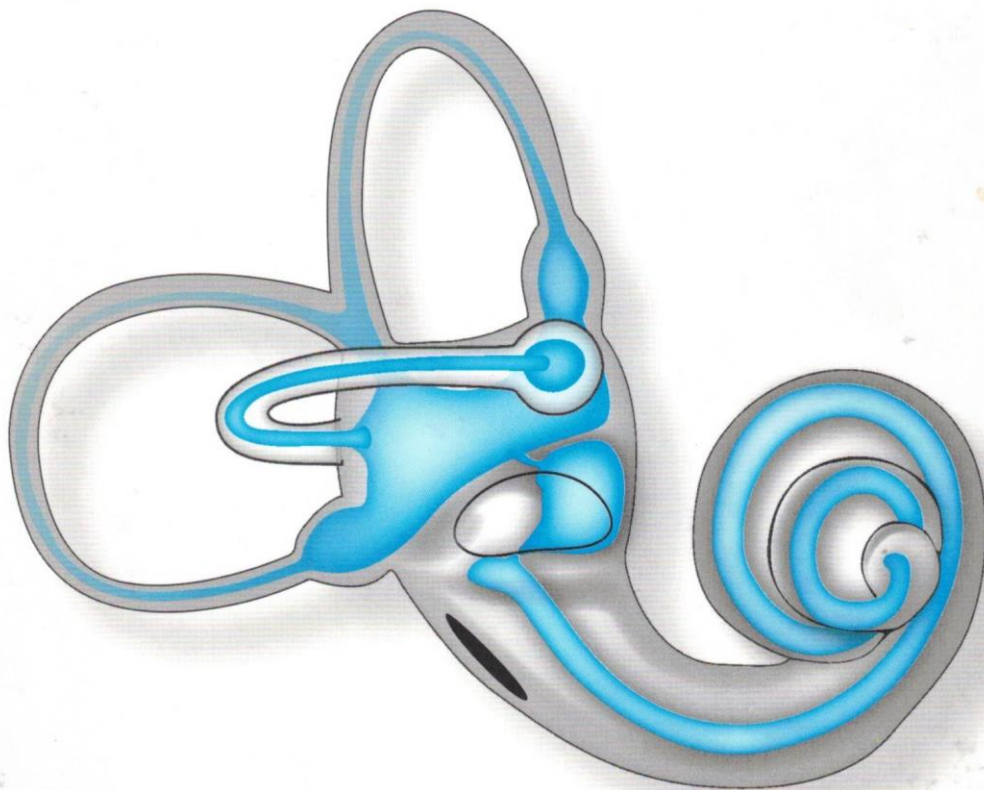


---

Augusto Pietro Casani   Daniele Nuti   Paolo Pagnini

# Vestibologia Clinica



---

EUREKA

## **Vestibologia Clinica**

Copyright © 2014 - Eureka srl  
Via dei Salicchi, 978 - 55100 Lucca (Italy)  
tel. 0583 1550100 fax 0583503022  
segreteria@edukarea.it

Tutti i diritti sono riservati a norma di legge e a norma delle convenzioni internazionali. Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta con sistemi elettronici, meccanici o altri, senza l'autorizzazione scritta dell'Editore.

Finito di stampare nel mese di maggio 2014  
presso San Marco Litotipo - Lucca

## La riabilitazione vestibolare

Rudi Pecci, Paolo Vannucchi, Beatrice Giannoni,  
Fabio Di Giustino, Paolo Pagnini,

**N**ell'ambito della terapia dei disturbi dell'equilibrio un capitolo importante è quello della riabilitazione vestibolare. Per riabilitazione vestibolare si intende una terapia fisica che consente di correggere una disfunzione del sistema vestibolare favorendo i naturali meccanismi del compenso vestibolare.

Nella trattazione che segue cercheremo di definire cosa si intende per compenso vestibolare, vedremo quali sono le tecniche di riabilitazione, cercheremo di capire quali sono i criteri da seguire nella scelta delle tecniche di riabilitazione, e infine vedremo come si mette in pratica tutto questo.

### Alcune premesse

Uno dei compiti del sistema vestibolare è quello di generare i movimenti degli occhi compensatori rispetto ai movimenti della testa, cioè se la testa ruota verso destra, gli occhi controrotano verso sinistra per mantenere lo sguardo sul bersaglio ed evitare lo scivolamento delle immagini sulla retina, in modo da avere un'immagine foveale e quindi nitida di ciò che guardiamo, anche quando muoviamo la testa: in questo consiste il riflesso vestibolo-oculomotore (VOR).

