meissner
- i corpuscoli del Ruffini del derma
- i corpuscoli del Pacini

Gli *enterorecettori* sono recettori deputati alla ricezione degli stimoli provenienti dall'interno dell'organismo, in particolare dai visceri. Le fibre sensitive che si ramificano negli organi viscerali terminano, come le fibre sensitive somatiche, con terminazioni libere o con corpuscoli terminali.

I *proprioceettori* sono recettori nervosi sensibili alle stimolazioni provenienti dall'interno dell'organismo. Ne sono un esempio i proprioceettori vestibolari che si trovano nelle macule degli organi otolitici e nelle ampolle dei canali semicircolari, che costituiscono gran parte dell'orecchio interno. Da queste aree sensoriali partono informazioni riguardanti i movimenti del capo.

Dei proprioceettori fanno parte anche i fusi neuromuscolari e gli organi muscolo tendinei del Golgi.

I fusi neuromuscolari sono disposti in parallelo con le fibre muscolari; questa disposizione anatomica fa sì che la lunghezza del fuso vari così come varia la lunghezza delle fibre muscolari: se queste si accorciano si accorcia anche il fuso. Il numero dei fusi presenti, espresso per unità di massa muscolare, varia molto nei

diversi gruppi muscolari. Mediamente, vi è maggior ricchezza di fusi nei muscoli coinvolti in movimenti relativamente complessi rispetto a muscoli che invece compiono azioni piuttosto semplici. I fusi contengono fibre muscolari, del tutto simili a quelle del muscolo stesso, definite *intrafusali* per distinguerle da quelle del muscolo dette anche *extrafusali*.

Le fibre intrafusali si distinguono in due tipi:

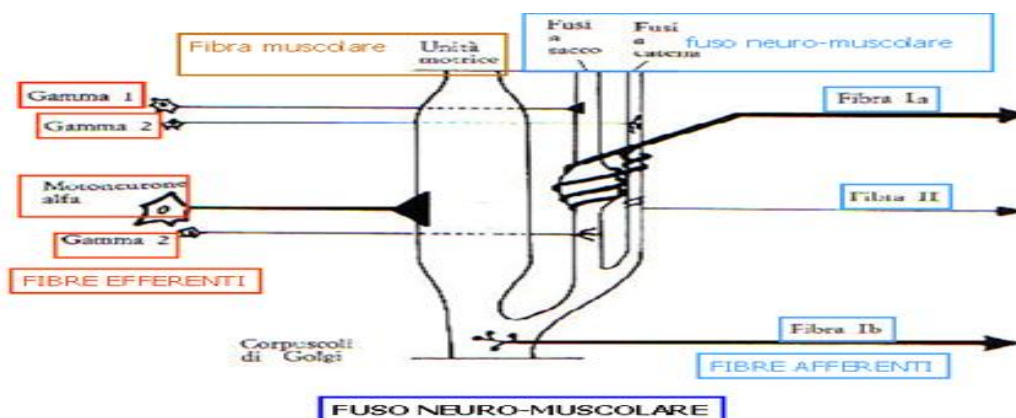
- a sacco nucleare, sono di calibro maggiore e sono così definite in quanto possiedono molti nuclei disposti nella parte centrale del fuso
- a catena di nuclei, che presentano i nuclei disposti longitudinalmente. In ogni fuso vi sono 4-5 fibre muscolari a catena di nuclei

Le fibre intrafusali, essendo vere e proprie fibre muscolari, possiedono miofilamenti e quindi possono contrarsi.

I fusi dispongono di un'innervazione afferente ed efferente. Le afferente sono di due tipi: un contingente afferente proviene dalla parte centrale del fuso, si tratta di fibre dette *anulospirali* stimulate dal grado di allungamento del fuso, cioè è la lunghezza e maggiore è la frequenza di scarica afferente. Esiste poi un secondo contingente sensitivo costituito dalle cosiddette *terminazioni a fiorami* disposti principalmente verso le estremità del fuso, e in maggior misura sulle fibre a catena di nuclei. Le terminazioni a fiorami rispondono principalmente a variazioni di velocità di allungamento e accorciamento del muscolo e quindi anche dei fusi. Le afferenze provenienti dai fusi entrano nel midollo attraverso le radici posteriori e la branca afferente midollare si suddivide in vari fasci. Una proiezione si dirige direttamente sui motoneuroni alfa che innervano lo stesso muscolo da cui provengono le afferenze fusali, questa connessione è quindi segmentale, cioè si realizza al livello midollare di entrata delle radici, e monosinaptica con sinapsi di tipo eccitatorio molto potente.

Altre connessioni segmentali sono:

- una proiezione, tramite un interneurone inibitorio, sui muscoli antagonisti omolaterali rispetto al muscolo da cui provengono le afferenze fusali
- una proiezione tramite motoneurone inibitorio sul muscolo omonimo controlaterale
- una proiezione monosinaptica eccitatoria sul muscolo antagonista controlaterale.



Questa disposizione realizza la cosiddetta innervazione crociata che consente l'esecuzione di movimenti come la marcia, ove si ha l'alternanza nelle fasi di contrazione e rilasciamento di gruppi muscolari omologhi. Ad esempio, quando si contrae il quadricipite della coscia destra, è rilasciato il quadricipite della coscia sinistra. Contemporaneamente, nella coscia sinistra si ha la contrazione dei muscoli della loggia posteriore (antagonisti del quadricipite), ma il rilasciamento degli stessi nella coscia destra. Un prolungamento centrale dell'afferenza costituisce nel midollo la via spino-cerebellare e porta quindi il contingente afferente al cervelletto.

Il fuso dispone anche di un'innervazione efferente. Le fibre muscolari intrafusali sono innervate da assoni provenienti da piccoli motoneuroni, detti motoneuroni gamma, disposti nel midollo spinale a fianco dei motoneuroni alfa. Una stimolazione a partenza dai motoneuroni gamma fa contrarre le fibre intrafusali, condizione che causa stimolazione delle afferenze sensitive fusali, indipendentemente dal fatto che cambi la lunghezza del muscolo e quindi delle fibre extrafusali.

Il riflesso da stiramento

Il riflesso include una branca afferente, costituita dall'afferenza fusale del muscolo e una sinapsi eccitatoria midollare sul motoneurone alfa che innerva lo stesso muscolo da cui proviene l'afferenza, la branca efferente del motoneurone sul midollo stesso. Se il muscolo si allunga, questo costituisce stimolo per i fusi (essi sono infatti recettori di allungamento) che sono in grado di rilevare tanto l'allungamento quanto la velocità di allungamento: le afferenze fusali sono eccitatorie sui motoneurone che innervano lo stesso muscolo, pertanto l'azione riflessa legata alla scarica afferente fusale è la contrazione del muscolo. In pratica, quindi, il riflesso ha lo scopo funzionale di generare una contrazione muscolare che si oppone all'azione meccanica che si è esercitata sul muscolo stesso.

Per esempio, mettendo l'avambraccio a 90°, e poggiando dei libri sulla mano, avremo un aumento del peso sulla mano stessa; questo causa un allungamento del bicipite, rilevato dai recettori del bicipite stesso e la risposta riflessa è una maggior contrazione del bicipite e questa risposta porta il braccio in posizione originale.

E' ovvio che perché l'azione del bicipite si possa estrinsecare ci deve essere inibizione dei muscoli antagonisti del bicipite stesso, posti nella loggia posteriore del braccio. Si capisce quindi il significato dell'azione inibitoria dell'afferenza fusale, tramite interneurone inibitorio, sui muscoli antagonisti del bicipite.

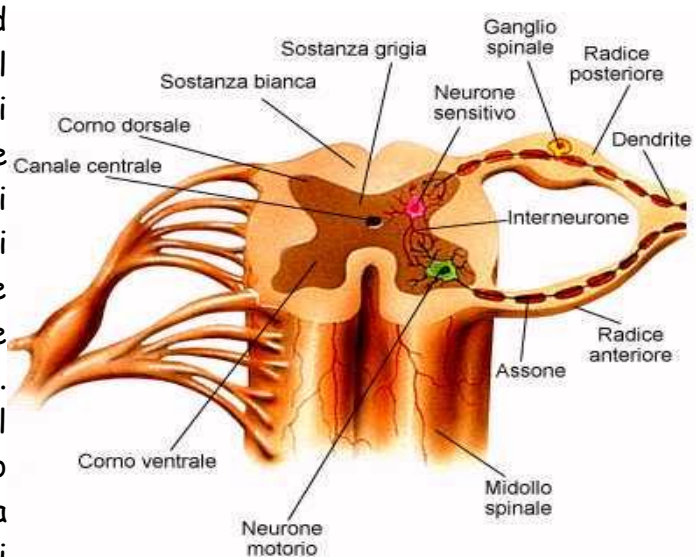
Nei tendini, quindi in serie rispetto alle fibre muscolari, sono disposti dei meccanocettori denominati recettori del Golgi. Tali recettori sono in effetti disposti alla giunzione tra tendine e muscolo e sono in contatto con circa 25 fibre muscolari. I recettori del Golgi sono recettori di forza, ed essendo posti in serie rispetto al

muscolo rispondono a variazioni della forza che si sviluppano ai capi tendinei. La forza può aumentare indipendentemente dalle variazioni di lunghezza del muscolo. L'afferenza dei recettori del Golgi attiva con sinapsi eccitatoria un interneurone a sua volta inibitorio sul motoneurone alfa spinale. Pertanto, l'attivazione dei recettori del Golgi risulta inibitoria sul motoneurone alfa spinale; il riflesso a partenza dai Golgi è molto più elevata della soglia di stimolazione dei fusi. Bisogna aggiungere che la soglia di stimolazione dei Golgi è molto più elevata della soglia di stimolazione dei fusi, quindi, fintanto che non vengono stimolati i recettori del Golgi prevale il riflesso eccitatorio a partenza dei fusi.

Un buon esempio in cui il riflesso a partenza dai Golgi prevale su quello a partenza dai fusi è quello relativo all'atterraggio di un ginnasta quando lascia la presa agli anelli. Il ginnasta, molto spesso, nel contatto con il terreno sembra perdere l'equilibrio ed è netta la sensazione che una gamba gli ceda. La spiegazione di tale fenomeno è la seguente: nell'atterraggio le ginocchia si flettono, questo causa allungamento dei muscoli quadricipiti, stimolazione dei fusi e contrazione di natura riflessa. Ma, a causa dell'elevata energia cinetica nella fase di atterraggio, la tensione ai capi tendinei può aumentare a tal punto da stimolare i recettori del Golgi, dando come risultato un'inibizione dei muscoli dei quadricipiti che rende ragione del cedimento delle gambe dell'atleta. Il riflesso a partenza dai recettori di Golgi va considerato un riflesso di protezione, infatti un eccessivo aumento della tensione tendinea può portare allo strappo (del muscolo o dell'inserzione del tendine sull'osso).

Il midollo spinale

È contenuto nello speco vertebrale, che non occupa per intero, ma fino alla seconda vertebra lombare ed ha una duplice funzione: da una parte rappresenta il passaggio obbligatorio dei segnali in ingresso ed in uscita della maggior parte del corpo, collegando la periferia con i centri superiori; dall'altra, può essere considerato il livello più periferico di integrazione, in quanto i circuiti nervosi dei riflessi spinali collegano le vie di ingresso a quelle d'uscita anche senza l'intervento di livelli superiori. Dal punto di vista morfologico il midollo spinale è costituito esternamente dalla cosiddetta sostanza bianca, formata da fasci di fibre mieliniche, mentre al suo interno è presente la sostanza grigia, che è costituita dai pironofori di cellule nervose. Se si effettua una sezione trasversale, la sostanza



grigia dà forma ad una specie di "H maiuscola", in cui si distinguono due colonne anteriori (corna anteriori) e due posteriori (corna posteriori).

I neuroni delle corna anteriori sono detti motoneurone e sono di due tipi:

- motoneurone alfa, che sono più grossi e perciò hanno una velocità di conduzione molto alta (70-120 m/sec.). Essi innervano le fibre muscolari cui portano, l'impulso nervoso tramite la placca motrice.
- Motoneurone gamma, che forniscono l'innervazione motoria dei fusi neuromuscolari, e hanno un diametro più piccolo con velocità di conduzione di 15-30 m/sec.

Mentre i motoneurone alfa determinano l'accorciamento del muscolo in via diretta, quelli gamma, provocando la contrazione delle fibre intrafusali, non esplicano un effetto diretto sulla lunghezza del muscolo.

Tuttavia, modificando le fibre intrafusali, ne stimolano le terminazioni anulospirali, generando impulsi che viaggiano lungo le fibre Ia, arrivano nel midollo e si scaricano sui motoneurone alfa. In tal modo contribuiscono all'estrinsecazione del riflesso tonico da stiramento ed al mantenimento del tono muscolare. I motoneurone gamma, a loro volta, sono influenzati da strutture più rostrali del neurasse, quali corteccia cerebrale, cervelletto, formazione reticolare (Rindi, Manni 2001).

Le corna posteriori sono formate dai neuroni bersaglio di una gran parte delle fibre sensoriali in ingresso.

La sostanza bianca è raccolta in 6 cordoni, 2 anteriori o ventrali, 2 laterali e 2 dorsali o posteriori. I cordoni sono formati da fasci di fibre nervose, alcuni di questi sono ascendenti e in linea di massima sono fasci sensitivi, trasportano informazioni di sensibilità dalla periferia ai centri nervosi superiori, altri sono discendenti, per la maggior parte motori, e trasportano impulsi motori dai centri superiori in periferia.

Diversi tipi di sensibilità

Sensibilità esteroceettiva: concerne gli stimoli provenienti dall'ambiente esterno e si distingue in generale, recepita da esteroceettori situati nella cute e nel tessuto sottocutaneo (a sua volta distinta in epicritica, quando è fine e discriminata, e protopatica, quando è più grossolana); e in speciale, comprendente la sensibilità olfattiva, visiva, acustica vestibolare e gustativa.

La sensibilità vestibolare, poiché induce risposte posturali al fine del mantenimento dell'equilibrio, è definita anche propriocettiva speciale, per distinguerla dalla propriocettiva propriamente detta.

La sensibilità esteroceettiva generale epicritica e propriocettiva cosciente sono trasportate nel midollo spinale dai fascicoli gracile e cuneato che si sistemano nel cordone posteriore della sostanza bianca.

La sensibilità esteroceettiva di tatto e di pressione è trasportata dai fasci spino-talamici anteriori, mentre quella termo-dolorifica dai fasci spino-talamici laterali.

Sensibilità enterocettiva: recepita dagli enterocettori situati nei visceri; veicola soprattutto stimoli di tipo nocicettivo, oppure stimoli meccanici o chimici recepiti da terminazioni libere e recettori.

Sensibilità propriocettiva: recepita dai propriocettori dei muscoli, dei tendini e delle articolazioni, che inviano al S.N.C. informazioni sul tono muscolari e sulla posizione dei segmenti scheletrici, inducendo risposte riflesse che controllano l'atteggiamento posturale e il mantenimento dell'equilibrio. La sensibilità propriocettiva si distingue in cosciente e incosciente.

Le fibre che trasportano la sensibilità propriocettiva cosciente decorrono con quelle della via esteroceettiva epicritica e raggiungono la corteccia cerebrale. Le vie della sensibilità propriocettiva incosciente non raggiungono la corteccia cerebrale, ma terminano nella corteccia e nei nuclei centrali del lobo anteriore del cervelletto (paleocerebello), centro di integrazione, che attraverso le sue connessioni regola i movimenti e il tono posturale dei muscoli secondo una rappresentazione somatica della periferia muscolare (Pasqualino, Panettoni 2002).

il tronco encefalico

Il tronco encefalico, parte assile dell'encefalo, è costituito in senso caudocraniale, dal bulbo, dal ponte e dal mesencefalo.

Il bulbo è in diretta continuazione con il midollo spinale, mentre il mesencefalo continua nel diecenfalo. In queste tre strutture si descrivono una parte anteriore che si chiama piede e una parte posteriore, la calotta.

Il piede è la parte più recente ed è occupato dai fasci piramidali; la calotta è la parte più antica ed è costituita da sostanza grigia e sostanza bianca. Quest'ultima è formata in gran parte da fasce di fibre ascendente, cioè fasci che trasportano informazioni di sensibilità.

Nella sostanza bianca troviamo i fasci spino-talamici anteriori e laterali e i fasci spino-cerebellari.

La sostanza grigia invece appare sparsa, formata da una gran massa di neuroni variamente connessi che non appartengono a vie specifiche afferenti o efferenti. Alcune formazioni di sostanza grigia hanno il significato di centri motori, altre hanno il significato di centri di ritrasmissione di informazioni sensitive. La principale funzione dei centri motori consiste nell'esercitare il dovuto controllo posturale durante il movimento.

Il *nucleo vestibolare* stimola i motoneuroni periferici dei muscoli estensori che mantengono il corpo eretto, vincendo la forza di gravità.

Il *nucleo rosso*, che si trova nel mesencefalo, fornisce il collegamento tra cervelletto e il midollo spinale. Le vie discendenti dal nucleo rosso sono importanti per la coordinazione del movimento degli arti del lato opposto del corpo.

Il *tetto* nel mesencefalo contiene due paia di nuclei, i collicoli superiore e inferiore. Questi vengono stimolati da informazioni uditive provenienti dalle orecchie e da informazioni visive provenienti dagli occhi. L'attività nel tratto tettorale stimola i muscoli del collo che modificano la posizione della testa, mentre gli impulsi che provengono dalla *formazione reticolare* influenzano l'attività dei motoneuroni inferiori che vanno ai muscoli del tronco e a quelli prossimali degli altri.

Tutti questi centri partecipano alla realizzazione dei riflessi del tronco encefalico, che operano in maniera automatica per mantenere il corpo in equilibrio durante il movimento (Grieve, Tyldesley, 1991).

il cervelletto

È situato posteriormente al tronco encefalico, al quale è connesso mediante i peduncoli cerebellari.

La porzione mediana è detta *verme* ed è la sede del controllo da parte del cervelletto della muscolatura assiale e prossimale. Lateralmente al verme ci sono gli *emisferi cerebellari*, i quali presentano una zona intermedia che controlla i movimenti delle parti distali degli arti e una zona laterale che collabora con la corteccia cerebrale e i nuclei della base per la formazione dei programmi motori.

Fondandosi su dati embriologici e funzionali, il cervelletto è stato diviso in tre territori:

- il lobo flocculo-nodulare, la parte filogeneticamente più antica del cervelletto, costituisce l'*archicerebello*, che funzionalmente rappresenta il centro dell'equilibrio vestibolare
- il lobo anteriore rappresenta il *paleocerebello*, che costituisce il centro regolatore del tono muscolare della postura
- il lobo posteriore, la parte più recente, costituisce il *neocerebello*, centro regolatore della motilità volontaria e automatica.

A ciascuno di questi tre territori cerebellari corrisponde un nucleo centrale, il nucleo del tetto per l'archicerebello, i nuclei globoso e emboliforme per il paleocerebello, il nucleo dentato per il neocerebello.