Il guadagno di questo riflesso può essere modificato a seconda delle necessità, e la plasticità del VOR è tale che addirittura è possibile invertire il suo guadagno, cioè se la testa ruota verso destra, gli occhi ruotano anch'essi verso destra: per ottenere questo effetto è sufficiente far indossare al paziente per qualche settimana delle lenti prismatiche che invertono il senso di rotazione dell'ambiente esterno quando ruotiamo la testa.

Pensate, poi, alle evoluzioni che riescono a compiere i pattinatori su ghiaccio; il sistema vestibolare di questi atleti è simile al nostro, l'unica differenza è che quel sistema è allenato per compiere quelle evoluzioni. Quindi, le potenzialità del sistema vestibolare sono altissime, anche se poi in realtà ognuno di noi lo usa per quello che gli è sufficiente a seconda del suo stile di vita; ma in caso di necessità è possibile far

lavorare uno dei due sistemi ad un livello più alto del consueto per superare alla perdita dell'altro emisistema.

Infine, potremmo citare una celebre frase di Lacour "*The nervous system learns by doing*", per dire che il sistema nervoso è in grado di imparare quello che gli insegnamo a condizione di farglielo fare.

## **Il compenso vestibolare**

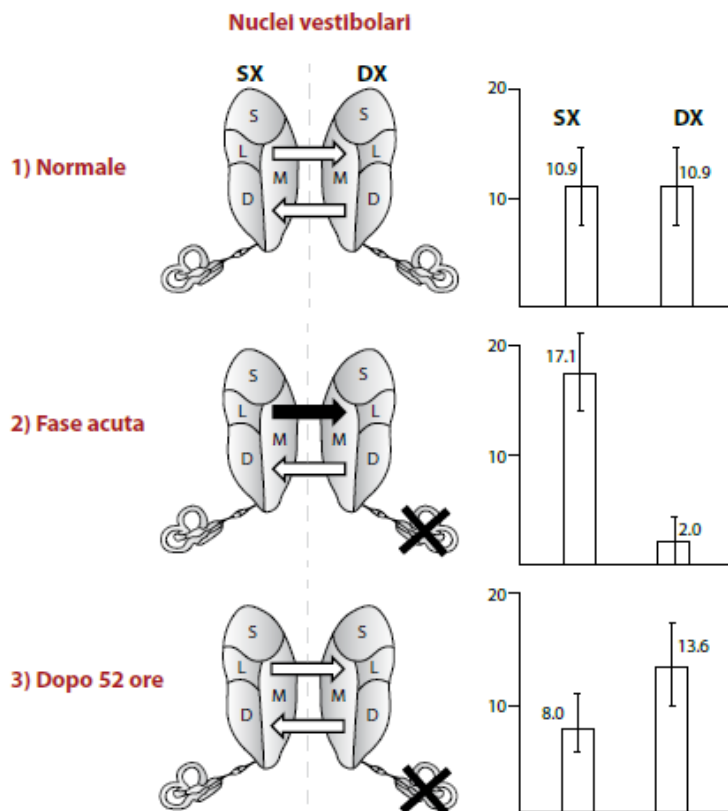
### *Il fenomeno del compenso*

Nel momento in cui un soggetto normale perde improvvisamente la funzione di un labirinto, compaiono una serie di sintomi e segni piuttosto importanti, sia in ambito vestibolo-oculomotorio che in ambito vestibolo-spinale, e precisamente una vertigine rotatoria più o meno intensa associata ad un più o meno marcato corredo neurovegetativo, un nistagmo spontaneo orizzontale-rotatorio che batte verso il lato sano, la tendenza a cadere verso il lato affetto e la difficoltà a stare in piedi e a camminare. Tutti questi sintomi e segni, con il passare del tempo (giorni o settimane), tendono a ridursi fino quasi a scomparire, e nelle settimane o nei mesi successivi il paziente ritorna al suo normale stile di vita come se non fosse mai accaduto niente. Questo recupero quasi miracoloso di una funzione apparentemente normale è quello che viene chiamato "compenso vestibolare", che è un esempio della plasticità del sistema nervoso e un complesso fenomeno in cui il labirinto sano assume le funzioni di entrambi. Alla base del compenso vestibolare ci sono sia meccanismi statici, cioè meccanismi che agiscono anche quando la testa è ferma, che meccanismi dinamici, cioè meccanismi che intervengono solo durante i movimenti della testa, ed è su questi che dobbiamo lavorare.

La parte più importante del compenso vestibolare si svolge a livello dei nuclei vestibolari (Figura 1).

In condizioni normali i due gruppi di nuclei presentano lo stesso livello di attività e ciascun gruppo esercita un'azione inibitoria su quello controlaterale. Nel momento in cui il soggetto perde improvvisamente un labirinto, nel gruppo di nuclei ipsilaterale si ha una diminuzione del numero di neuroni di tipo I e una diminuzione dell'attività di quelli residui; questo riduce l'azione inibitoria sul gruppo di nuclei controlaterale, che a sua volta aumenta la sua attività e di conseguenza aumenta anche la sua azione inibitoria sul gruppo di nuclei ipsilaterale al labirinto danneggiato; a questo punto il livello di attività nel gruppo di nuclei ipsilaterale al danno è ridotto quasi a zero; alla fine quindi si crea un'imbalance importante tra i due gruppi di nuclei vestibolari. Nei giorni successivi si ha una riduzione progressiva dell'imbalance, per effetto del fenomeno del compenso, che tende a riportare l'attività dei due gruppi di nuclei vestibolari ad un livello pressoché equivalente.

E come avviene questo?



**FIGURA. 1** - Interazione tra i due gruppi di nuclei vestibolari e relative modificazioni della loro attività a riposo: 1) in condizioni normali; 2) subito dopo un deficit labirintico monolaterale destro; 3) a distanza di 52 ore dall'evento acuto.

Fondamentalmente si ha una diminuzione dell'attività nel gruppo di nuclei controlaterale al danno, per effetto dell'adattamento dei neuroni vestibolari ad un livello di attività più basso e dell'azione inibitoria del cervelletto. Oltre a questo si ha un aumento dell'attività nel gruppo di nuclei ipsilaterale al danno, indirettamente, per la diminuzione dell'attività inibitoria da parte del gruppo di nuclei controlaterale, e direttamente, a breve termine, per effetto di un aumento delle afferenze propriocettive e di un aumento degli input visivi, e a lungo termine, per effetto di una rigenerazione degli assoni danneggiati e di una maggiore sensibilità allo stimolo dei neuroni deprivati dell'afferenza labirintica; a questo si aggiungono altri meccanismi, di sostituzione funzionale, come l'uso dei saccadici per sostituire la fase lenta del VOR o la chiusura degli occhi durante i movimenti della testa, e di apprendimento di nuove strategie comportamentali, come la limitazione dei movimenti della testa verso il lato affetto o l'esecuzione di movimenti isolati degli occhi invece che movimenti combinati degli occhi e della testa.

### *I meccanismi di compenso*

Vediamo ora uno per uno i meccanismi del compenso vestibolare. Abbiamo detto che questi possono essere distinti in meccanismi statici, che agiscono anche quando la testa è ferma, e meccanismi dinamici, che intervengono solo durante i movimenti della testa. I primi fanno riferimento al recupero cellulare e al recupero spontaneo, i secondi fanno riferimento all'adattamento, all'abitudine e alla sostituzione.

Uno dei meccanismi che contribuiscono al recupero della funzione vestibolare è il *recupero della funzione cellulare*: quei recettori o quei neuroni che erano stati danneggiati e avevano smesso di funzionare possono ricominciare a funzionare. L'altro meccanismo è il *recupero spontaneo*: i sintomi e i segni statici del deficit vestibolare monolaterale (la vertigine, il nistagmo spontaneo, l'ocular tilt reaction e le deviazioni del tronco e degli arti) tendono a scomparire spontaneamente; il nistagmo spontaneo per esempio si riduce in ugual misura immediatamente dopo una labirintectomia monolaterale sia negli animali tenuti al buio che negli animali tenuti in ambiente illuminato; alla base di questi fenomeni probabilmente ci sono la rigenerazione assonale e la ipersensibilità da denervazione che contribuiscono alla ricomparsa dell'attività nel gruppo di nuclei vestibolari ipsilaterale al danno. Nessuno dei due meccanismi però risente del nostro intervento.