Connessioni dell'archicerebello

Il cervelletto riceve afferente che partono dalle cellule sensoriali delle macule acustiche dell'utrículo e del sacculo e delle creste ampollari dei canali semicircolari. Queste cellule sono connesse con i neuroni bipolari del ganglio di Scarpa del nervo vestibolare, che penetra nel tronco cerebrale in corrispondenza della fossetta retrolivare del bulbo e termina con le sue fibre in rapporto con i nuclei vestibolari. Dai neuroni di tali nuclei partono fibre che raggiungono la corteccia del lobo nodulo-

floccurale del cervelletto, passando per il peduncolo cerebellare inferiore (fibre vestibolo-cerebellari). Dalla corteccia cerebellare, e in particolare dai neuroni del Purkinje, partono efferenti cerebellari che raggiungono il nucleo del tetto; qui nascono fibre che attraversano il peduncolo inferiore raggiungono ancora i nuclei vestibolari bulbari (via cerebello-vestibolare). Dai nuclei vestibolari si dipartono i fasci vestibolo-spinali che si portano in basso e raggiungono il corno anteriore del midollo spinale, ove si articolano con i motoneuroni somatici. Da quanto esposto risulta come, in seguito a stimoli vestibolari, la funzione integratrice cerebellare intervenga nei movimenti per il mantenimento dell'equilibrio.

Connessioni del paleocerebello

Al paleocerebello giungono impulsi della sensibilità propriocettiva incosciente dei muscoli, dei tendini, delle articolazioni del tronco, degli arti e della testa, nonché della sensibilità cutanea. Le informazioni raggiungono il cervelletto attraverso diverse vie. I fasci spino-cerebellari ventrale e dorsale proiettano al paleocerebello impulsi della sensibilità propriocettiva incosciente dei territori degli arti e del tronco.

Le fibre bulbo-cerebellari trasportano impulsi sensitivi provenienti dagli arti superiori e dalla testa.

Le fibre trigemino-cerebellari trasportano impulsi della sensibilità propriocettiva dei muscoli masticatori e dei muscoli oculomotori, ma anche impulsi della sensibilità esterocettiva.

Le fibre reticolo-cerebellari fanno parte dei sistemi efferenti della formazione reticolare, mentre quelle olivo-cerebellari sono originate dal nucleo olivare inferiore del bulbo, che costituisce un importante nucleo di relè nel circuito del fascio della via spino-olivo-cerebellare, lungo la quale si ammette che vengano trasmessi impulsi propriocettivi incoscienti del tronco.

Dalla corteccia paleocerebellare, alla quale giungono le afferenti appena descritte, partono gli impulsi efferenti. Il primo relè avviene in corrispondenza dei nuclei cerebellari globoso e emboliforme: da qui parte la via cerebello-rubra crociata che raggiunge il nucleo il nucleo rosso controlaterale, da cui nasce il fascio rubro-spinale che dopo la decussazione discende fino al midollo spinale. Qui tali fibre terminano in sinapsi con i motoneuroni del corno anteriore, direttamente o attraverso neuroni di associazione.

Il controllo cerebellare sul tono muscolare si realizza attraverso motoneuroni gamma.

Connessioni del neocerebello

Il neocerebello è in correlazione con la corteccia cerebrale, infatti interviene nella coordinazione e nella stabilizzazione dei movimenti volontari.

Dalla corteccia cerebrale partono dei fasci che attraversano il piede del peduncolo cerebrale, terminando nel ponte in sinapsi con i nuclei basilari del ponte stesso.

Da questi nuclei partono le fibre ponto-cerebellari che, dopo decussazione della linea mediana, passando per i peduncoli cerebellari medi, raggiungono la corteccia neocerebellare (lobo posteriore del cervelletto).

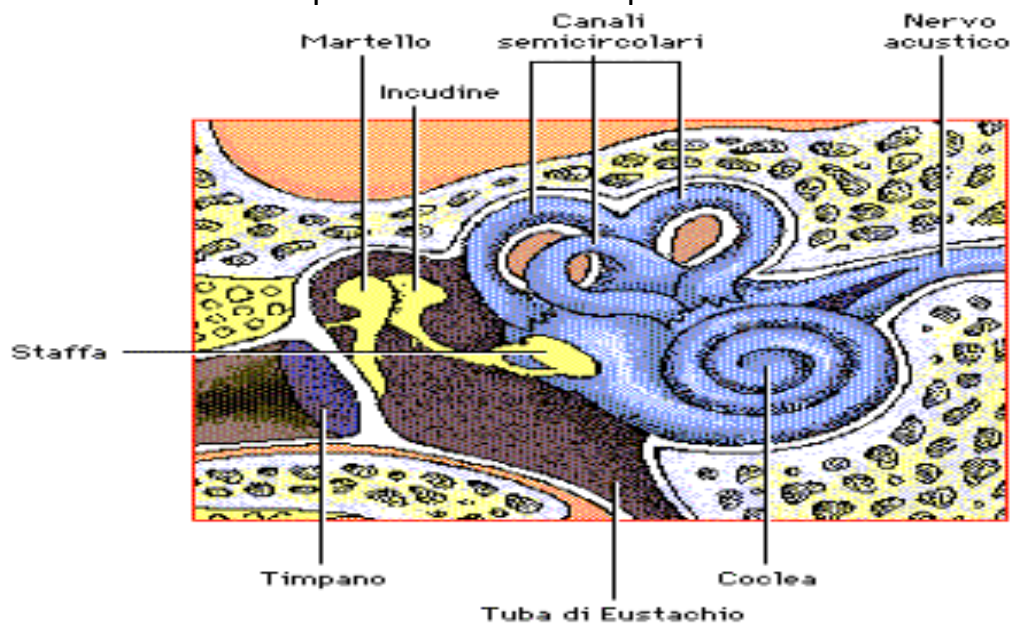
La via efferente parte dalla corteccia cerebellare e raggiunge il nucleo dentato, dove avviene il relè sinaptico: dal nucleo dentato partono fibre che incrociano la linea mediana passando per il peduncolo cerebellare superiore, si portano al nucleo ventrale intermedio del talamo; un certo contingente di fibre si porta tuttavia al nucleo rosso e da questo al talamo. Dal talamo infine parte l'ultimo tratto di questa lunga via correlativa cortico-ponto-cerebello-talamo-corticale che raggiunge l'area motrice (frontale ascendente) della corteccia cerebrale, zona di partenza delle vie motrici volontarie.

Attraverso il circuito descritto, si realizza l'azione regolatrice e di controllo del neocerebello sull'area della corteccia cerebrale, dalla quale partono le vie motrici volontarie. Il cervelletto, ricevendo e integrando informazioni dalla corteccia cerebrale, dai nuclei della base, dal midollo spinale e dalla periferia muscolare, provvede all'appropriata sequenza temporale dei segnali motori, che si traduce in un'adeguata sequenza di contrazione dei muscoli agonisti e antagonisti durante i movimenti. Inoltre, grazie alle sue afferenze propriocettive e vestibolari, il cervelletto, essendo connesso col sistema extrapiramidale e, tramite le connessioni con il tronco cerebrale, con i motoneuroni spinali, regola il tono muscolare, la postura e l'orientamento del corpo nello spazio (Pasqualino, Panettoni 2002).

2.2. STRUTTURA E FUNZIONE VESTIBOLARE

Il sistema vestibolare è un sofisticato apparato sensoriale che rileva informazioni relative alla posizione ed al movimento della testa e del corpo nello spazio. A differenza di altri sistemi sensoriali, come il sistema visivo o uditivo, non siamo generalmente coscienti delle informazioni trasmesse dall'apparato vestibolare al sistema nervoso centrale. Tuttavia, esse sono fondamentali per il mantenimento della postura e della stazione eretta, e per la coordinazione del movimento degli occhi con quello della testa. Una disfunzione dell'apparato vestibolare induce, infatti, notevoli alterazioni dell'equilibrio, del senso dell'orientamento nello spazio e del controllo della motilità oculare, e si accompagna ad una serie di intense e fastidiose sensazioni, quali la nausea o le vertigini.

Le strutture sensoriali periferiche dell'apparato vestibolare sono strettamente imparentate con quelle dell'apparato uditivo. Gli organi recettoriali dei due apparati condividono, infatti, l'origine embrionale dal placode otico e sono situati all'interno di una complicata rete di canalicoli ossei, che costituisce il cosiddetto labirinto, scavato all'interno della rocca petrosa dell'osso temporale.



Le strutture recettoriali acustiche occupano la porzione anteriore del labirinto, la coclea, mentre quelle vestibolari sono situate nella porzione posteriore. All'interno di queste cavità ossee è contenuto un complicato sistema di canalicoli delimitati da membrane connettivali, chiamato labirinto membranoso. I dotti del labirinto membranoso sono pieni di un particolare liquido detto endolinfa, mentre gli spazi esterni sono pieni di perilinfia. Al loro interno si trovano i recettori acustici e vestibolari, le cellule cigliate, sofisticati meccanocettori specializzati nella trasduzione degli stimoli generati dalle vibrazioni sonore o dal movimento della testa in segnali nervosi.

Gli apparati periferici del sistema vestibolare comprendono diverse strutture recettoriali, che svolgono funzioni sensoriali distinte. Infatti, il movimento di un corpo all'interno di uno spazio a tre dimensioni è caratterizzato da sei gradi di libertà, tre dovuti ai movimenti lineari lungo gli assi cartesiani, tre ai movimenti di rotazione sui medesimi assi. Per registrare le informazioni relative al movimento della testa l'apparato vestibolare è quindi dotato di due diverse strutture sensoriali: gli organi otolitici, che misurano i movimenti lineari, ed i canali semicircolari, che registrano quelli rotatori. Più in particolare, i recettori degli organi otolitici rispondono ad accelerazioni lineari del capo, mentre quelli dei canali semicircolari sono sensibili ad accelerazioni angolari. Entrambi gli organi sensoriali contengono lo stesso tipo di cellula recettrice, ma sono caratterizzati da una particolare struttura anatomica che ne determina la specificità nel rilevare i movimenti lineari o rotatori.

La trasduzione meccano-elettrica nelle cellule cigliate

Le cellule cigliate sono elementi epiteliali specializzati per la trasduzione sensoriale, situati in regioni specifiche dell'epitelio che ricopre la superficie interna del labirinto membranoso, quali le macule dell'utricolo e del sacculo, le creste ampollari dei canali semicircolari e l'organo di Corti della coclea. Sono cellule di forma cilindrica o a fiasco la cui porzione basale poggia su elementi epiteliali di sostegno, mentre quella apicale si affaccia nella cavità labirintica. La porzione basale della cellula, oltre ai diversi organuli deputati alle funzioni biologiche essenziali, presenta strutture specializzate per la liberazione di neurotrasmettitori ed è in contatto sinaptico con i prolungamenti periferici dei neuroni del ganglio vestibolare di Scarpa. La porzione apicale è caratterizzata da una sofisticata struttura deputata alla trasduzione meccano-elettrica, il ciuffo delle ciglia, che sporge all'interno della cavità labirintica. Un'importante caratteristica della cellula cigliata è quella di essere situata all'interfaccia fra l'endolinfa, contenuta nelle cavità labirintiche, ed il liquido extracellulare, nel quale è immersa la porzione basale del recettore. L'endolinfa ha una composizione ionica particolare, simile a quella del liquido intracellulare, con un'alta concentrazione di ioni K^+ (circa 150 mM) ed una bassa concentrazione di ioni Na^+ (circa 2 mM), determinata dall'attività di pompe ioniche dell'epitelio del labirinto membranoso. Questa condizione fa sì che fra l'endolinfa ed il liquido extracellulare vi sia una differenza di potenziale pari a circa +80 mV. Dato che il potenziale di riposo delle cellule cigliate (la differenza di potenziale fra l'interno della cellula ed il liquido extracellulare) è intorno a -60 mV, ne deriva che fra l'interno del recettore e la cavità labirintica vi è una differenza di potenziale di circa -140 mV. Tale differenza di potenziale svolge un ruolo fondamentale nel processo di trasduzione.

La trasduzione dello stimolo meccanico in un segnale bioelettrico è operata dal ciuffo di ciglia: lo stimolo meccanico, sia esso dovuto ad un'onda sonora o ad un movimento del capo, determina una distorsione del ciuffo che viene trasformata in una variazione della permeabilità ionica della membrana e quindi del potenziale di membrana del recettore. Ogni cellula cigliata possiede alcune decine di stereociglia, estroflessioni

citoplasmatiche di forma cilindrica ripiene di filamenti di actina, le quali protrudono dal polo apicale della cellula recettrice all' interno della cavità labirintica. Il ciuffo delle cellule cigliate vestibolari presenta anche un lungo chinociglio, assente in quelle cocleari, dotato delle caratteristiche citologiche di un flagello. Le stereociglia che compongono il ciuffo hanno diversa lunghezza e sono precisamente disposte in linee parallele ordinate secondo l'altezza come le canne di un organo: vicino al chinociglio si trovano le stereociglia più lunghe e poi, via via, seguono le file di quelle più corte. Recentemente è stato osservato che la punta di ogni stereociglio è connessa con lo stereociglio adiacente appartenente alla fila successiva per mezzo di un sottile filamento proteico, detto tip-link. Alle sue estremità il tip-link è collegato con la porta di una proteina canale, detta canale di trasduzione, situata nella membrana dello stereociglio. Se il tip-link viene messo in trazione la porta del canale si apre e gli ioni possono fluire attraverso il poro. Per contro, se il tip-link viene rilasciato, la porta si chiude ed il canale non è più pervio. La disposizione a scalare delle file di stereociglia di diversa lunghezza fa sì che quando il ciuffo si flette in direzione del chinociglio, la distanza fra le punte delle stereociglia delle file successive aumenta, il tip-link viene stirato e le porte dei canali si aprono. Al contrario, un movimento in direzione opposta, avvicina le punte delle stereociglia, riduce la tensione del filamento proteico e determina la chiusura del canale di trasduzione.

L'apertura della porta del canale segna l'inizio del processo di trasduzione mecano-elettrica. Infatti, la differenza di potenziale di -140 mV esistente fra l'interno della cellula cigliata e l' endolinfa genera un flusso di ioni K^+ verso l'interno del recettore. L'ingresso delle cariche positive determina la depolarizzazione della cellula, il cui potenziale di membrana si sposta verso valori meno negativi rispetto al valore di riposo, generando il cosiddetto potenziale di recettore. La variazione di potenziale determina l'apertura di altri canali posti nella membrana della porzione basolaterale della cellula, i quali sono permeabili per gli ioni Ca^{2+} . L'ingresso di questi ioni determina un'ulteriore depolarizzazione ed è soprattutto necessario per la liberazione di neurotrasmettitore a livello delle specializzazioni pre-sinaptiche situate nella porzione basale della cellula. In questo modo l' informazione sensoriale portata dallo stimolo meccanico e trasformata in un potenziale di recettore dalla cellula cigliata viene trasmessa al prolungamento periferico del neurone sensoriale del ganglio di Scarpa che, a sua volta, la invierà al sistema nervoso centrale. La variazione del potenziale di membrana, la quantità di neurotrasmettitore liberato e la conseguente attività del neurone del ganglio di Scarpa sono proporzionali all' entità della deflessione del ciuffo di stereociglia, che è tanto più marcata quanto più forte è lo stimolo. In questo modo, il recettore misura l'intensità dello stimolo meccanico e la traduce in un codice di segnali bioelettrici.

Gli ioni Ca^{2+} fluiti all'interno della cellula cigliata inducono anche l'apertura di altri canali permeabili per gli ioni K^+ , posti sulla membrana della porzione basolaterale del recettore. A questo livello la cellula cigliata è immersa nel liquido extracellulare ed il gradiente elettro-chimico spinge gli ioni K^+ verso l'esterno. Al tempo stesso, gli ioni

Ca²⁺ vengono attivamente estrusi per mezzo di pompe ioniche poste sulla membrana del recettore. L'uscita delle cariche positive riporta quindi il potenziale di membrana al valore di riposo mettendo fine al processo di trasduzione.

La risposta della cellula cigliata agli stimoli meccanici dipende dunque dalle caratteristiche strutturali del ciuffo ed, in particolare, dalla precisa organizzazione delle file di stereociglia disposte secondo l'ordine di altezza con il chinociglio sempre posto accanto alle stereociglia più lunghe; inoltre dipende anche dalla disposizione dei tip-links che collegano le stereociglia di file adiacenti, ma non quelle appartenenti alla medesima fila. Il ciuffo presenta quindi un preciso asse di polarizzazione morfologica che va dal chinociglio verso la fila delle stereociglia più basse, il quale condiziona in maniera determinante il processo di trasduzione dello stimolo sensoriale.

Quando il ciuffo si trova in posizione di riposo i tip-links non sono completamente rilasciati e i canali di trasduzione sono in parte aperti. Di conseguenza, anche in assenza di stimolazione vi è una liberazione tonica di neurotrasmettitore che mantiene un certo livello di attività basale del nervo vestibolare. Questa condizione è particolarmente importante poiché permette alla cellula recettrice di rispondere a deflessioni del ciuffo dirette in entrambe le direzioni lungo l'asse di polarizzazione, vale a dire sia "verso" sia "via" dal chinociglio. Come illustrato nella figura 4B, la deflessione verso il chinociglio induce una depolarizzazione del recettore e un conseguente aumento della frequenza di scarica nel nervo vestibolare. Al contrario, la deflessione via dal chinociglio, induce una iperpolarizzazione del recettore, il quale libera una minor quantità di neurotrasmettitore riducendo così l'attività del nervo vestibolare. Infine, stimoli diretti perpendicolarmente all'asse di polarizzazione del ciuffo non inducono alcun effetto apprezzabile. Infatti, una deflessione delle stereociglia in questa direzione non modifica lo stato di tensione dei tip-links e, di conseguenza, non induce alcuna risposta bioelettrica. Il ciuffo di stereociglia è quindi una sofisticata struttura trasduttrice dotata di una precisa organizzazione morfofunzionale che le permette di rispondere selettivamente agli stimoli diretti lungo il suo asse di polarizzazione. Come vedremo, la capacità del sistema vestibolare di rilevare movimenti in ogni possibile direzione è ottenuta regolando il maniera sistematica l'orientamento dell'asse di polarizzazione delle singole cellule recettrici poste nelle diverse strutture recettoriali.

Gli organi otolitici

Gli organi otolitici, contenuti nelle cavità labirintiche del sacculo e dell'utricolo sono sensibili alle accelerazioni lineari cui è sottoposto il capo. Questi stimoli comprendono le accelerazioni generate nel corso di movimenti di flessione o di traslazione lineare della testa e l'accelerazione di gravità, che esercita costantemente la sua azione sul corpo. All'interno delle cavità dell'utricolo e del sacculo è presente un ispessimento dell'epitelio, detto macula, che rappresenta la struttura recettoriale vera e propria. I ciuffi di ciglia dei recettori sporgono dalla superficie della macula e sono immersi in

una sostanza gelatinosa al di sopra della quale è posta una membrana fibrosa, la membrana otolitica, che contiene numerosi cristalli di carbonato di calcio detti otoconi. Gli otoconi rendono la membrana otolitica notevolmente più densa e pesante rispetto alle strutture ed ai liquidi circostanti, di modo che quando la testa si flette la forza di gravità determina uno spostamento relativo della membrana otolitica rispetto alla macula che si traduce in una deflessione dei ciuffi di ciglia. Un simile spostamento relativo della membrana otolitica rispetto alla macula avviene quando la testa eretta è sottoposta ad un movimento di traslazione lineare, come durante la deambulazione; la maggior massa relativa della membrana otolitica fa sì che questa rimanga temporaneamente indietro rispetto al movimento della macula, inducendo così un transitorio spostamento delle ciglia.

Nella normale posizione anatomica del capo la macula dell'utricolo è posta sul piano orizzontale mentre quella del sacculo è posta su quello verticale. Inoltre, ogni macula è divisa in due parti da una linea arbitraria detta striola, attorno alla quale sono orientati gli assi di polarizzazione dei ciuffi di ciglia: nell'utricolo i ciuffi sono orientati con il chinociglio rivolto verso la striola, mentre nel sacculo hanno orientamento contrario. La disposizione opposta dei ciuffi intorno alla striola fa sì che ogni stimolo induce la deflessione verso il chinociglio nelle cellule poste su un lato della striola e via dal chinociglio in quelle poste dall'altro lato. In altri termini, ogni stimolo indurrà contemporaneamente la depolarizzazione di alcune cellule e la iperpolarizzazione di altre. Inoltre, a causa del decorso arcuato della striola, l'orientamento dei ciuffi varia sistematicamente in modo da rilevare stimoli provenienti da tutte le direzioni. In particolare, l'utricolo è sensibile a movimenti della testa sul piano orizzontale, come flessioni laterali della testa o movimenti traslatori in senso laterale, mentre il sacculo risponde a movimenti sul piano verticale, come movimenti dal basso verso l'alto o in direzione antero-posteriore sul piano sagittale. Inoltre, le macule dell'utricolo e del sacculo dei due lati hanno una disposizione simmetrica e perciò all'eccitazione delle cellule cigliate di un lato corrisponde l'inibizione dei recettori contralaterali corrispondenti. In questo modo, le informazioni relative ai movimenti del capo nelle diverse direzioni che arrivano al sistema nervoso centrale sono il risultato dall'attività combinata degli organi recettoriali dei due lati. Gli organi otolitici rispondono alle accelerazioni lineari generate durante i movimenti traslatori del capo, ma sono anche in grado di rilevare, momento per momento, la posizione della testa nello spazio. Infatti, nel corso di una flessione statica del capo, a causa della trazione continua esercitata dalla forza di gravità sulle membrane otolitiche, lo spostamento relativo di queste membrane rispetto alla macula induce una deflessione tonica delle ciglia, che si mantiene per tutta la durata della flessione. Per contro, nel corso di un movimento di traslazione la deflessione dei ciuffi è solo transitoria e proporzionale all'accelerazione lineare cui è sottoposto il capo. In questo modo gli organi otolitici segnalano sia la posizione statica della testa nello spazio che le caratteristiche dinamiche dei suoi movimenti traslatori.

Quando il capo è in posizione eretta, i neuroni sensoriali del ganglio di Scarpa connessi con i recettori maculari presentano un'attività basale piuttosto sostenuta. In risposta a movimenti del capo si osservano variazioni fasiche di questa attività, che trasmettono informazioni relative all'accelerazione lineare dovuta al movimento, e variazioni toniche che codificano la posizione statica della testa. La frequenza di scarica aumenta transitoriamente in risposta al movimento e quindi si assesta su di un nuovo livello di attività correlato con la nuova posizione assunta dalla testa, il quale rimane costante per tutta la durata della flessione. Quando la testa viene riportata nella posizione di partenza, l'attività della stessa fibra diminuisce transitoriamente per segnalare il movimento in senso opposto e quindi ritorna al livello basale, corrispondente alla posizione eretta del capo.

Data la disposizione sul piano verticale o orizzontale delle due macule e l'orientamento dei ciuffi di ciglia al loro interno, ogni movimento del capo determinerà l'attivazione di alcuni recettori e la simultanea inibizione di altri, mentre altri ancora non risponderanno allo stimolo. L'informazione relativa al movimento della testa o alla sua posizione statica sarà quindi calcolata dal sistema nervoso centrale integrando le informazioni che in ogni momento vengono trasmesse dagli organi otolitici dei due lati nel loro insieme. In altri termini, le informazioni relative ad ogni movimento o posizione del capo non sono dovute all'attivazione di alcuni recettori, ma all'attività globale degli apparati sensoriali interessati.

I canali semicircolari

I canali semicircolari sono tre sottili condotti di forma circolare che si aprono nella cavità dell'utricolo. I tre canali, laterale, superiore e posteriore, sono disposti su tre piani perpendicolari tra di loro, con un'inclinazione di circa 30° rispetto al piano orizzontale. In prossimità di uno degli sbocchi nell'utricolo ogni canale presenta una dilatazione detta ampolla, nella quale è contenuto l'epitelio sensoriale. All'interno dell'ampolla l'epitelio forma un rilievo disposto ortogonalmente all'asse del canale, detto cresta ampollare, sulla quale sono situati i recettori. I ciuffi di ciglia delle cellule recettrici sono inglobati in una struttura gelatinosa, detta cupola, che oblitera completamente il lume del condotto in corrispondenza della cresta.

A differenza della membrana otolitica, la cupola ha la stessa densità dell'endolinfa. Di conseguenza, accelerazioni lineari non determinano alcuno spostamento relativo della cupola rispetto all'endolinfa e quindi non stimolano i recettori. Per contro, la stimolazione di questi recettori sarà prodotta da accelerazioni angolari, alle quali è sottoposto il capo nel corso di movimenti rotatori. Infatti, quando il capo ruota sul piano di uno dei canali semicircolari, l'endolinfa, a causa della sua inerzia, segue con ritardo il movimento del dotto membranoso in cui è contenuta. Si genera così una corrente endolinfatica, diretta lungo l'asse del canale in direzione opposta a quella del movimento del capo, la quale induce una distorsione della cupola che si traduce nella deflessione dei ciuffi di ciglia in essa inglobati. Se la velocità di rotazione diventa

costante, la corrente endolinfatica si annulla, la cupola riacquista la sua conformazione normale cessando così la stimolazione dei recettori. Per contro, alla fine della rotazione, l'endolinfa continua per un breve tempo il suo movimento, generando una nuova corrente endolinfatica, e quindi uno stimolo per i recettori, con direzione opposta a quella prodotta all'inizio del movimento.

Nelle creste ampollari, i ciuffi di ciglia dei recettori hanno tutti lo stesso orientamento, cioè parallelo all'asse del condotto. In questo modo la deflessione della cupola determina la stessa risposta, eccitatoria o inibitoria a seconda della direzione dello stimolo, in tutti i recettori e nelle fibre del nervo vestibolare ad essi connesse. Questo apparato sensoriale è estremamente sensibile ed è capace di rilevare accelerazioni angolari pari a $0.1^\circ/s^2$ con una deflessione della cupola di meno di 10 nm. Tuttavia, dato che la distorsione della cupola è maggiore nella sua regione centrale che in quelle periferiche, i recettori posti nella parte centrale della cresta ampollare sono sensibili a stimoli di bassa intensità, mentre quelli situati nelle parti periferiche vengono reclutati solo durante stimolazioni più intense.

Ogni canale semicircolare è accoppiato anatomicamente e funzionalmente con un condotto controlaterale. Infatti, entrambi i canali laterali si trovano sul piano orizzontale, mentre i canali posteriori sono disposti sul medesimo piano dei canali superiori controlaterali. Le coppie di canali hanno una disposizione speculare. Di conseguenza, la rotazione del capo sul piano di una coppia di canali indurrà l'attivazione dei recettori ampollari di un lato e l'inibizione di quelli del canale controlaterale corrispondente. Come per i movimenti lineari rilevati dagli organi otolitici, anche l'informazione relativa ai movimenti di rotazione del capo è il risultato dell'azione combinata delle strutture recettoriali poste sui due lati. Movimenti semplici confinati su un solo piano sono rilevati da una sola coppia di canali, mentre movimenti rotatori con traiettorie più complesse vengono rilevati dalle tre coppie di canali contemporaneamente.

I neuroni sensoriali del ganglio di Scarpa che trasmettono le informazioni sensoriali derivate dai canali semicircolari, sono caratterizzati da una attività sostenuta anche in condizioni di riposo. Come abbiamo già potuto rilevare in precedenza, questa caratteristica funzionale permette al neurone vestibolare di segnalare, attraverso l'aumento o la diminuzione della frequenza di scarica, stimolazioni sensoriali di segno opposto.

L'attività nervosa aumenta bruscamente durante la fase di accelerazione all'inizio del movimento per poi ridiscendere gradatamente fino al livello basale. Il decremento della scarica durante la rotazione a velocità costante dipende dal tempo (dell'ordine di alcune decine di secondi) impiegato dalla cupola, ed ai ciuffi di ciglia inglobati in essa, per tornare alla posizione di riposo. Al termine della rotazione la scarica del neurone si riduce bruscamente durante la fase di decelerazione per poi riguadagnare gradatamente il livello basale.

Se durante una rotazione a velocità costante l'attività dei neuroni vestibolari è correlata alle fasi di accelerazione e decelerazione, durante i brevi movimenti di

rotazione, che costituiscono la maggioranza dei movimenti fisiologici della testa, si osserva un diverso comportamento. Infatti, sebbene le forze che determinano la deflessione della cupola, e quindi la stimolazione dei recettori, siano esclusivamente dovute all'accelerazione, a causa delle proprietà meccaniche della cupola la distorsione prodotta da un breve movimento rotatorio è proporzionale alla velocità angolare piuttosto che all'accelerazione angolare del movimento. Di conseguenza, durante le brevi rotazioni fisiologiche del capo i neuroni sensoriali vestibolari trasmettono al sistema nervoso centrale informazioni relative alla velocità angolare del movimento. Ogni accelerazione angolare a cui è sottoposto il capo è quindi codificata da tre segnali di velocità angolare, ognuno derivato dall'attività reciproca di ogni coppia di canali semicircolari. Attraverso l'integrazione dei segnali derivati dalle diverse popolazioni di neuroni sensoriali vestibolari, il sistema nervoso centrale computa i parametri relativi al movimento della testa nelle tre dimensioni dello spazio. Come vedremo in seguito a proposito dei riflessi vestibolari, la velocità angolare della testa è un parametro fondamentale per generare appropriati movimenti compensatori dei globi oculari.

Anatomia funzionale delle vie vestibolari centrali

Lo studio della funzione degli organi recettoriali vestibolari mostra che questo apparato sensoriale svolge due funzioni complementari, una dinamica ed una statica. La funzione dinamica, attraverso la quale il sistema rileva informazioni sul movimento del capo nello spazio, è svolta dai canali semicircolari per i moti rotatori e dagli organi otolitici per le traslazioni lineari ed è particolarmente importante per il mantenimento dell'equilibrio durante il movimento del corpo e per la stabilizzazione dello sguardo durante il movimento della testa. La funzione statica, svolta esclusivamente dagli organi otolitici, ci permette di conoscere in ogni momento la posizione della testa e del corpo nello spazio ed è fondamentale per il mantenimento degli atteggiamenti posturali. In realtà l'informazione relativa alla posizione del corpo nello spazio non può essere determinata in maniera univoca sulla base delle sole afferenze vestibolari, in quanto la testa può muoversi indipendentemente dal tronco sulle articolazioni del collo. Di conseguenza, la posizione del corpo nello spazio può essere determinata solo conoscendo la posizione della testa rispetto al tronco. Per tale ragione le strutture centrali dell'apparato vestibolare ricevono anche informazioni propriocettive dai muscoli e dalle articolazioni cervicali.

Le cellule cigliate vestibolari sono in contatto sinaptico con i prolungamenti periferici dei neuroni del ganglio di Scarpa, la cui funzione è quella di trasmettere l'informazione sensoriale dalla periferia recettoriale al sistema nervoso centrale. Il ganglio di Scarpa è costituito da circa 20.000 neuroni bipolari ed è suddiviso in due porzioni: la porzione superiore è connessa con la macula dell'utrículo, con la parte anteriore della macula del sacculo e con le ampolle dei canali laterale ed superiore; la porzione inferiore, innerva la regione posteriore della macula del sacculo e l'ampolla del dotto posteriore.

I processi centrali dei neuroni del ganglio di Scarpa si uniscono con quelli del ganglio spirale di Corti a formare il nervo vestibolo-cocleare (ottavo nervo cranico). Questi assoni proiettano principalmente nei nuclei vestibolari e, in parte, terminano come fibre muscolari nella corteccia cerebellare del lobo flocculo-nodulare.

Il complesso nucleare vestibolare, che occupa una vasta porzione della regione dorsale del midollo allungato e del ponte, è costituito da quattro suddivisioni principali, i nuclei vestibolari laterale, mediale, superiore ed inferiore, che si differenziano per la citoarchitettura, le connessioni afferenti ed efferenti e le caratteristiche funzionali.

Il nucleo vestibolare laterale (nucleo di Deiters) riceve informazioni sensoriali dai recettori vestibolari e afferenze dal midollo spinale e dal cervelletto, dal quale proviene una proiezione inibitoria diretta dalle cellule di Purkinje della corteccia vermicale. I neuroni situati nella porzione ventrale del nucleo mandano i loro assoni nel tratto vestibolo-spinale laterale, che proietta ipsilateralmente al corno anteriore del midollo spinale dove esercita una potente azione eccitatoria sui motoneuroni alfa e gamma che innervano la muscolatura estensoria dell'arto inferiore e flessoria del superiore. Tale facilitazione tonica della muscolatura antigravitazionaria è fondamentale per il mantenimento della postura e della stazione eretta. Questa stessa azione è ben evidente nella cosiddetta rigidità da decerebrazione, una condizione di ipertono della muscolatura antigravitazionaria che compare dopo una sezione sperimentale del tronco encefalico praticata rostralmente ai nuclei vestibolari. La rigidità, alla quale contribuisce anche l'azione delle proiezioni reticolo-spinali, è ridotta dalla stimolazione elettrica della corteccia cerebellare del verme anteriore ed è notevolmente esacerbata se questa regione del cervelletto viene rimossa. Queste osservazioni indicano che l'azione facilitatoria esercitata dai neuroni del nucleo vestibolare laterale sulla muscolatura antigravitazionaria è sottoposta ad un controllo tonico inibitorio della corteccia cerebellare. Il nucleo vestibolare inferiore ha connessioni afferenti ed efferenti simili a quelle del nucleo vestibolare laterale, ma la sua funzione è meno ben conosciuta.

I nuclei vestibolari mediale e superiore ricevono informazioni principalmente dai canali semicircolari. Dal nucleo vestibolare mediale prende origine il tratto vestibolo-spinale mediale che termina bilateralmente nei segmenti cervicali del midollo spinale. Questa via contribuisce ai meccanismi di controllo riflesso della muscolatura cervicale diretti a mantenere la posizione della testa e coordinarne il movimento con quello degli occhi. Inoltre, i neuroni di questi due nuclei inviano i loro assoni nel fascicolo longitudinale mediale che ascende verso le regioni rostrali del tronco encefalico per terminare nei nuclei oculomotori. Questa proiezione controlla la motilità oculare evocata dalla stimolazione vestibolare.

I nuclei vestibolari hanno anche connessioni con la sostanza reticolare, importanti per il controllo posturale, e con l'ipotalamo, coinvolte nell'insorgenza dei disturbi associati alla chinetosi. Informazioni sensoriali vestibolari sono inoltre inviate al complesso ventrale posteriore del talamo e di qui alla corteccia somatosensoriale primaria, in

prossimità dell'area di rappresentazione della faccia, ed alla zona di transizione fra le aree corticali somoestesica e motoria. I neuroni localizzati in queste regioni corticali rispondono a stimoli propriocettivi e visivi oltre che vestibolari e probabilmente contribuiscono alla percezione della posizione del corpo nello spazio esterno.

Occorre infine ricordare che dai nuclei vestibolari parte un contingente di fibre che, attraverso il nervo vestibolare, si dirige agli organi recettoriali. Le fibre del sistema vestibolare efferente formano contatti sinaptici con le cellule cigliate o con i prolungamenti periferici delle fibre afferenti dei neuroni del ganglio di Scarpa. La funzione di questo sistema, di natura inibitoria, non è del tutto chiara. Si ritiene che esso svolga un ruolo di controllo sull'attività recettoriale e sul flusso delle informazioni sensoriali o, alternativamente, permetta l'interazione funzionale fra gli organi sensoriali dei due lati (interdipendenza vestibolare).

I riflessi vestibolari

Il controllo esercitato dall'apparato vestibolare sulla postura e sulla motilità oculare si esplica principalmente attraverso una serie di attività riflesse, classicamente distinte in riflessi statotonici e statocinetici.

I riflessi statotonici dipendono dalla posizione statica del capo nello spazio e tendono a mantenere una postura. Hanno origine dagli organi otolitici e agiscono principalmente sulla muscolatura antigravitazionaria al fine di garantire il mantenimento della stazione eretta. Ad esempio, in un animale quadrupede posto su un piano inclinato con la testa rivolta in direzione della pendenza, l'inclinazione del capo rispetto al piano orizzontale induce l'estensione degli arti anteriori e la flessione di quelli posteriori, un atteggiamento posturale che favorisce il mantenimento dell'equilibrio. Un simile tipo di riflesso è pure responsabile del mantenimento della normale direzione dello sguardo rispetto al mondo circostante nel corso di una flessione del capo.

I riflessi statocinetici si manifestano in risposta a movimenti lineari o rotatori del capo. Quando il capo, o il corpo nel suo insieme, è sottoposto ad un'accelerazione lineare si osservano una serie di modificazioni posturali dirette a mantenere l'equilibrio riportando il centro di gravità corporeo all'interno del poligono d'appoggio. Facciamo comunemente esperienza di questi riflessi quando viaggiamo in piedi su un autobus o su un treno al momento della partenza o dell'arresto del veicolo. Un altro esempio di questo tipo di riflesso è dato dall'estensione degli arti anteriori e dalla divaricazione delle dita che si osserva nei quadrupedi quando saltano a terra da una posizione elevata, tipico atteggiamento posturale diretto a mantenere l'equilibrio nel corso dell'atterraggio.

Anche i riflessi statocinetici evocati da un movimento rotatorio agiscono sulla postura. Tuttavia, una funzione fondamentale di questi riflessi è quella di mantenere la stabilità dello sguardo durante il movimento del capo. Infatti, se gli occhi seguissero passivamente il movimento della testa l'immagine del mondo esterno scivolerebbe sulla retina rendendo impossibile la visione. Una tale condizione patologica, nota come

oscillopsia, è presente in soggetti portatori di una disfunzione dell'apparato vestibolare i quali non riescono a fissare lo sguardo su un oggetto durante il movimento della testa. Per contro, in condizioni normali la rotazione della testa, attraverso la stimolazione dei canali semicircolari, evoca un movimento in direzione contraria dei bulbi oculari che permette di mantenere lo sguardo fisso nonostante il movimento del capo.

Il riflesso vestibolo-oculare prende origine dai recettori ampollari che inviano le informazioni relative alla rotazione del capo ai nuclei vestibolari attraverso le fibre dei neuroni sensoriali del ganglio di Scarpa. I nuclei vestibolari, a loro volta, proiettano direttamente ai motoneuroni dei muscoli extraoculari attraverso il fascicolo longitudinale mediale. Un movimento rotatorio del capo sul piano dei canali semicircolari orizzontali induce quindi la contrazione del muscolo retto laterale controlaterale e del retto mediale ipsilaterale ed il contemporaneo rilasciamento dei relativi muscoli antagonisti, producendo così un movimento coniugato degli occhi sul piano orizzontale in direzione contraria al movimento della testa. Naturalmente, movimenti rotatori del capo nei diversi piani dello spazio, attraverso la stimolazione dei diversi canali semicircolari, evocheranno movimenti compensatori degli occhi nelle differenti direzioni appropriate. Oltre che dal movimento del capo, il riflesso vestibolo-oculare può essere anche evocato mediante stimolazione galvanica delle ampolle o iniettando acqua calda o fredda nel meato acustico esterno (stimolazione calorica). Il calore dell'acqua induce dei movimenti convettivi dell' endolinfa che provocano la stimolazione dei recettori.

Nel corso dei brevi movimenti rotatori fisiologici del capo il riflesso si esaurisce nel semplice movimento compensatorio degli occhi. Per contro, nel caso di una rotazione protratta i bulbi oculari raggiungono ben presto il limite massimo della rotazione all'interno dell'orbita e lo sguardo viene repentinamente ridirezionato su un nuovo punto di fissazione. Abbiamo così un movimento di nistagmo caratterizzato dall'alternarsi di fasi lente, che rappresentano il riflesso vestibolo-oculare vero e proprio, e fasi rapide, funzionalmente simili ai movimenti saccadici spontanei, che riportano velocemente i globi oculari verso il centro dell'orbita.

In condizioni ideali il movimento compensatorio degli occhi evocato dalla stimolazione vestibolare deve avere la stessa velocità angolare della rotazione della testa. Tuttavia, le caratteristiche meccaniche e fisiche dell'apparato oculomotore tendono a modificarsi nel tempo, come, ad esempio, nel corso dello sviluppo a causa dell'accrescimento del cranio e dei bulbi oculari. Il sistema deve essere quindi capace di ricalibrarsi continuamente in modo da mantenere costante il guadagno del riflesso, cioè il rapporto fra le velocità del movimento degli occhi e del movimento della testa, che in condizioni ideali è uguale a uno. Per soddisfare questa necessità le strutture nervose che partecipano al riflesso vestibolo-oculare devono essere plastiche, capaci cioè di modificare i loro rapporti anatomico-funzionali in modo da adattare le caratteristiche della risposta riflessa alle modificazioni fisiche dell' apparato oculomotore. La dimostrazione delle notevoli proprietà plastiche di questi circuiti

nervosi è stata ottenuta applicando ad alcuni individui delle lenti che invertono l'immagine del mondo esterno sul piano orizzontale. In queste condizioni, la scena visiva si muove nella stessa direzione del movimento del capo e, di conseguenza, il movimento oculare riflesso, che è diretto in senso opposto, non è più adatto a mantenere lo sguardo stabile. In questi individui il riflesso vestibolo-oculare si modifica progressivamente, nel corso di alcune settimane, fino ad indurre un movimento oculare diretto nello stesso senso del movimento del capo, tale cioè da ripristinare la stabilità dello sguardo. Questo processo, che rappresenta una vera e propria forma di apprendimento motorio, è reversibile: una volta tolte le lenti il riflesso riacquista gradatamente le sue caratteristiche normali. Si ritiene che la plasticità del riflesso vestibolo-oculare sia regolata dalla corteccia cerebellare del flocculo. Infatti, l'attività delle cellule di Purkinje di questa regione cerebellare si modifica in relazione al processo di apprendimento ed i fenomeni plastici sono aboliti in seguito all'asportazione di questa porzione della corteccia cerebellare.

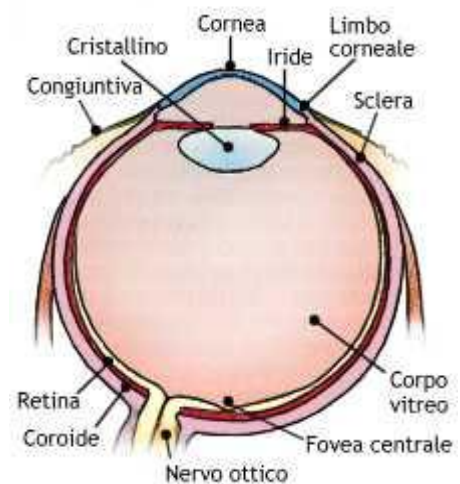
L'apparato vestibolare rappresenta quindi un sofisticato apparato sensoriale che fornisce al sistema nervoso continue informazioni sulla posizione e sul movimento del capo ed è dotato di notevoli capacità adattative. La maggior parte di queste informazioni sensoriali è utilizzata per regolare diverse attività riflesse cruciali per il mantenimento della postura e della stazione eretta e per la stabilizzazione dello sguardo durante il movimento del capo. Le stesse informazioni sono tuttavia utilizzate, insieme a quelle visive e somatosensoriali, per generare la nostra percezione della posizione del corpo nello spazio extrapersonale.

2.3. STRUTTURA E FUNZIONE VISIVA

L'occhio è un organo di senso che ci permette di vedere e la sua struttura ricorda da vicino quella di una macchina fotografica, o meglio noi abbiamo costruito la macchina fotografica "copiando" quello che la natura aveva già inventato.

Quando fissiamo un oggetto, la luce che da esso proviene entra nei nostri occhi, attraversa una serie di lenti naturali, che sono in sequenza la cornea, l'umor acqueo, il cristallino ed il corpo vitreo e che nella macchina fotografica corrispondono alle lenti dell'obiettivo, e va ad "impressionare" la retina (pellicola).

La retina eccitata dalla luce che la colpisce trasmette informazioni al cervello, attraverso il nervo ottico. Il cervello studia e sfrutta le informazioni visive avvalendosi di esse per decidere il comportamento e le reazioni dell'intero organismo.



Sclera

La sclera il cosiddetto bianco dell'occhio, è la membrana più esterna e robusta dell'occhio composta da tessuto fibroso connettivale; nella parte anteriore dell'occhio diventa trasparente e curva come un vetro d'orologio e prende il nome di cornea.

Cornea

È la prima lente naturale che la luce incontra, è determinante che sia trasparente e di forma sferica; dalla cornea non perfettamente sferica può dipendere l'astigmatismo. La cornea è una membrana trasparente priva di vasi ma ricchissima di fibre nervose. Essa è bagnata continuamente dal film lacrimale che aderisce alla sua superficie. L'interfaccia film lacrimale-superficie corneale costituisce la lente convergente più potente dell'occhio umano. La cornea ha uno spessore di circa 1 mm ed è composta dall'esterno all'interno da 5 strati:

- un epitelio pavimentoso (stratificato)
- la membrana di Bowman
- lo stroma

- la membrana di Descemet
- l'endotelio.

Iride

L'iride è la parte più anteriore dell'uvea che dà il colore ai nostri occhi e circonda un piccolo foro centrale di ampiezza variabile da 2 a 8 mm. La pupilla è composta da uno stroma, un foglietto pigmentato posteriore, da vasi e da 2 muscoli: il muscolo radiale (dilatatore) ed il muscolo sfintere (costrittore) dell'iride. Può essere chiara (dal blu al verde) o bruna (dal marrone al nero) ma in realtà la sua colorazione dipende sia dalla quantità di pigmento che da fenomeni ottici di riflessione e di diffrazione della luce nello stroma irideo. Nelle iridi chiare poco pigmentate la luce passa fino agli strati profondi dove viene riflessa assumendo un colore chiaro. Al contrario nelle iridi brune, ricche di pigmento, la luce non penetra fino agli strati profondi e non viene riflessa né diffratta.

L'iride circonda la pupilla che si allarga o si restringe a seconda della quantità di luce che la raggiunge, agendo così come il diaframma di una macchina fotografica che regola la quantità di luce che deve raggiungere la retina. Dietro l'iride c'è il cristallino.

Cristallino

Il cristallino è una lente convergente di forma biconvessa che focalizza i raggi luminosi sulla retina. Mentre in una macchina fotografica il fotografo mette a fuoco l'immagine variando la distanza focale fra lente e pellicola, nell'occhio la distanza tra il cristallino e la retina rimane fissa. L'occhio mette a fuoco a distanze variabili con una strategia diversa: il cristallino ha la capacità di modificare continuamente la sua forma e di variare la sua curvatura in modo da aumentare o diminuire il suo potere di convergenza. Questo processo dinamico così particolare, meglio conosciuto come accomodazione è regolato da un anello di fibre muscolari disposte intorno al cristallino chiamato corpo ciliare. Così quando l'occhio guarda un oggetto in lontananza il cristallino si appiattisce e diminuisce la sua curvatura. Al contrario quando guarda un oggetto vicino diventa più convesso ed aumenta la sua curvatura. L'invecchiamento fa perdere sia al cristallino che al corpo ciliare il potere di accomodazione cosicché si diventa presbiti e non si è capaci di leggere a 30 cm. In questo caso si ricorre alla correzione con lenti per vicino, bifocali o multifocali. Inoltre è possibile la comparsa di opacità del cristallino (cataratta) che se sono centrali disturbano la visione. Per ragioni di trasparenza ottica la cataratta si può operare e sostituire con una lentina artificiale.

Vitreo

Il vitreo è una sostanza limpida e di consistenza gelatinosa contenuta nella cavità vitreale che, riempiendo lo spazio compreso fra il cristallino e la retina, mantiene la forma sferica del bulbo oculare. La sua trasparenza è importante per una visione nitida a tutte le distanze. Una torbidità del vitreo come conseguenza di processi infiammatori o emorragici può compromettere seriamente la capacità visiva. Con l'invecchiamento il vitreo perde la sua consistenza, si distacca e fluttua nella cavità vitreale. I sintomi del distacco acuto del vitreo sono la comparsa di corpi mobili spesso associati a lampi di luce. In questi casi è imperativo un esame del fondo dell'occhio mirato alla ricerca di eventuali rotture retiniche che, in certi casi, possono condurre al distacco di retina.

Retina

La retina, che rappresenta l'equivalente della pellicola fotografica, riveste la superficie interna del globo oculare. Essa appare come una sottile membrana trasparente suddivisa in due aree: un'area centrale chiamata macula che contiene la fovea centrale, ricca di coni; un'area media e periferica, dove prevalgono le cellule dei bastoncelli, che serve a mediare la visione crepuscolare e notturna. Dopo aver attraversato la cornea, la camera anteriore, la pupilla, il cristallino ed il vitreo, i raggi luminosi vengono fatti convergere sulla retina ed in particolare in quella piccolissima area chiamata fovea centrale: una struttura altamente specializzata che presiede, in condizioni di alta luminosità, alla massima acuità visiva per lontano e per vicino, alla percezione dei colori e alla sensibilità al contrasto.

Nella retina avvengono i meccanismi più complessi della visione: la luce passa l'intero spessore della retina e colpisce immediatamente i fotorecettori, coni e bastoncelli, che costituiscono la parte più esterna della retina nervosa a contatto con lo strato delle cellule dell'epitelio pigmentato retinico (EPR). L'integrità dell'EPR è essenziale per la funzione di mediare gli scambi metabolici tra fotorecettori e coroide sottostante.

I processi fotochimici della visione possono essere schematizzati in 2 fasi:

- reazione fotochimica: la luce viene assorbita dai pigmenti fotosensibili (iodopsina nei coni, rodopsina nei bastoncelli) che scomponendosi danno origine ad una reazione chimica che converte un segnale luminoso in un impulso nervoso elettrico
- trasmissione dell'impulso: l'impulso elettrico viene trasmesso alle cellule bipolari e alle cellule gangliari che, attraverso le loro fibre costituenti il nervo ottico, lascia l'occhio ed arriva al centro visivo del cervello.

Coroide

Sotto la Retina c'è la Coroide. La coroide rappresenta la parte posteriore dell'uvea. È la membrana vascolare dell'occhio. Essa è costituita da strati di vasi sovrapposti (strato dei grossi vasi coroideali e strato della coriocapillare) e dalla membrana di Bruch a contatto con l'EPR. La sua funzione è quella di nutrire e ossigenare l'EPR, gli strati retinici più esterni (in particolare i fotorecettori) attraverso la membrana di Bruch, come pure di partecipare all'irrorazione del nervo ottico.

Nervo ottico

Il nervo ottico è costituito da oltre un milione di fibre nervose che originano dalle cellule gangliari della retina. La sua funzione è quella di collegare l'occhio al centro visivo del cervello chiamato corteccia visiva occipitale. Qui arrivano gli impulsi nervosi che vengono elaborati e trasformati nella percezione visiva di un'immagine. Il collegamento retina-cervello tramite il nervo ottico è così stretto che la visione è un fenomeno complesso che avviene principalmente a livello cerebrale.

3. Equilibrio, proprioccezione e coordinazione

3.1. Sistemi integrati che presiedono alla capacità di equilibrio

La postura è la posizione che il corpo assume a riposo o in movimento in opposizione alla forza di gravità (Sannicandro 2002).

L'uomo è una struttura instabile che lotta continuamente contro tale forza per non cadere, ottenendo così maggiore dinamicità, perché un corpo in equilibrio instabile può essere messo più facilmente in movimento rispetto ad uno in equilibrio stabile, sebbene a scapito della stabilità stessa.

Inoltre nell'uomo, che è bipede, il mantenimento dell'equilibrio risulta essere ancora più complesso, in quanto il baricentro è posto piuttosto in alto, a livello della colonna lombare, mentre la base di appoggio è relativamente piccola, essendo costituita dalla superficie di contatto dei piedi.

Il concetto di postura, quindi, non si riferisce ad una condizione statica, rigida e prevalentemente strutturale, ma al più generale equilibrio, inteso come "ottimizzazione" del rapporto del soggetto e ambiente circostante.

Quella condizione cioè in cui il soggetto stesso assume una postura o una serie di posture ideali rispetto alla situazione ambientale, in quel determinato momento e per i programmi motori previsti.

L'informazione necessaria per il controllo della postura è fornita dai sistemi sensoriali propriocettivo, vestibolare e visivo e si realizza attraverso la contrazione tonica di origine riflessa dei muscoli antigravitari.

La risposta muscolare dipende anche dall'elaborazione centrale di tali segnali che permette di ricostruire coordinate spaziali e un modello interno di posizione del corpo, cioè *lo schema di riferimento* (Alloatti et al. 2002).

Alla base del controllo del tono posturale c'è il riflesso miotatico tonico in cui è coinvolta la fibra intrafusale che all'estremità ha delle fibro-cellule muscolari gestite dal motoneurone gamma. Le fibre intrafusale sono in parallelo con le fibre muscolari che, a differenza delle prime, sono innervate da motoneuroni alfa. Un allungamento della fibra muscolare determina uno stiramento della fibra intrafusale che, se raggiunge l'intensità liminare, può generare in risposta un treno di impulsi. Lo stiramento della fibra intrafusale (che rappresenta lo stimolo adeguato) si genera perché la sua zona equatoriale non è elastica (allungabile).

Nella zona centrale della fibra intrafusale esistono due tipi di recettori, quello a *fiorame*, che è servito da fibre di tipo II, e l'*anulospirale*, che si avvolge intorno alla parte equatoriale ed è servito da una fibra di grosso calibro (Ia), dello stesso calibro della fibra del motoneurone alfa (velocità altissima). Questa fibra si porta al centro (dopo la sollecitazione recettoriale) e prende direttamente contatto con un

motoneurone alfa (riflesso monosinaptico), che andrà a stimolare quel muscolo da cui è partito lo stiramento.

Il muscolo, quindi, ricevendo l'impulso, si contrae; tale contrazione può essere di tipo isometrico (quando viene sostituita l'attività del motoneurone alfa) o con accorciamento.

Quando l'accorciamento del muscolo supera la lunghezza iniziale dello stesso, interviene una seconda struttura (anch'essa sensibile allo stiramento) detta organo muscolo tendineo del Golgi (riflesso miotatico inverso): questo è ubicato tra muscolo e tendine ed in serie in entrambi.

L'attivazione di tale recettore lo porta ad agire sullo stesso motoneurone alfa, su cui ha agito la fibra intrafusale, passando, però, prima per un motoneurone inibitorio. Questo circuito è disinaptico e genera un blocco dell'attività del motoneurone alfa, facendo ritornare il muscolo alla sua lunghezza iniziale (Bear, Connors, Paradiso, 2001).

Il riflesso miotatico può essere modulato dal sistema nervoso centrale attraverso l'attività dei motoneuroni gamma.

Il sistema gamma (pur non essendoci un allungamento della fibra muscolare) simula uno stiramento della zona equatoriale della fibra intrafusale per accorciamento delle estremità di quest'ultima. Questa simulazione, a seguito, di un ulteriore piccolo allungamento, fa partire, dalla fibra intrafusale, quel treno di impulsi che giungerà al motoneurone alfa, per stimolarlo affinché avvenga la contrazione del muscolo.

Il motoneurone alfa genera una contrazione uguale a quella che avviene senza sistema gamma motoneuronale, per cui il muscolo si accorcia di più rispetto alla condizione di partenza. Questo vuol dire che l'organo muscolo tendineo del Golgi entra in azione da una situazione di maggior accorciamento, ossia il sistema gamma aumenta la fluttuazione della lunghezza muscolare.

Se il sistema gamma non funzionasse, la fibra muscolare sarebbe flaccida e, per poter generare lo stiramento, dovrebbe allungarsi ancora di più. Pertanto, con il funzionamento o non funzionamento del sistema gamma, si allarga notevolmente l'intervallo di fluttuazione.

Il sistema gamma, a differenza dell'alfa motoneurone, non è gestibile dalla periferia, perché per ciascun muscolo dovrebbe rispondere in maniera differente.

La gestione invece, nella tappa che precede la periferia (verso il motoneurone gamma), avviene a livello di bulbo e ponte. Le informazioni periferiche arrivano al cervelletto, tramite le vie spino-cerebellari, e più precisamente è al paleocerebello che vengono trasmesse tutte quelle informazioni periferiche provenienti dai muscoli relative al tono muscolare.

Il paleo cerebello ha come punto di riferimento un'informazione presente nel neocerebello, che proviene dalla corteccia motoria e che, nello stesso momento in cui manda un comando alla periferia, informa anche il neocerebello su tale comando.

In questo modo il cervelletto, confrontando le informazioni che arrivano dalla periferia alla porzione "paleo" con quelle che arrivano al "neo" dalla corteccia motoria,

è informato sulla corretta esecuzione o meno del gesto dai propriocettori (Pasqualino, Panettoni 2002).

Altre strutture correlate al sistema gamma motoneurale sono i nuclei della base e la corteccia premotoria della corteccia cerebrale, tra i quali c'è un continuo scambio di informazioni. Tali informazioni dalla corteccia premotoria vanno a livello ponto-bulbare dove ci sono due zone: una tonicamente più eccitatoria per il sistema gamma, situata più verso il ponte; e una zona più bulbare, che ha un effetto inibitorio (fasico) sia sul sistema gamma che sul sistema eccitatorio pontino, attivata dal cervelletto, dai nuclei della base e dalla corteccia premotoria.

Da queste due strutture scendono in periferia due fasci: il reticolo ponto-spinale e il reticolo bulbo-spinale.

Se l'attività tonica eccitatoria dell'area pontina continua a sollecitare il sistema gamma, si generano delle risposte della fibra intrafusale che attraverso i fasci spino-cerebellari informano il cervelletto, i nuclei della base e la corteccia premotoria dell'eccessiva contrazione dei muscoli. Il cervelletto, allora, invia un'informazione alla zona inibitoria per riequilibrare il sistema. Quando il cervelletto non stimola questa zona, l'eccitatoria prevale, mantenendo in tal modo il tono posturale. Il controllo del tono si realizza anche ad opera del lobo anteriore del cervelletto, che tende ad inibire i nuclei vestibolari e fastigiali. Poiché questi due nuclei aumentano l'eccitabilità dei motoneuroni alfa attraverso le vie vestibolo-spinali, l'azione inibitoria del cervelletto riduce il tono posturale agendo direttamente sui motoneuroni alfa (Alloatti et al. 2002). Oltre alla informazioni di tipo propriocettivo partecipano al mantenimento della postura, e quindi dell'equilibrio, anche informazioni di tipo vestibolare e visivo.

Il sistema vestibolare controlla la posizione della testa in relazione al corpo e il suo movimento in base allo spazio circostante. Il cervello analizza questa informazione per controllare i muscoli del tronco e mantenere il bilanciamento del corpo (Grieve e Tyldesey 1991). Le cellule eccitate dell'apparato vestibolare mandano segnali al sistema nervoso centrale tramite una branca dell'ottavo nervo cranico; le vie nervose provenienti dalle ampole giungono ai nuclei vestibolari bulbari mediale e superiore, mentre quelle dell'utricolo e del sacculo giungono ai nuclei inferiore e laterale.

La maggior parte delle fibre che originano dai nuclei vestibolari sono poi dirette al cervelletto (archicerebello), oltre alla corteccia cerebrale frontale o parietale (per la sensazione cosciente del corpo), mentre vie discendenti formano sinapsi con motoneuroni generando risposte a livello oculare (riflesso vestibolo-oculare).

Le vie più dirette che realizzano rapidi accomodamenti del capo nello spazio si connettono in maniera diretta con le vie vestibolo-spinali cui spetta la funzione motoria. Di particolare importanza sono i riflessi vestibolo-cervicali che consentono il raddrizzamento della testa nello spazio e i riflessi vestibolo-spinali che provocano la contrazione dei muscoli estensori degli arti inferiori per il mantenimento della stazione eretta. Il riflesso vestibolo-spinale riporta il corpo in equilibrio quando inizia a cadere da un lato. Il vestibolo segnala i cambiamenti di posizione della testa e i muscoli estensori dello stesso lato del corpo aumentano la loro attività attraverso i

tratti vestibolo-spinali; contemporaneamente si contraggono anche i muscoli del collo del lato opposto, per mantenere dritta la testa (Bear, Connors, Paradiso 2002).

Il sistema visivo coopera con gli altri sistemi, migliorando la precisione del controllo posturale. Le oscillazioni della testa comportano microspostamenti della rappresentazione sulla retina del punto di ancoraggio visivo.

La retina possiede cellule gangliari capaci di segnalare in modo specifico lo spostamento delle immagini dell'ambiente esterno, tali segnali sono inviati ai nuclei vestibolari e al cervelletto, dove, combinandosi con le informazioni vestibolari e propriocettive, assicurano la stabilità posturale.

Gli occhi eseguono movimenti riflessi, che garantiscono la stabilità dello sguardo e impediscono lo scivolamento delle immagini sulla retina durante gli spostamenti della testa e i movimenti volontari. Questi movimenti originano dal sistema vestibolare che induce l'occhio a ruotare lentamente in senso opposto a quello di rotazione della testa e poi torna rapidamente alla posizione normale, dando luogo al fenomeno del nistagmo o riflesso vestibolo-oculare.

Finora si è parlato delle afferenze visive, vestibolari e propriocettive, ma non bisogna dimenticare l'importanza che hanno le afferenze plantari nella gestione del disequilibrio.

Al piede, oltre che la funzione meccanica (sopportare notevoli sollecitazioni in funzione dello sport praticato, come brusche accelerazioni, frenate repentine, ripetuti slittamenti, violente ricadute e cambi di direzione), spetta un altro fondamentale compito: quello di informare sulle sollecitazioni alle quali è sottoposto e sulla natura del terreno sul quale viene ad operare.

L'esterocettore plantare mette in relazione il nostro corpo con l'ambiente grazie all'elevato numero di recettori, soprattutto barocettori, presente sulla superficie cutanea plantare. Essi forniscono informazioni sulle oscillazioni dell'insieme della massa corporea, comportandosi come una piattaforma stabilometrica e le informazioni plantari sono le uniche a derivare da un recettore fisso a diretto contatto col suolo.

A livello del piede si raccolgono anche informazioni relative alla propriocezione muscolare e articolare. L'entrata propriocettiva podalica, grazie al controllo dello stiramento dei muscoli del piede e della gamba, situa il corpo in rapporto ai piedi.

Essa, assieme all'entrata propriocettiva rachidea, forma una continuità funzionale, un'estesa catena propriocettiva che riunisce i recettori cefalici ai recettori podalici e dunque permette di situare l'orecchio interno e gli occhi in rapporto ad un recettore fisso costituito dai piedi.

Ciò consente una codificazione delle informazioni spazio-temporali cefaliche (Gallozzi G. 2002).

3.2. Rapporto tra equilibrio e propriocezione

L'equilibrio è il rapporto ottimale tra l'ambiente ed il soggetto, si riferisce all'abilità di ciascuno a rimanere in posizione eretta da fermo o durante la preparazione e l'esecuzione di un movimento volontario (Sveistrup, 2001).

Esso non è rappresentato da una situazione definitiva, ma deriva da un continuo adattamento tonico posturale coordinativo: infatti ciò che è importante non è la capacità di conservare l'equilibrio, ma di saperlo ritrovare ogni volta.

Tale capacità è determinata principalmente dall'abilità propriocettiva del soggetto nella correzione degli sbilanciamenti.

Ciò che viene chiamato equilibrio, infatti, altro non è che un continuo adattamento della nostra muscolatura o delle articolazioni a modificazioni della postura che richiedono un'adeguata risposta motoria.

La propriocezione corrisponde al senso della posizione del corpo nel campo gravitazionale, della posizione reciproca e del movimento dei singoli segmenti corporei (Umiltà, 1995).

Agli inizi del novecento, si parla per la prima volta di propriocettività per indicare l'insieme di segnali provenienti dai propriocettori, la cui funzione principale è quella di informare, istante per istante, il sistema nervoso sui movimenti propri dell'organismo (Sherrington 1906).

Per gestire situazioni di instabilità si possono mettere in atto diverse strategie. Nell'esecuzione di un compito in appoggio monopodalico su una tavola basculante, si può notare che il soggetto può usare tre diverse strategie per mantenere l'equilibrio, quella propriocettiva-visiva, quella vestibolare e di quella di compenso degli arti inferiori.

La prima consente il controllo posturale più raffinato, essa è una caratteristica dei campioni, ma può essere acquisita da tutti attraverso l'allenamento. In questo caso è il solo arto inferiore in appoggio a gestire la situazione di instabilità, mentre la testa e il tronco sono quasi immobili. L'apparato vestibolare non interviene nella gestione del disequilibrio, ma vengono usati gli altri due sistemi informativi, propriocettivo e visivo. Durante la strategia vestibolare, la testa è sottoposta a continui cambiamenti di posizione e ad accelerazioni, determinando una gestione del controllo posturale imprecisa, con latenze superiori e con continui movimenti e contromovimenti di tronco, anche, arti superiori, eccessivi rispetto alla situazione biomeccanica da gestire.

La strategia degli arti superiori viene utilizzata quando il sistema propriocettivo-visivo è inadeguato, cercando però, allo stesso tempo, di limitare l'intervento del sistema vestibolare.

La strategia da preferire e da allenare risulta essere la prima.

In essa il massimo flusso dei segnali propriocettivi nasce dall'arto inferiore in appoggio e le risposte muscolari afferenti devono rispondere alla massima frequenza,

con un raffinato gioco di microcontrazioni di agonisti e antagonisti per assicurare la gestione verticale.

La massima attivazione del sistema propriocettivo e delle risposte muscolari riflesse si ottiene quando si riesce a gestire il corpo umano come un sistema rigido, con un unico punto di snodo a livello della tibio-tarsica (Riva 2000).

3.3. Tipi e importanza delle capacità coordinative

Le capacità coordinative sono le capacità motorie dell'uomo che, prioritariamente, sono determinate dalla coordinazione, cioè dai processi di controllo e di regolazione dei movimenti (Hirtz 1981). Esse mettono l'atleta in grado di controllare, con sicurezza ed economia, le sue azioni motorie in situazioni prevedibili (stereotipate) ed imprevedibili (variabili) e di apprendere movimenti sportivi in modo relativamente rapido (Frey 1977).

Le capacità coordinative vanno distinte dalle abilità motorie: mentre, le seconde vanno riferite ad azioni concrete di movimento stabilizzate, le capacità coordinative rappresentano i presupposti consolidati, ma generalizzati, cioè di base, per tutta una serie di azioni motorie dell'uomo.

Viene fatta una distinzione tra capacità coordinative generali e speciali.

Le prime sono il prodotto di un addestramento multilaterale in vari sport. Per cui, anche nei vari campi della vita quotidiana e dello sport, si manifestano in modo tale che qualsiasi problema o compito di movimento possa essere affrontato e risolto in modo razionale e creativo.

Le capacità coordinative speciali, invece, vengono formate, prevalentemente, nel quadro della relativa disciplina di gara e, secondo Osolin (1952), sono caratterizzate dalla possibilità di variazione nella tecnica dello sport considerato. Caratteristica delle capacità coordinative speciali è quella di presentarsi in tipiche costellazioni complesse di più capacità: a seconda dello sport, in tali costellazioni assumono una posizione preminente ed accentuata determinati collegamenti tra le loro componenti, che mostrano specifiche relazioni infrastrutturali, per quanto riguarda il loro peso fattoriale.

In modo molto generale, si può affermare che si ha bisogno delle capacità coordinative per dominare e risolvere situazioni che richiedono di agire velocemente ed in modo finalizzato. Per cui, sono estremamente importanti anche come profilassi verso gli incidenti e gli infortuni, in quanto permettono di impedire collisioni, cadute ecc.

Le capacità coordinative rappresentano la base di una buona capacità sensomotoria di apprendimento. Con ciò si intende dire che più è elevato il loro livello, minore sarà la velocità e la difficoltà con la quale vengono appresi movimenti nuovi e difficili.

L'elevata economia, immanente ad un elevato sviluppo delle capacità coordinative, che è determinata dalla precisione del controllo del movimento, permette di eseguire gli

stessi con uno scarso dispendio di forza muscolare e quindi ha un effetto di risparmio di energia, perciò determina il livello di utilizzazione delle capacità condizionali.

Sulla base dello sviluppo di una buona capacità coordinativa, anche negli anni successivi di allenamento possono essere apprese nuove abilità tecnico sportive e trasformate quelle già apprese.

Un elevato livello di capacità coordinative permette di fare proprie razionalmente abilità tecniche caratteristiche di altri sport, che poi, ad esempio, possono essere utilizzate per lo sviluppo della condizione fisica e per l'allenamento di compensazione.

Sebbene l'optimum nello sviluppo delle capacità coordinative si manifesti in momenti parzialmente molto diversi, in generale, si può affermare che esse hanno la maggior spinta di sviluppo dal settimo anno d'età fino all'entrata nella pubertà. Secondo Bringmann (1973), in questo periodo si può osservare una rapida maturazione del S.N.C.. Parallelamente, si realizza un incremento della funzionalità dell'analizzatore acustico ed ottico, con il contemporaneo miglioramento dell'elaborazione delle informazioni, per cui viene facilitato l'addestramento di abilità motorie complesse.

Perciò, l'addestramento tempestivo delle capacità coordinative è decisivo per quanto riguarda il livello di sviluppo che potrà essere raggiunto successivamente.

Nel corso della vita, a secondo del grado di allenamento, le capacità coordinative diminuiscono più o meno velocemente, in relazione e parallelamente alla di munizione del livello dei fattori fisici della prestazione o della qualità dei processi di coordinazione e di controllo.

Nel processo generale di allenamento, per avere la possibilità di addestrare in modo differenziato le capacità coordinative, appare importante, da un lato, avere sempre presente la loro complessità, ma, dall'altro comprendere anche le loro componenti parziali e l'importanza che esse hanno nel quadro del loro addestramento (Hirtz 1976).

Dunque, la conoscenza precisa delle componenti parziali, che, secondo i risultati delle ricerche di Farfel 1979, per lo più non sono correlate tra loro, è di particolare importanza, in quanto offre la possibilità di rimuovere eventuali punti deboli parziali.

Perciò essenzialmente, le capacità coordinative vengono migliorate quando le loro singole componenti vengono sviluppate anche esse in modo mirato, come avviene per le capacità condizionali (Blume 1978). Se si considera che, finora, non ci sono ancora ricerche che possono fare chiarezza completa sul numero, sull'esatta struttura, come anche sui rapporti tra le singole componenti, i dati sulle componenti parziali vanno interpretati come un aiuto per orientarsi per quanto riguarda l'addestramento delle capacità coordinative, ma non significano che esiste una comprensione definitiva, scientificamente fondata, di queste qualità complesse.

Sono considerate componenti delle capacità coordinative: la capacità di adattamento e di trasformazione, la capacità di controllo e di differenziazione, la capacità di reazione, la capacità di ritmo e quella di combinazione o di coordinazione segmentaria (abbinamento).

In questo capitolo illustrerò gli aspetti applicativi della ricerca; partendo dalla descrizione della struttura del riscaldamento, illustrando in che modo possiamo ottenere degli adattamenti, un aumento della forza muscolare di un atleta e come può migliorare il controllo dei propri movimenti; cercherò di motivare la mia ricerca volta a far sì che un giocatore risulti essere in grado di migliorare le proprie prestazioni, salvaguardandosi il più possibile dagli infortuni, attraverso un miglioramento della coordinazione e la presa di coscienza del proprio corpo in situazioni instabili e imprevedibili.

4. IL RISCALDAMENTO

4.1. I principi generali dell'organizzazione del riscaldamento

La capacità di lavoro degli atleti e l'efficacia dell'attività dei sistemi funzionali del loro organismo in gara e durante le unità di allenamento sono notevolmente determinate da un'organizzazione razionale del riscaldamento.

Il riscaldamento è un insieme di esercizi e procedure appositamente scelti e finalizzati a preparare efficacemente l'organismo dell'atleta alla futura attività motoria, che deve realizzare tre compiti: funzionale, motorio ed emotivo.

La realizzazione del compito funzionale è garantita dall'accelerazione del periodo d'avviamento al lavoro della funzione respiratoria, della circolazione del sangue, del metabolismo, dei tessuti e da un'attività coordinata dei diversi sistemi e meccanismi che sono interessati all'attività motoria prevista.

Il compito motorio si realizza organizzando il lavoro dei muscoli, la loro interazione, rinforzando l'informazione afferente dei muscoli interessati al lavoro e alla sua elaborazione razionale.

Infine la soluzione al compito emotivo è legata alla preparazione psicologica dell'atleta al lavoro che l'attende, alla formazione di uno stato emotivo positivo e alla mobilitazione dell'atleta in vista della realizzazione di determinate azioni motorie.

Molte ricerche hanno stabilito che il riscaldamento produce un considerevole incremento dei risultati in vari sport. Secondo il suo carattere e la specificità dello sport, tale aumento può andare dall' 1-2 al 7% (Jakovlev 1979). Esso rappresenta una componente obbligatoria dell'organizzazione razionale del processo dell'allenamento e di gara. La sua assenza o la sua carenza, prima di una competizione o di un allenamento, aumenta sostanzialmente la probabilità di traumi muscolari. La sua assenza è pericolosa anche per il funzionamento del cuore, in quanto il flusso coronario non si adatta immediatamente ad un lavoro intenso. Per questa ragione, un tale tipo di lavoro,

non preceduto dal riscaldamento, può provocare un'ischemia cardiaca in atleti anche ben preparati con un cuore sano.

L'aumento della temperatura del sangue e dei muscoli, dovuto all'azione del riscaldamento, serve ad aumentare l'efficacia dell'attività motoria, grazie alla contrazione ed al rilassamento più rapidi dei muscoli, al miglioramento della contrazione intra e intermuscolare, ad una maggior utilizzazione dell'ossigeno contenuto nell'emoglobina e nella mioglobina, all'accelerazione dei processi metabolici e alla diminuzione della resistenza del letto dei vasi sanguigni. La particolare importanza del riscaldamento consiste nell'attivazione del sistema di trasformazione aerobica dell'energia, che permette all'atleta di raggiungere più rapidamente un elevato livello di meccanismo aerobico durante l'esecuzione del lavoro principale, per cui la riserva anaerobica viene conservata, per essere usata successivamente.

Ciò viene confermato dai risultati di ricerche, secondo le quali, in un lavoro intensivo (120% del VO₂ max), dopo un riscaldamento di dieci minuti si osserva un minor accumulo di acido lattico muscolare ed ematico rispetto a quando esso era assente.

Uno degli effetti più importanti del riscaldamento prima di un lavoro prolungato a livello della soglia anaerobica, è l'aumento della trasformazione d'energia attraverso il metabolismo lipidico, che permette di risparmiare le riserve di carboidrati.

Se si analizza l'aumento della temperatura interna del corpo, come uno dei fattori che determinano l'efficacia del riscaldamento, si deve ricordare che essa può essere innalzata realizzando un lavoro fisico e usando una sauna o una doccia calda.

Comunque è più importante un'attività muscolare appositamente organizzata che permette di unire organicamente l'aumento della temperatura corporea con la preparazione del sistema di regolazione dei movimenti. Il riscaldamento locale delle estremità, invece, è molto meno efficace e, in alcuni casi, porta addirittura ad una diminuzione della capacità di lavoro e della comparsa di un affaticamento precoce (Clark 1958).

Quando si scelgono gli esercizi, l'intensità della loro esecuzione, la durata complessiva del riscaldamento, si deve sapere che la temperatura interna ottimale del corpo alla quale si osservano i valori più elevati nell'attività dei più importanti sistemi vegetativi è circa 39°.

L'attività dei muscoli che rappresenta la fonte di calore durante il lavoro deve essere sufficientemente prolungata per garantire non soltanto il riscaldamento muscolare, ma anche quello dell'interno dell'organismo; altrimenti i muscoli perdono rapidamente calore, trasmettendolo all'interno del corpo tramite il flusso sanguigno (Joffe 1988).

Un riscaldamento abbastanza efficace dell'interno e della periferia del corpo può essere assicurato attraverso l'esecuzione di una parte generale del riscaldamento dalla durata di venti minuti. Secondo il livello di qualificazione degli atleti, il carattere del riscaldamento, la temperatura dell'aria, l'abbigliamento la durata della parte generale può essere diminuita di tre - cinque minuti o aumentata fino a dieci minuti.

4.2. Struttura e contenuto del riscaldamento

L'azione del riscaldamento sarà ottimale solo se garantisce quello completo del corpo ed include anche azioni motorie che corrispondono al lavoro futuro non solo per quando riguarda la loro struttura coordinativa, ma anche per il carattere dell'attività dei sistemi funzionali interessati ad esso.

Per questa ragione, nella pratica, il riscaldamento si compone di due parti: generale e speciale.

La parte generale assicura l'attivazione delle funzioni del sistema nervoso centrale, dell'apparato motorio, dei sistemi cardiovascolare, respiratorio e di altri sistemi dell'organismo, disponendoli a un passaggio efficace al lavoro principale.

La parte speciale deve preparare il sistema funzionale direttamente interessato alla realizzazione efficace di determinate azioni motorie, nel regime stabilito dal programma dell'attività d'allenamento o di gara. In essa, si realizza la preparazione delle relazioni riflesse condizionate che servono per realizzare le varianti più efficaci della tecnica sportiva, viene portata al livello necessario l'attività del sistema di trasformazione dell'energia e si garantisce un grado ottimale di attività psichica. L'utilizzazione di esercizi di preparazione speciale che, per la loro struttura e la loro azione sull'organismo dell'atleta, si avvicinano al massimo alla futura attività di allenamento e di gara garantisce l'eccitabilità ottimale degli elementi centrali e periferici dell'apparato motorio e anche l'attivazione delle funzioni vegetative che sono dominanti nella futura attività motoria (Gorkin 1973).

Gli atleti di elevata qualificazione, specializzati in sport diversi, normalmente dedicano al riscaldamento da trenta a sessanta minuti. Le differenze nella sua durata sono determinate dalla specificità dello sport e della disciplina sportiva, dalle condizioni climatiche, dalla particolarità dell'atleta e dall'intensità del riscaldamento. Con l'aumento dell'esperienza di allenamento e di gara dell'atleta, viene scelta la variante del riscaldamento che meglio corrisponde alle sue caratteristiche personali e alla specificità del lavoro previsto.

Normalmente, gli atleti, per mantenere l'effetto di preparazione al lavoro dei principali sistemi funzionali dell'organismo, sono soliti avvicinare quanto più possibile l'inizio del riscaldamento a quello della gara. Ma non tutti preferiscono iniziare la gara dopo un breve intervallo successivo al riscaldamento. Molti dedicano appositamente un determinato tempo al massaggio rilassante o tonificante, a frizioni, alla preparazione psicologica ecc.

La durata dell'intervallo tra la fine del riscaldamento e l'inizio dell'attività motoria principale oscilla, ampiamente, tra cinque e venti minuti. Nelle unità di allenamento, di norma, la parte principale inizia pochi minuti dopo il riscaldamento. La stessa situazione troviamo anche nelle competizioni di molti sport: ciclismo, calcio, pallacanestro ecc. In altri sport come il nuoto, gli atleti spesso sono costretti ad

aspettare la partenza per un tempo abbastanza lungo o ad effettuare più prove di gara ad intervalli di diversa durata; ciò esige il ricorso a misure speciali e a mezzi che garantiscono a misure speciali e a mezzi che garantiscono uno stato ottimale di prontezza dell'atleta al momento della prova.

L'efficacia del riscaldamento dipende, in modo decisivo, dalla sua corrispondenza al carattere dell'attività successiva, dal livello di preparazione e di qualificazione dell'atleta, dal suo stato funzionale ecc. Il carico deve essere aumentato gradualmente, iniziando con un lavoro di scarsa intensità. Il volume principale di lavoro deve essere realizzato ad un'intensità che non supera il livello della soglia anaerobica (Ghutin 1978).

L'effetto della parte generale del riscaldamento si esprime nell'incremento della temperatura muscolare locale e della velocità con la quale si sviluppano le reazioni biochimiche nei muscoli, nell'aumento del flusso sanguigno periferico e della capacità di allungamento dei muscoli e dei legamenti. La capacità contrattile della muscolatura, così come l'ampiezza dei movimenti e l'efficacia della trasformazione dell'energia per l'attività muscolare aumentano; il pericolo di traumi diminuisce, si incrementa l'attività del sistema simpato-adrenergico che favorisce l'adattamento dell'organismo al lavoro futuro, mobilitando le riserve di glicogeno ed attivando le funzioni del sistema cardiocircolatorio e respiratorio (Joffe 1988).

Per il riscaldamento, è più conveniente un lavoro di moderata intensità e di carattere globale, che coinvolga la maggior parte dell'apparato muscolare. Nella sua seconda parte, quella speciale, definita anche messa a punto, si possono realizzare esercizi di carattere sia parziale che locale.

Il primo sintomo di un grado minimo di riscaldamento è la comparsa del sudore, che secondo la temperatura dell'aria e dell'intensità del lavoro, può comparire dopo sei - quindici minuti.

La parte speciale del riscaldamento deve essere tanto più lunga e diversificata quanto più movimenti di uno sport sono difficili da un punto di vista coordinativo. Ad esempio, quella di un calciatore deve essere assolutamente varia e comprendere diverse azioni tecniche tattiche, realizzate con un'intensità che varia in un ambito molto ampio. Nella seconda metà della parte speciale del riscaldamento, conviene realizzare alcuni esercizi di breve durata ed intensità massimale e submassimale.

4.3. Applicazione al calcio

Tutte le sedute di allenamento e le partite dovrebbero iniziare o essere precedute dal riscaldamento, che non produce effetti positivi solo a livello fisico, ma anche a livello psicologico. Il riscaldamento, infatti, può aiutare i giocatori ad esercitare una funzione di controllo sul proprio stato emotivo prima di una partita e a concentrarsi sull'incontro. Prima invece della parte centrale dell'allenamento, la fase di

riscaldamento può agire da stimolo nei confronti dell'attività successiva e preparare mentalmente i giocatori al lavoro che li attende.

Inizialmente l'intensità di esercizio dovrebbe essere bassa per poi aumentare gradualmente. Le attività proposte dovrebbero essere semplici da realizzare da un punto di vista tecnico; diversamente si correrebbe il rischio che il livello generale di attività sia troppo basso e che quindi gli effetti del riscaldamento non siano di beneficio. Dovrebbero essere inclusi, infine, anche leggeri esercizi di stretching.

Nell'organizzazione del riscaldamento dovrebbero essere tenute in considerazione sia le condizioni atmosferiche che la temperatura ambientale. In presenza di clima caldo, la temperatura muscolare e quella corporea aumentano rapidamente e si può dedicare minor tempo al riscaldamento, anche se, per ottenere una temperatura muscolare sufficientemente elevata, è comunque necessario eseguire esercizi adeguati. Nel caso di clima freddo, i giocatori dovrebbero indossare indumenti sportivi supplementari per ridurre la dispersione di calore dal corpo e trovarsi quindi nella migliore condizione possibile allo scopo di aumentare più rapidamente la temperatura muscolare e quella corporea.

Verso la fine del riscaldamento pre-partita l'intensità di lavoro dovrebbe essere piuttosto alta, mentre non è necessario se il riscaldamento precede un allenamento.

Nella pianificazione del riscaldamento pre-allenamento sarebbe opportuno ricercare una maggior creatività, affinché il riscaldamento risulti essere efficace e motivante allo stesso tempo.

5. GLI ADATTAMENTI

Per adattamento si intende la capacità degli organismi viventi di modificare le proprie strutture e reazioni in rapporto alle condizioni dell'ambiente esterno nel quale vivono; ne esistono di due tipologie: genotipico e fenotipico.

Genotipico: rappresenta il processo di adattamento delle popolazioni alle condizioni dell'ambiente in cui vivono, grazie ai cambiamenti genetici e alla selezione naturale.

Fenotipico: rappresenta quel adattamento che si sviluppa durante la vita di un singolo individuo in risposta all'azione dei vari fattori dell'ambiente esterno.

Il termine adattamento viene quindi interpretato sia come processo che come risultato di un processo; così tale termine viene utilizzato:

- per definire un processo col quale l'organismo si adatta ai fattori dell'ambiente esterno ed interno
- per descrivere il relativo equilibrio che si stabilisce tra individuo e ambiente
- per indicare anche il risultato del processo di adattamento.

5.1 L'adattamento e i problemi della preparazione razionale degli atleti

Speciali ricerche hanno dimostrato in modo convincente che gli adattamenti indotti in atleti di alta qualificazione sono eccezionali e neanche paragonabili agli adattamenti imposti, ad una persona, dal proprio lavoro (come chi porta il riscio, chi taglia i boschi, chi lavora in altura ecc.); tutto ciò è facilmente conducibile al fatto che l'intensità del lavoro fisico quotidiano più pesante che esista, sarà sempre inferiore all'intensità di un allenamento e le condizioni estreme, tipiche dell'attività di gara, non trovano analogie né nell'attività giornaliera lavorativa, né in altri tipi di attività umana (esclusi casi in cui la vita umana è in pericolo).

5.2. Le reazioni di adattamento nell'attività muscolare

Il concetto di adattamento è strettamente legato a quello di stress. Per stress si intende uno stato di tensione generale dell'organismo provocato da uno stimolo estremamente forte che provoca un'attivazione dell'ipofisi che porta all'aumento dell' secrezione dell'ormone adrenocorticotropo (ACTH), il quale stimola soprattutto l'attività della corteccia surrenale: tutto ciò è determinabile come la sindrome generale di adattamento, che rappresenta la componente principale del meccanismo dell'adattamento stesso.

Sono possibili due tipi di reazione allo stimolo:

- se lo stimolo è molto intenso e prolungato si sviluppa la fase conclusiva della sindrome da stress, cioè l'esaurimento della capacità reattiva organica
- se l'entità dello stimolo non supera quella delle riserve di adattamento dell'organismo, si producono la mobilitazione e la redistribuzione delle sue risorse energetiche e strutturali, l'attivazione dei processi di adattamento specifico.

Il secondo tipo di reazione è quello che stimola maggiormente un adattamento, infatti favorisce l'aumento della concentrazione ematica di glucosio, di acidi grassi, di aminoacidi, di nucleotidi, porta all'aumento dell'attività del sistema cardiocircolatorio e respiratorio.

Le reazioni di adattamento dell'organismo possono essere suddivise in:

- reazioni di adattamento innate e acquisite
- reazioni di adattamento a lungo termine e a breve termine

L'incremento della respirazione o la redistribuzione del flusso sanguigno in risposta al carico fisico, l'incremento della soglia della percezione acustica in un ambiente rumoroso, l'aumento della frequenza cardiaca in uno stato di eccitazione psichica, sono reazioni adattative innate e a breve termine.

L'allenamento può soltanto modificare queste reazioni, mentre le reazioni adattative acquisite (abitudini tecnico-tattiche complesse) esistono in quanto sono frutto dell'insegnamento e dell'allenamento. L'adattamento a lungo termine si forma gradualmente, grazie all'azione prolungata e ripetuta di determinati stimoli sull'organismo. In realtà , esso si sviluppa grazie all'azione ripetuta di quello a breve termine ed è caratterizzato dal fenomeno dell'accumulo qualitativo di determinati cambiamenti nell'organismo che lo porta ad acquisire una nuova e più elevata capacità. Affinché avvenga il passaggio tra l'adattamento a breve termine (ancora imperfetto) e quello a lungo termine (perfetto) è necessario che, all'interno del sistema funzionale che si è creato, si sviluppi un importante processo, legato ad una serie di cambiamenti strutturali e funzionali dell'organismo, un processo che garantisce lo sviluppo, il consolidamento e l'aumento della potenza del sistema in funzione delle esigenze che gli vengono poste.

5.3. La formazione dell'adattamento a breve termine

Come esempio dell'adattamento a breve termine, possiamo citare le reazioni dell'organismo di soggetti non allenati e allenati all'esecuzione di un carico fisico (corsa sui 400 mt). Immediatamente dopo l'inizio del lavoro, si notano bruschi cambiamenti nell'attività dei sistemi e dei meccanismi funzionali.

Verso la fine del lavoro questi cambiamenti raggiungono livelli molto elevati; durante l'esecuzione di lavoro analogo, in un soggetto non allenato questi cambiamenti sono inferiori rispetto a quelli di un atleta di qualificazione, comunque possono raggiungere livelli notevoli.

Le reazioni di adattamento a breve termine dipendono dall'entità dello stimolo, dal livello di allenamento dell'atleta, dalla sua preparazione all'esecuzione di un dato lavoro, dalla capacità dell'organismo di recuperare efficacemente; tali reazioni sono abbastanza diverse, infatti dopo l'esecuzione di esercizi di breve durata, la normalizzazione dei parametri può realizzarsi in pochi secondi oppure in alcuni giorni.

L'efficacia di questo sistema, però, corrisponde esattamente alle risorse funzionali disponibili in un dato momento, che limitano il volume e l'intensità del lavoro svolto. Per aumentarle occorre esprimere più volte le capacità massimali del sistema funzionale, ed è proprio ciò che porta alla formazione di un adattamento a lungo termine.

Le reazioni di adattamento a breve termine si sviluppano attraverso tre fasi:

- la prima fase è legata all'aumento delle attività delle diverse componenti del sistema funzionale responsabile della realizzazione di un determinato lavoro; ciò si manifesta in un rapido aumento della frequenza e della ventilazione polmonare, del consumo d'ossigeno, dell'accumulo di lattato ematico ecc.
- la seconda fase inizia quando l'attività del sistema funzionale si svolge in condizioni caratterizzate da valori stabili dei principali parametri del suo funzionamento, cioè in condizioni di quello che viene definito "stato stazionario".
- la terza fase è caratterizzata dall'alterazione dell'equilibrio stabilitosi tra bisogno e sua soddisfazione, dovuta all'affaticamento dei centri nervosi responsabili della regolazione dei movimenti e all'esaurimento delle riserve di carboidrati.

Se l'organismo dell'atleta viene posto molto frequentemente di fronte a richieste legate al passaggio a questa fase dell'adattamento a breve termine, si possono produrre effetti negativi sulla velocità di formazione dell'adattamento a lungo termine, e inoltre si possono provocare trasformazioni negative nello stato funzionale dei diversi organi.

Ciascuna delle fasi dell'adattamento a breve termine è legata all'attivazione delle rispettive riserve funzionali.

Le riserve del primo gruppo vengono mobilitate nel passaggio dallo stato di quiete relativa a quello dell'attività muscolare (esse assicurano l'esecuzione del lavoro fino alla comparsa dei sintomi dell'affaticamento); le riserve del secondo gruppo vengono mobilitate mentre il lavoro viene svolto in condizioni di progressivo sviluppo dell'affaticamento; il terzo gruppo fornisce energia solo in condizioni estreme, infatti nelle gare più importanti caratterizzate da un livello estremamente elevato di competitività, da condizioni ambientali variabili e spesso sono in grado di mobilitare riserve funzionali che vanno oltre i limiti del secondo gruppo di esse, che vengono scoperte nelle condizioni di allenamento e durante la partecipazione a gare secondarie.

Il carattere dell'adattamento a breve termine può essere illustrato anche da dati che riguardano la variabilità dei parametri dinamici e cinematici locali della tecnica sportiva, nelle diverse condizioni dell'attività di allenamento e di gara: anche negli sport ciclici, caratterizzati da movimenti con una struttura monotona e rigorosamente determinata, si notano grandi oscillazioni dei vari parametri, determinate dal cambiamento dell'intensità del lavoro e dello stato funzionale dell'organismo dell'atleta in un determinato momento (per esempio un nuotatore durante la rana può aumentare la frequenza e l'ampiezza della bracciata, ecc).

5.4. La formazione dell'adattamento a lungo termine

La formazione dell'adattamento a lungo termine si svolge in quattro stadi:

- il primo stadio è legato alla mobilitazione sistematica delle risorse funzionali dell'organismo dell'atleta, durante il processo di esecuzione di programmi di allenamento aventi una determinata finalizzazione, diretto a stimolare i meccanismi dell'adattamento a lungo termine sulla base dell'accumulo degli effetti di ripetizioni di quello a breve termine
- il secondo stadio prevede che, sulla base di carichi crescenti in modo pianificato ripetuti sistematicamente, si sviluppino in modo intensivo trasformazioni strutturali e funzionali negli organi e nei tessuti del sistema funzionale interessato, con ipertrofia e miglior sincronizzazione delle varie componenti e dei diversi meccanismi
- il terzo stadio è caratterizzato da un adattamento a lungo termine duraturo caratterizzato dalla presenza delle riserve necessarie a garantire un nuovo livello di funzionalità al sistema, la stabilità delle strutture funzionali, una stretta interazione tra gli organi di controllo e gli organi esecutori
- il quarto stadio inizia quando le unità di allenamento sono impostate in modo irrazionale, sono caratterizzate da un'intensità eccessiva, l'alimentazione e il recupero non rispondono ai requisiti richiesti. Esso è caratterizzato dal logoramento di alcune componenti del sistema funzionale.

Un processo di allenamento impostato in modo razionale prevede i primi tre stadi dell'adattamento; lo sviluppo dei processi adattativi entro i limiti degli stadi descritti può riguardare sia diverse componenti della struttura della preparazione dell'atleta, sia quelle dell'attività di gara. In particolare, è questo lo schema secondo il quale avviene l'adattamento dei singoli organi, dei sistemi funzionali e in generale si forma la preparazione globale dell'atleta, che si esprime nella sua facoltà di ottenere i risultati pianificati in una determinata tappa del suo perfezionamento sportivo.

Tuttavia, la semplice formazione del sistema funzionale non è sufficiente per lo sviluppo di un adattamento perfetto. E' necessario che, nelle cellule, nei tessuti e negli

organi che formano questo sistema si realizzino cambiamenti strutturali che ne aumentino la potenza e le interazioni tra le diverse componenti.

Un adattamento a lungo termine si sviluppa in modo particolarmente efficace se vengono usati carichi di grandezza elevata che pongono notevoli richieste ai sistemi funzionali dell'organismo.

L'adattamento che riguarda il cuore e quindi anche tutti i muscoli interessati riguarda anche gli organi della regolazione nervosa ed endocrina. Ad esempio a livello di regolazione nervosa l'adattamento del sistema funzionale è legato all'ipertrofia dei neuroni motori e all'aumento degli enzimi respiratori; a livello del tessuto muscolare si esprime nell'aumento della capacità della rete capillare e del numero di mitocondri nei muscoli.

Il processo della formazione in un efficace adattamento a lungo termine del sistema neuroendocrino dell'organismo è legato all'aumento dei parametri della sua potenza e della sua economia. L'incremento della potenza è determinato, anzitutto, dallo sviluppo dell'ipertrofia della parte midollare dei surreni, dall'aumento delle riserve di catecolamine, dall'ipertrofia della corteccia surrenale, impegnata nella secrezione di glicocorticoidi che accompagna dei cambiamenti dell'ultrastruttura dei corticociti che portano all'aumento della capacità di sintesi dei corticosteroidi.

L'aumento delle riserve di catecolamine porta ad una loro maggiore mobilitazione durante l'esecuzione di carichi esplosivi di breve durata previene il loro esaurimento durante i carichi di lunga durata. L'aumento della capacità della corteccia surrenale di sintetizzare corticosteroidi assicura un livello elevato della loro concentrazione ematica durante i carichi di lunga durata, quindi aumenta la capacità di lavoro dell'atleta.



L' incremento delle capacità funzionali dei surrenali dei surreni determina in grande misura l'efficacia della trasformazione di energia per il lavoro muscolare. Le catecolamine attivano gli enzimi principali della glicogenolisi e della glicolisi, quindi, questi processi che si svolgono nei muscoli scheletrici, nel cuore e nel fegato, favoriscono il passaggio del glucosio dal fegato al sangue e il suo trasporto alle cellule del miocardio e dei muscoli.

Tale iperfunzione degli organi è fondamentale e determinante per la formazione della base strutturale dell'adattamento a lungo termine al carico fisico.

La maggior economia dell'organismo adattato al carico fisico rispetto ad uno non adattato si manifesta in una diminuzione della frequenza cardiaca, della frequenza

respiratoria, nella diminuzione del volume respiratorio e del consumo di ossigeno in condizioni di riposo, mentre durante un carico standard si ha inoltre una minor produzione di lattato e una minor reazione del sistema simpatico - adrenergico (e di conseguenza in un minor aumento della concentrazione ematica di catecolamine).

Un altro elemento dell'adattamento a lungo termine è rappresentato dalla formazione, nella corteccia cerebrale, di sistemi economici e stabili dell'attività interconnessa, che fanno parte dei sistemi funzionali di controllo dei movimenti e sono caratterizzati da un' elevata stabilità nei confronti dei fattori di disturbo.

Uno degli indici della maggior economia di funzionamento di un sistema adattato è rappresentato dalla diminuzione della demolizione delle strutture dell'organismo in condizioni di carichi notevoli. E' noto che la diminuzione della concentrazione di ATP nei tessuti rappresenta un fattore di deterioramento e demolizione delle strutture; l'aumento della potenza del sistema della sintesi di composti fosforici ricchi di energia previene il deficit di ATP, di conseguenza, l'organismo riesce ad evitare l'alternanza tra i processi di rigenerazione e logoramento dei suoi organi e sistemi. Tutto ciò a favore di una maggior economia e nell'utilizzazione delle risorse strutturali dell'organismo.

Esistono varie modalità di adattamento dei sistemi funzionali che si formano in risposta ai diversi stimoli e che ampliano le loro risorse adattative. Però, tutte si basano sugli stessi processi di carattere generale aspecifico:

- la variazione della quantità delle strutture che funzionano attivamente rispetto alla totalità di quelle esistenti; viene interessata al lavoro solo quella quantità di strutture che corrisponde rigorosamente alle esigenze poste dal livello del carico
- l'aumento della potenza delle strutture funzionali, quando le risorse presenti non sono sufficienti
- l'effetto di adattamento a lungo termine ai carichi realizzati che, nelle varie strutture, si manifesta in tempi diversi
- l'aumento della mobilità delle strutture del sistema adattato, per quanto riguarda trasformazioni efficaci, la realizzazione di reazioni di compensazione e l'esecuzione di funzioni continue

La caratteristica fondamentale di tutti i processi di formazione della base strutturale dell'adattamento a lungo termine risiede nel fatto che hanno carattere universale, cioè si manifestano con la stessa evidenza a livello molecolare, cellulare, dei tessuti e dei sistemi.

5.5. I fenomeni di disadattamento, riadattamento e superadattamento negli atleti

Un allenamento organizzato in modo razionale porta ad un rapido aumento delle possibilità funzionali degli organi e dei sistemi dell'organismo, grazie al miglioramento

di tutto il complesso dei meccanismi responsabili dell'adattamento. L'utilizzazione di carichi eccessivi, superiori alle possibilità individuali di adattamento dell'atleta, che richiedono una mobilitazione sproporzionata delle risorse funzionali degli organi e dei sistemi dell'organismo porta, infine, ad un superadattamento che si manifesta nell'esaurimento e nel logoramento dei sistemi funzionali principalmente interessati all'esecuzione del carico. La sospensione dell'allenamento, oppure l'utilizzazione di carichi di scarsa intensità e volume, che non sono in grado di garantire il mantenimento del livello dei cambiamenti adattativi raggiunto portano ad un disadattamento, cioè al processo opposto a quello adattativo. In altri termini, i processi di adattamento nell'organismo umano si sviluppano rigorosamente secondo il carattere e l'intensità degli stimoli dell'ambiente esterno.

Questi meccanismi di adattamento, superadattamento e disadattamento sono tipici anche di altri organi e sistemi (Merson 1981).

Nei carichi eccessivi, con una determinata finalizzazione, si nascondono due pericoli:

- la possibilità di un esaurimento funzionale del sistema che svolge il ruolo dominante nella reazione di adattamento
- la diminuzione della riserva strutturale e della corrispondente riserva funzionale di altri sistemi che non partecipano direttamente alla reazione di adattamento.

Questi fenomeni negativi possono essere evitati pianificando in modo razionale i carichi nei micro- e mesociclo, come anche nelle maggiori unità strutturali del processo di allenamento. La variante dell'adattamento più efficace per ottenere risultati elevati, che permette di evitare le conseguenze negative dell'utilizzazione di carichi elevati sui singoli organi e sistemi, è quella per cui lo sviluppo dell'insieme di capacità che determinano il successo in una determinata disciplina sportiva si orienta su un rapporto ed un'alternanza razionali di carichi con diversa finalizzazione prioritaria.

Il disadattamento è l'espressione della straordinaria capacità dell'organismo di eliminare le strutture non utilizzate, permettendo così di sfruttare le risorse strutturali liberate per altri sistemi e in questo modo di passare, per influenza dell'ambiente esterno, da un tipo di adattamento ad un altro (Merson 1986).

La sospensione o l'utilizzo di carichi inferiori rispetto al livello che sarebbe necessario per mantenere i cambiamenti adattativi raggiunti, porta ad un processo di disadattamento, in cui si perdono i cambiamenti adattativi tanto velocemente quanto l'attività motoria è minore. Se il processo di allenamento viene sospeso completamente, il processo di disadattamento si sviluppa in modo molto intenso; invece, se l'allenamento viene continuato anche se con un volume ridotto (20-30% di quello normale), l'effetto di allenamento raggiunto precedentemente si manifesta per un periodo abbastanza lungo (non inferiore ai 2-3 mesi) (Wilmore 1994).

Un aspetto importante del disadattamento è che si sviluppa in modo non uniforme; nelle prime settimane successive alla sospensione dell'allenamento si nota una

diminuzione notevole della riserva funzionale del sistema di adattamento. Successivamente, il processo rallenta.

Le reazioni di adattamento si conservano in maniera occulta per un lungo periodo e servono come base affinché, quando viene ripreso l'allenamento dopo la sua sospensione, il recupero del livello d' adattamento perduto sia più rapido rispetto al tempo impiegato inizialmente per la sua formazione (Pshennicoka 1986).

E' importante tener conto che maggiore è la velocità con la quale si è formato l' adattamento, più difficile sarà mantenere il livello da esso raggiunto e maggiore sarà la velocità con la quale viene perduto dopo la sospensione dell'allenamento.

6. LA FORZA MUSCOLARE

6.1 Determinanti della forza muscolare

La forza isometrica sviluppata da una fibra muscolare dipende dal numero di ponti acto-miosinici che si formano nell'area della sua sezione trasversa. Si assume infatti che tutte le interazioni actina-miosina sviluppino la stessa forza e che la forza sviluppata da una esse si possa sommare con quella sviluppata dalle altre purché le fibre interessate siano in parallelo.

Il numero di interazioni acto-miosiniche che si formano nella sezione trasversa di una fibra durante una contrazione, a sua volta dipende da diversi fattori:

- diametro della fibra
- lunghezza dei sarcomero
- quantità di calcio che si lega alla tropomina
- tipo di miosina

Diametro della fibra: maggiore è il numero dei sarcomeri disposti in parallelo, maggiore è il numero dei filamenti sottili e spessi quindi il numero delle molecole di actina e miosina che possono interagire nella sezione trasversa della fibra.

Lunghezza del sarcomero: la lunghezza dei sarcomeri, cioè la distanza tra le linee Z, influenza il numero di interazioni acto-miosiniche che si formano durante la contrazione muscolare. Il rapporto tra lunghezza dei sarcomeri e forza isometrica sviluppata è descritto nella relazione tensione (attiva) - lunghezza che mette in rapporto la lunghezza dei sarcomeri con la forza sviluppata di una fibra scheletrica in condizioni isometriche; esiste una lunghezza dei sarcomeri in corrispondenza della quale la forza sviluppata è massima, mentre al di sopra e al di sotto di questa lunghezza la forza sviluppata tende a zero.

Quantità di calcio che si lega alla troponina: la percentuale di troponina che legano Calcio dipende dalla quantità di Calcio liberata dal reticolo sarcoplasmatico e della concentrazione di calcio libero raggiunta nel citoplasma, dall'affinità della troponina C per il Calcio e dal tempo durante il quale la concentrazione di Calcio nel citoplasma resta alta prima che il Calcio venga ricatturato dal reticolo sarcoplasmatico.

Nel muscolo scheletrico la quantità di Calcio che si libera dal reticolo in seguito a un potenziale d'azione lungo i tubuli T è abbastanza costante così come l'affinità della troponina C per il Calcio. Durante questo tempo la pompa del Calcio del reticolo

recupera attivamente il calcio e tende ad abbassare la concentrazione di Calcio. Si dice quindi che un solo stimolo non è in grado di attivare massimamente una fibra muscolare scheletrica; per ottenere un'attivazione massimale è necessario stimolare ripetutamente la fibra muscolare con un'alta frequenza di potenziali d'azione.

Tipi di miosina: le isoforme di miosina presenti nei muscoli scheletrici degli arti dell'uomo sono tre (Ia,IIb e IIx). La forza sviluppata dalle fibre Ia è inferiore alla forza sviluppata dagli altri tipi di fibre che sono rapide; la differenza, pari al 30-40%, non è però molto grande se confrontata con le grandi differenze di forza che possono essere generate attraverso la modulazione della frequenza di stimolazione della fibra. Le isoforme di miosina che hanno un ruolo fondamentale nel determinare le grandi differenze di velocità, il consumo di energia e di potenza muscolare e giocano quindi un ruolo limitato nella regolazione della forza sviluppata. Inoltre i diversi tipi di unità motorie sviluppano forze molto diverse non perché sono composti da tipi cellulari diversi, ma perché il numero di fibre che li compongono è molto diverso.

6.2. Determinanti della velocità di accorciamento

La velocità di accorciamento di una fibra muscolare dipende dalla velocità con la quale avviene il ciclo di interazione tra actina e miosina, cioè la velocità con la quale la miosina, una volta legata all'actina ruota e si distacca dall'actina stessa per riprendere un nuovo ciclo. Tale velocità è determinata da tre fattori:

- carico applicato
- attività ATPasica della miosina
- massima forza isometrica sviluppata

Carico applicato: una fibra muscolare si può accorciare se il peso o il carico applicato ai suoi estremi è inferiore alla forza isometrica che essa è in grado di sviluppare. In contrazioni isotoniche, la relazione tra carico applicato e velocità di accorciamento è espressa dalla relazione forza-velocità, che, insieme alla relazione tensione-lunghezza, è la relazione fondamentale per descrivere le proprietà contrattili di muscolo.

Tutte le contrazioni isotoniche hanno quindi una fase iniziale isometrica, seguita dalla fase isotonica e infine, da una seconda fase isometrica durante il rilasciamento; dalla relazione forza velocità è così possibile calcolare la potenza massima sviluppata da un muscolo e la velocità alla quale essa viene prodotta. Moltiplicando i valori di carico per i corrispondenti valori di velocità, infatti si ottiene una curva potenza-velocità. Tale curva dimostra che la potenza sviluppata da un muscolo è zero sia alla massima velocità di accorciamento che in condizioni isometriche ed è invece massima ad una velocità di accorciamento intorno ad un terzo della velocità massima.

Attività ATPasica della miosina: a parità di carico applicato, la velocità con la quale la miosina compie un ciclo di interazione con l'actina dipende dall'attività ATPasica della miosina, cioè dalla rapidità con cui la miosina scinde ATP e, soprattutto, si libera dei suoi prodotti di idrolisi.

Massima forza isometrica sviluppata: è esperienza comune che maggiore è la capacità di sviluppare forza da parte di un muscolo, maggiore è la velocità con la quale il muscolo si accorcia contro un certo peso.

Se il carico applicato a una fibra muscolare è zero, il carico applicato a tutti i ponti acto-miosinici che si formano durante l'attivazione sarà zero, qualunque sia il loro numero. La velocità di accorciamento sarà quindi uguale alla velocità massima. Se invece alla fibra viene applicato un carico quanto maggiore sarà il numero di ponti acto-miosinici che si formano durante l'attivazione del muscolo, tanto minore risulterà il carico su di essi poiché il carico viene ripartito per il numero di ponti attivi. Quindi più numerosi sono i ponti attivi e maggiore sarà la forza isometrica, minore sarà il carico applicato su ogni singolo ponte e maggiore sarà la velocità alla quale può ruotare.

7. LA COORDINAZIONE E LA METODOLOGIA DEL SUO MIGLIORAMENTO

7.1. Tipi di capacità coordinative e fattori che le determinano

Tra gli elementi che compongono la struttura delle capacità di coordinazione dell'atleta, occorre distinguere, in primo luogo: la percezione e l'analisi dei propri movimenti; l'esistenza di rappresentazioni (o immagini) delle caratteristiche dinamiche, temporali e spaziali dei movimenti del proprio corpo e delle sue parti nella loro interazione complessa; la compressione degli obiettivi dell'attività motoria e la formazione di un piano e di metodo concreto per eseguire il movimento.

Questi elementi permettono di ottenere un impulso efferente efficace verso i gruppi muscolari che debbono essere coinvolti nel movimento dal punto di vista coordinativo. Un fattore non meno importante nel determinare il livello di coordinazione è rappresentato dal controllo operativo delle caratteristiche dei movimenti, mentre vengono eseguiti, e dall'elaborazione dei suoi risultati.

Un ruolo importante in questo meccanismo spetta alla precisione degli impulsi (segnali) che arrivano dai recettori situati nei muscoli, nei tendini, nei legamenti, nelle cartilagini articolari, così come dagli analizzatori visivo e vestibolare, all'efficacia della loro elaborazione da parte del sistema nervoso centrale e all'esattezza e alla razionalità degli impulsi afferenti che garantiscono la qualità dei movimenti eseguiti.

Quando si analizza la sensibilità muscolare ed articolare, in quanto condizione principale dell'efficacia degli impulsi afferenti, occorre mettere in risalto il carattere selettivo della sua formazione, che è strettamente correlata con il carattere specifico dello sport praticato, con il patrimonio tecnico di un atleta. Perciò, quando si pianifica lo sviluppo della sensibilità muscolare ed articolare, è indispensabile basarsi sulle diversità degli esercizi, sulla varietà delle loro caratteristiche dinamiche e spazio - temporali e sulla necessità di coinvolgere determinati muscoli e articolazioni.

Tra i fattori più importanti che determinano il livello della coordinazione, figura la memoria motoria, che è la proprietà del sistema nervoso centrale di ricordare i movimenti e di riprodurli quando necessario. La memoria motoria degli atleti d'elevata qualificazione e, in particolare, quella degli specialisti degli sport di combattimento e dei giochi sportivi, contiene abitudini motorie di diverse complessità. Ciò permette di dimostrare un livello elevato di coordinazione nelle più diverse condizioni d'allenamento e di gara: quando si devono assimilare nuovi movimenti; quando si devono eseguire i movimenti più efficaci in condizioni di pressione temporale, di carenza di

spazio, in stato d'affaticamento, malgrado l'opposizione di un avversario; quando è necessario improvvisare in situazioni inattese.

La presenza di programmi efficaci nella memoria motoria determina azioni motorie rapide e efficienti, quando il sistema nervoso centrale non ha il tempo necessario per elaborare le informazioni che provengono dai recettori.

Un importante fattore che determina il livello delle capacità coordinative è un'efficace coordinazione intra - ed intermuscolare. La sua capacità di attivare il numero indispensabile d'unità motorie per ottenere un'interazione ottimale tra i muscoli agonisti ed antagonisti, garantendo un passaggio rapido dalla tensione al rilassamento muscolare, è tipica degli atleti di elevata qualificazione, che si distinguono per un livello elevato di coordinazione.

Per aumentare il livello di coordinazione, è molto importante l'adattamento dell'attività dei diversi analizzatori alle particolarità specifiche di un determinato sport. L'allenamento migliora le funzioni di molti analizzatori; ad esempio, ciò si manifesta in una diminuzione della soglia della sensibilità propriocettiva.

Alla base dell'attività degli atleti in situazioni imprevedute che variano rapidamente troviamo quelle capacità di coordinazione che si basano sulle manifestazioni delle reazioni motorie e delle anticipazioni spazio - temporali. Anticipare le interazioni a distanza con i compagni e gli avversari, passare da un'azione all'altra scegliere il momento per iniziare l'azione sono abilità specializzate più diffuse negli atleti, che richiedono lo sviluppo delle capacità di differenziare ed anticipare le componenti spazio - temporali delle situazioni di gara, di scegliere il momento per iniziare i movimenti dello scopo di anticipare l'avversario o di agire con un compagno della propria squadra, di determinare adeguatamente la direzione, l'ampiezza, le caratteristiche di velocità, la profondità ed il ritmo delle proprie azioni, dell'avversario e dei compagni.

Tutte queste capacità si sviluppano durante il miglioramento di azioni prefissate, di azioni che prevedono una scelta, di quelle che implicano il passaggio da una all'altra, come anche attraverso esercizi diretti a variare la rapidità, il ritmo, l'ampiezza ed i parametri temporali delle interazioni con gli avversari o con i compagni.

Anche negli atleti di elevata qualificazione, le capacità specifiche di coordinazione sono sviluppate in modo diseguale. Ogni atleta dispone di lati migliori e peggiori, però i primi possono compensare i secondi.

8. INTRODUZIONE ALLA RICERCA

8.1. Mezzi

Nella ricerca effettuata sono state utilizzate varie apparecchiature sia per testare i giocatori che per proporre il lavoro da svolgere.

Per quanto riguarda la misurazione antropometrica sono state utilizzate una bilancia e uno statimetro; per la valutazione della forza il sistema optojump col quale sono stati eseguiti i test del CMJ - braccia libere, lo stacco monopodalico con un passo di rincorsa e un metro per misurare la distanza del salto triplo (tutte le prove sono state eseguite due volte ed è stata presa in considerazione la misura media); ed infine un'asse di legno per effettuare il Flamengo test sull'equilibrio.

Per quanto riguarda lo sviluppo del programma di ricerca, l'attrezzatura adoperata era composta da quattro tappeti elastici, due skimmy, due meduse, un cronometro e quattro palloni.

I due gruppi sono stati divisi per le abilità e capacità dimostrate nei test sopra descritti ed in base al BMI; l'età non ha assunto un valore particolare in quanto gli atleti appartengono alla stessa categoria (Beretti).

8.2. Metodi

Lo sviluppo dello studio è stato strutturato in un periodo di tempo di circa due mesi, nei quali la squadra ha effettuato quattro allenamenti settimanali ed una partita.

La ricerca prevedeva che il gruppo C svolgesse sempre il riscaldamento, a secco, col pallone, con partitella, con le mani ecc. col mister; contemporaneamente il gruppo S, dopo cinque minuti di mobilizzazione generale, svolgeva un circuito composto da otto stazioni, di tecnica calcistica, da svolgere in condizioni di instabilità, e un percorso da tre minuti circa, da eseguire a secco, nel quale venivano eseguiti dei salti con il piede di stacco su skimmy e arresto con una sola gamba su tappeto elastico.

Il circuito prevedeva queste otto stazioni nelle quali la durata del lavoro e il recupero sono state di 30":

- colpi di testa saltando sul tappeto
- 6 affondi su skimmy per gamba
- passaggi di collo piede al volo con piede di appoggio su tappeto
- passaggi di interno piede dx al volo con piede di appoggio su medusa
- salti su tappeto con arresti monopodalici
- passaggi di interno piede sx al volo con piede di appoggio su medusa
- colpo di testa saltando su skimmy
- passaggio di interno piede

Successivamente veniva svolto un percorso per cinque volte che prevedeva un salto con piede di appoggio su pedana instabile e arresto monopodalico su tappeto elastico.

8.3. Risultati

I risultati alla fine del periodo sperimentale sono stati molto incoraggianti sia per quello che riguarda l'analisi dell'espressioni di forza (CMJ a una gamba e salto triplo), che dell'equilibrio, senza tralasciare un aspetto di grande rilievo quale la prevenzione degli infortuni.

Il gruppo S alla fine del protocollo di lavoro ha presentato un aumento importante della capacità di stacco con entrambi gli arti inferiori nella prova dello stacco monopodalico (col destro +7,6% e col sinistro +9,3%) e un miglioramento lieve nel salto triplo (+0,5% col destro e +2,8% col sinistro); per quanto riguarda la capacità di equilibrio si è verificato un altro importante valore: nel gruppo S risulta un valore minore del precedente del 17,8% con l'arto destro e dell' 11,6% con quello sinistro.

L'unica prova che non ha presentato miglioramenti, ma un leggero peggioramento, è stata il CMJ-L nel quale il valore ottenuto nel primo test è poi peggiorato dell' 1,4% nella seconda batteria di test (test out).

I valori delle capacità testate sono riportate nella tabella 1 (test in), nella tabella 2 (test out) e nella tabella 3 è rappresentato il confronto tra le due sessioni di test.

Gruppo S - test in	cmj	cmj dx	cmj sx	Tr dx	tr sx	fl dx	Fl sx
S1	42,85	31,45	29,85	6,65	6,50	5	3
S2	37,20	32,05	26,85	5,00	5,05	1	2
S3	47,90	36	33,6	6,60	6,76	0	0
S4	47,90	34,75	36,9	6,65	7,20	1	1
S5	43,80	34,7	37,3	5,10	5,60	2	1
S6	49,75	34,75	43,25	7,40	7,30	2	0
S7	39,75	38,55	35,2	6,30	6,20	0	2
Media	44,16	34,61	34,71	6,24	6,37	1,57	1,29
Dev. stand.	4,64	2,38	5,34	0,88	0,83	1,72	1,11

Tabella 1

Gruppo S - test out	cmj	cmj dx	cmj sx	Tr dx	tr sx	fl dx	Fl sx
S1	40,20	32,5	34	5,85	6,50	3	2
S2	36,40	39,8	34,8	5,60	5,43	1	2
S3	48,20	42	43	6,60	6,76	0	1
S4	47,80	34,75	36,9	6,65	7,20	0	0
S5	43,80	32,5	36,4	5,60	6,30	2	2
S6	49,70	38,2	44,05	6,95	7,05	2	1
S7	38,85	40,9	36,5	6,62	6,60	1	0
Media	43,56	37,24	37,95	6,27	6,55	1,29	1,14
dev. stand.	5,20	3,97	3,95	0,56	0,58	1,11	0,90

Tabella 2

	cmj	Cmj dx	cmj sx	tr dx	tr sx	fl dx	Fl sx
gruppo S - test in	44,16	34,61	34,71	6,24	6,37	1,57	1,29
gruppo S - test out	43,56	37,24	37,95	6,27	6,55	1,29	1,14
Differenza	-1,4%	7,6%	9,3%	0,5%	2,8%	-17,8%	-11,6%

Tabella 3

Per quanto riguarda i risultati rilevati nel gruppo C si può notare un miglioramento nel test del CMJ-L (+4,9%); contemporaneamente si è però presentato un aumento del disequilibrio di forza tra un arto e l'altro esplicito dal test di stacco monopodalico, il quale pone in risalto come l'arto di stacco, cioè il sinistro (poiché tutti gli atleti del gruppo C sono destri e hanno confermato tale ipotesi), ha mostrato un miglioramento del 6,5%; di contro però nell'arto destro (non di stacco) si rileva un peggioramento del 5,6%.

Nel salto triplo non vi sono grosse differenze di valori (col destro +0,3% e col sinistro -1,3%), mentre sul test specifico dell'equilibrio i risultati indicano chiaramente un peggioramento di tale capacità: -12,5% con l'arto destro e -33,3% con l'arto sinistro. I valori delle capacità testate sono riportate nella tabella 4 (test in), nella tabella 5 (test out) e nella tabella 6 è rappresentato il confronto tra le due sessioni di test.

gruppo C - test in	cmj	cmj dx	cmj sx	tr dx	tr sx	fl dx	fl sx
C1	39,00	35,20	34,40	6,50	7,60	0	1
C2	46,50	34,85	32,10	6,63	6,70	1	0
C3	38,10	31,35	31,35	6,50	5,90	4	2
C4	43,25	30,85	37,50	6,30	6,95	3	0
media	41,71	33,06	33,84	6,48	6,79	2,00	0,75
dev. stand.	3,90	2,28	2,77	0,14	0,70	1,83	0,96

Tabella 4

Gruppo C - test out	cmj	cmj dx	cmj sx	tr dx	tr sx	fl dx	fl sx
C1	43,35	35,60	38,90	6,80	6,80	2	1
C2	43,25	25,80	32,40	6,60	6,75	4	0
C3	42,80	32,40	36,40	5,65	6,55	2	2
C4	45,55	31,00	36,40	6,95	6,70	1	1
media	43,74	31,20	36,03	6,50	6,70	2,25	1,00
dev. stand.	1,23	4,08	2,69	0,58	0,11	1,26	0,82

Tabella 5

	cmj	cmj dx	cmj sx	tr dx	tr sx	fl dx	fl sx
gruppo C - test in	41,71	33,06	33,84	6,48	6,79	2,00	0,75
gruppo C - test out	43,74	31,20	36,03	6,50	6,70	2,25	1,00
differenza	4,9%	-5,6%	6,5%	0,3%	-1,3%	12,5%	33,3%

Tabella 6

Passando invece al confronto tra i due gruppi di lavoro le differenze appaiono piuttosto chiare; infatti il gruppo S mostra come ci sia un miglioramento in tutti i test riguardanti l'analisi specifiche sull'equilibrio e la capacità di salto relativa allo stacco monopodalico; le differenze sono minori, anche se seguono la tendenza nel test del salto triplo, mentre vanno controcorrente per quello che riguarda il test del CMJ-L (tabella 7).

	cmj	cmj dx	cmj sx	tr dx	tr sx	fl dx	fl sx
Differenza gruppo S	- 1,4%	7,6%	9,3%	0,5%	2,8%	- 17,8%	- 11,6%
Differenza gruppo C	4,9%	- 5,6%	6,5%	0,3%	- 1,3%	12,5%	33,3%

Tabella 7

L'ultimo dato da analizzare riguarda l'incidenza di infortuni non traumatici registrati nei giocatori appartenenti ai due gruppi durante il periodo di sperimentazione. Come illustrato nella tabella 8 nel gruppo C si sono annotati due infortuni di media e uno di piccola entità, i quali hanno fatto perdere ben 18 sedute di allenamento ai giocatori; nel gruppo S invece i giocatori non incorrendo in infortuni hanno potuto allenarsi regolarmente senza perdere né partite né sedute di allenamento.

	inf.	all. persi
infortuni gruppo S	0	0
infortuni gruppo C	3	18

Tabella 8

8.4. Discussione

Osservando quindi tutti i risultati ottenuti si può tranquillamente ipotizzare come un tipo di riscaldamento effettuato dal gruppo S sia ottimo da far svolgere ad una squadra poiché abbina un lavoro di tipo preventivo, vista la minor incidenza di infortuni registrata nel gruppo S rispetto al gruppo C nel medesimo periodo, ad un innalzamento

dei valori di equilibrio (tabella 7 flamengo test dx e sx) e ad un incremento della forza soprattutto nell'arto non utilizzato nello stacco.

La struttura del riscaldamento, che prevedeva prevalentemente esercizi di tecnica calcistica in situazione di instabilità, inoltre non andava ad intaccare minimamente il tempo di lavoro dell'allenatore; anzi oltre ciò provocava curiosità sia da parte del mister che dei giocatori che richiedevano la continuazione di tale metodica di lavoro e che contemporaneamente percepivano sensazioni benefiche sia riguardanti la performance dal punto di vista condizionale che tecnico.

Un altro dato che conferma la bontà di tali esercitazioni propriocettive risulta dal fatto che nel gruppo S il parametro riguardante lo stacco monopodalico è andato a mantenere la differenza che si era presentata inizialmente.

Infatti entrambi i gruppi evidenziavano poca differenza di forza tra un arto e l'altro (gruppo S col dx 34,61 con dev.stand. 2,38 cm col sx 34,71 con dev.stand. 5,34 cm, mentre il gruppo C col dx 33,06 con dev.stand. 2,28 cm col sx 33,84 con dev.stand. 2,77 cm); dopo il protocollo però si sono presentate due tendenze differenti: nel gruppo S il rapporto è rimasto pressoché costante (col dx 37,24 con dev.stand. 3,97 cm col sx 37,95 con dev.stand. 3,95 cm), mentre nel gruppo C lo sviluppo della forza ha subito un andamento che portava ad un incremento della forza nell'arto di stacco e ad un importante decremento l'arto abile e non di stacco (col dx 31,20 con dev.stand. 4,08 cm col sx 36,03 con dev.stand. 2,69 cm).

9. CONCLUSIONI

Ho deciso di fare questo tipo di studio perché guardando le partite di calcio, di basket o di pallamano spesso mi chiedevo cosa differenziasse i bravi giocatori da quelli meno tecnici; era una domanda alla quale non riuscivo a darmi risposta perché le abilità tecniche e fisiche in giocatori di alto livello sono allenate al meglio, lo stato di forma spesso è ottimale e la preparazione tattica non è tralasciata mai.

Successivamente, invece, guardando gli allenamenti, hanno preso sempre più campo nella mia testa, delle domande: "come mai alleniamo i giocatori con carichi di forza intensissimi quando gli spostamenti richiedono agilità e massima precisione?" oppure "sarà giusto allenare le capacità tecniche di un giocatore in equilibrio statico e stabile quando la differenza, tra azioni efficaci e non, consiste spesso nella istantanea correzione ed adattamento del gesto tecnico durante lo svolgimento dello stesso?".

Da qui il mio interesse sulle esercitazioni funzionali e propriocettive volte al miglioramento di abilità motorie ancora poco allenate, ma di fondamentale importanza, negli atleti di qualsiasi livello ed età.

L'indagine effettuata studio ha mostrato come una semplice esercitazione abbia portato ottimi benefici alla squadra in poche settimane di lavoro.

Analizzando i risultati ottenuti col test del CMJ-L abbiamo un dato contrastante con le rilevazioni ottenute con gli altri test della forza, cioè il salto triplo e lo stacco monopodalico; infatti il gruppo S risulta essere peggiorato rispetto al gruppo C; una semplice spiegazione di tutto ciò può derivare dalla non specificità del test CMJ-L nel determinare la forza effettiva utilizzata dal calciatore con un tipo di movimento che l'atleta raramente compie: infatti il CMJ-L, come test specifico per misurare la forza di salto di un calciatore, non è molto adatto poiché difficilmente e/o saltuariamente il giocatore salta utilizzando contemporaneamente entrambi gli arti inferiori e con un'oscillazione contemporanea di entrambe le braccia.

Se prendiamo come valida questa ipotesi è facile spiegare come mai il gruppo S, che non ha svolto mai esercitazioni bilaterali, ma sempre monolaterali, non presenta miglioramenti in una prova valutativa aspecifica (Marella e all. da pubblicare)*.

Di contro, con test che prevedono la misurazione della forza prima di un gamba poi dell'altra, che impegnava gli atleti in un gesto motorio dalla componente coordinativa importante e che viene riconosciuto dagli stessi come più simile al gesto sportivo (stacco monopodalico), si può rilevare come le differenze tra i due gruppi di lavoro siano marcate: il gruppo S infatti presenta incrementi notevoli su entrambi gli arti (+ 7,6% dx e + 9,3% sx).

Nel gruppo C invece, abbiamo una diversa tendenza: l'arto di stacco, quindi quello che maggiormente viene sollecitato durante un tiro o un colpo di testa, presenta valori cresciuti (+ 6,5% contro il + 9,3% del gruppo S); nell'arto abile invece si può annotare come ci sia un rilevante peggioramento (- 5,6%) determinato probabilmente dal fatto che questo arto non veniva sfruttato come l'altro, per cui le sollecitazioni che

giungevano durante la partita o altre semplici esercitazioni non consentivano uno sviluppo paritario, tra arto abile e non.

Passando al Flamengo test (equilibrio) i risultati sono scontati: i miglioramenti avuti nel gruppo S rispetto al gruppo C sono di facile lettura poiché il gruppo Sperimentale ha svolto esercitazioni sull'equilibrio andando a stimolare una capacità che nel gruppo di Controllo non veniva minimamente interessata. Da qui i miglioramenti avuti nel gruppo S (-17,8% e - 11,6%) contro i peggioramenti del gruppo C (+ 12,5% e + 33,3%).

L'ultima analisi riguarda l'incidenza di infortuni non traumatici avuta nei due gruppi. Il risultato è semplicemente incoraggiante: nel gruppo S non si sono registrati infortuni muscolari, mentre nel gruppo C ben tre giocatori non hanno potuto svolgere con regolarità il programma di allenamento e tra questi due non hanno portato a termine il protocollo di lavoro poiché l'infortunio presentatosi aveva una gravità importante.

Dopo aver commentato i risultati, e aver preso comunque coscienza che questo protocollo di lavoro, purtroppo per cause esterne ha visto ridursi il numero dei partecipanti da otto elementi per gruppo a sette per il gruppo S e solo quattro per quello controllo, tante volte mi sono chiesto se effettivamente le metodiche utilizzate per allenare atleti che sopportano carichi elevatissimi, che presentano traumi pregressi e che hanno bisogno della gestione della forza a seconda delle situazioni, fossero giuste.

Allora ho pensato che con delle semplici esercitazioni sono andato incontro alle esigenze di atleti di uno sport situazionale (come il calcio) fornendo esercizi dalla dinamica molto simile alla situazione di gara, che prevede un'espressione della forza massimale, ma comunque gestibile, dove è difficile ritrovare una contrazione lineare e fluida, a causa degli avversari che disturbano il gesto tecnico (con spinte e contatti di vario genere), e situazioni di gioco sempre variabili (il terreno, l'effetto della palla, il clima ecc).

Nel mio protocollo era previsto un semplice riscaldamento incentrato su esercizi tecnici e semplici movimenti di condizionamento (salti ed affondi); tutto ciò quindi non andava ad intaccare il processo di ipertrofia muscolare innescato durante un normale e specifico allenamento della forza. Quindi come hanno fatto i giocatori del gruppo Sperimentale ad avere un miglioramento comunque importante? L'unica risposta che ho saputo darmi riguarda l'adattamento che queste esercitazioni creavano: ovvero risposte ad uno stimolo di tipo prevalentemente nervoso che migliorava la qualità della contrazione e la precisione nel movimento incrementando la qualità della contrazione inter ed intramuscolare.

Gli atleti di alto livello ormai hanno gradienti di forza enormi, ma effettivamente riescono ad utilizzare tutta questa forza? E per migliorare ancora questa forza si possono utilizzare metodiche che salvaguardano la loro salute?

Ritengo personalmente che allenando gli atleti di qualsiasi sport situazionale diminuendo l'intensità dei carichi di lavoro di forza, ma abituandoli alla gestione e al controllo della forza in condizioni imprevedibili, si abbia un'efficacia del lavoro

maggiore poiché si riesce a raggiungere una maggior attivazione elettrica del muscolo (Colli 2003), e contemporaneamente un maggior controllo ed una maggiore attivazione delle fibre veloci.

Inoltre tutto ciò lo si può ottenere con carichi non elevati, ed una maggior salvaguardia della salute dei nostri atleti.

Ecco perché ritengo che le esercitazioni propriocettive, con e senza sovraccarico, non vadano usate solo come prevenzione o mezzo di riabilitazione per gli atleti infortunati, ma proprio come uno dei mezzi di allenamento principali dei giocatori di qualsiasi età, di qualsiasi sport e di qualsiasi livello.

In futuro mi piacerebbe approfondire queste tematiche, studiare gli effetti dell'allenamento propriocettivo, con e senza sovraccarico, su un numero di giocatori più grande, dalle varie fasce di età e di categorie.

10. BIBLIOGRAFIA

- Weinech J. (1998), La preparazione fisica ottimale del calciatore
- Wolpert D. M., Ghahramani Z., Jordan M.I. (1995), An international model for sensorimotor integration, *Science*, 269
- Platonov V. (2004) Fondamenti dell'allenamento e dell'attività di gara
- Rindi G., Manni E., *Fisiologia Umana*, UTET, 2001
- Riva D., Soardo G.P., Kratter G. (1998), Propriocettività e gestione del disequilibrio, atti del convegno Torino 16 Maggio 1998
- Riva D., Archeopropriocezione, *Sport e Medicina*, Marzo-Aprile: 49-55, 2000
- Pasqualotto G., La ginnastica propriocettiva: principi e applicazioni nella rieducazione, *chinesiologia*, 3: 45-50, 2002
- Riva D., Trevisson P., Il controllo posturale, *Sport e Medicina*, 4: 47-51, 2000
- Sannicandro I. Metodi di valutazione motoria ed attitudinale. Strumenti e percorsi di ricerca, *Pensa Multimedia Lecce*, 2004
- Sannicandro I., Propriocettività e prestazione, in *il nuovo calcio*, 118: 168-169, 2002
- Sannicandro I., *La propiocezione 2005*
- Djupsjobacka M. (2001), What is proprioception and how can it be measured?
- Sherrington C.S. (1906), On the proprioceptive system, especially in its reflex aspects, *Brain*, 29: 467-482
- Weinech J. (1998), La preparazione fisica ottimale del giocatore di pallacanestro, *Calzetti Mariucci Perugia*
- Castagna C., Sannicandro I., (2001), Indagine sull'equilibrio della forza reattiva degli arti inferiori nel basket, in *Atti del 6° Convegno Associazione Italiana Medici Basket*
- Dalatri R., La reattività dei piedi nella preparazione precampionato, in *atti del 6° Convegno A.I.M.B.*
- Anatomia dell'uomo Edi-Ermes*
- Menzel H.J., *Biomechanik der sportarten*, in Balreich R.
- Bessou M., Dupui P., Serverac A., Bessou P., (1998), il piede, organo dell'equilibrio, in Villeneuve P. (1998), *Piede, equilibrio e postura*
- Biscotti G.N., Bertocco R., Gaudino C., Iodice P.P. (2001), insulto traumatico e deficit elastico muscolare, *Sport e Medicina*, 6: 35-39
- Sproviero E., Rosati R., Bevilacqua F. (2001), Ruolo delle interazioni tra piede, scarpa e superfici di gioco nei traumi della prima articolazione metatarso - falangea nel calciatore
- Junge A., Dvorak J., Choamik., Peterson L. (2001), Incidence and risk factors of football injuries, *Journal of sport Sciences*, 19: 583-584
- Biscotti G.N., *Il corpo in movimento* (2001)
- Bangsbo J. *Preparazione fisico atletica del calciatore* (2004)
- La fatica nel gioco del calcio* Arcelli E. in *atti del Convegno A.I.P.A.C.*
- Casius J.A. (2001), Seasonal variation in fitness variables in profesional soccer players, *Journal of sports medicine and physical fitness*

Marella M. (1995), *Analisi quantitative del carico di lavoro nel periodo precampionato in calciatori professionisti*, atti 1° Convegno A.I.P.A.C.

McCarthy J.P. Pozniak M.A., Agre J.C. (2002), *Neuromuscular adaptations to current strength and endurance training*, *Medicine and sciences in sport exercise*, 34