Quelli su cui possiamo intervenire sono invece i meccanismi dinamici. Il primo di questi meccanismi, l'*adattamento*, è sicuramente il più importante nel deficit vestibolare monolaterale. Durante la fase acuta, infatti, si ha una riduzione del guadagno del VOR (del 75% per le rotazioni della testa verso il lato affetto e del 50% per le rotazioni verso il lato sano), di conseguenza durante i movimenti della testa si ha uno scivolamento delle immagini sulla retina, e questo costituisce il segnale di errore che induce il fenomeno dell'adattamento. Il cervello si accorge dell'errore e cerca di correggerlo, e l'unico modo per farlo è quello di aumentare il guadagno del VOR. Ma l'adattamento può avvenire solo se il soggetto può muovere la testa e può farlo in un'ambiente illuminato: infatti, non avviene nei gatti e nelle scimmie tenuti al buio dopo una labirintectomia monolaterale e comincia quando l'animale viene riportato in un'ambiente illuminato. Analogamente, l'adattamento non avviene se la testa è tenuta ferma e il periodo di recupero è tanto più lungo quando maggiore è stata la durata della immobilità. Il fenomeno dell'adattamento, inoltre, richiede un certo periodo di tempo per potersi realizzare; tuttavia, è importante limitare la durata di ciascun esercizio a 1-2 minuti, per dare ogni volta la possibilità al sistema di memorizzare le correzioni e gli aggiustamenti. Altro aspetto importante è che l'adattamento del VOR è specifico per lo stimolo, quindi gli esercizi riabilitativi devono stimolare il sistema in modi diversi, cioè con movimenti della testa diversi sia per frequenza che per asse di direzione. L'adattamento risente anche del controllo motorio volontario, nel senso che il guadagno del VOR può essere aumentato

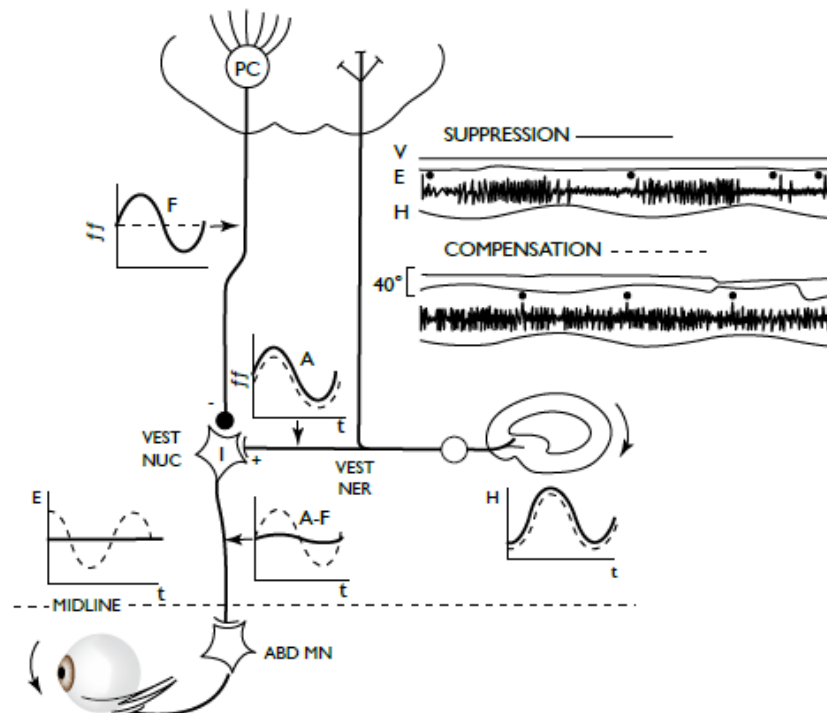
anche al buio, se il paziente semplicemente immagina di fissare il bersaglio mentre muove la testa. Infine, è importante che i pazienti lavorino sempre al limite delle loro capacità, cioè negli esercizi di coordinazione occhi-testa la velocità della testa deve essere aumentata al massimo pur mantenendo il bersaglio a fuoco. Dietro al fenomeno dell'adattamento del VOR c'è l'archicerebellum, o vestibolocerebello, e in particolare il flocculo, che è capace sia di aggiustamenti a breve termine che di aggiustamenti a lungo termine del guadagno del VOR.

Un esempio di rapida modificazione del VOR è quello che si verifica mentre viaggiamo in autobus: se guardiamo a distanza fuori dal finestrino il VOR ha un certo guadagno, ma se improvvisamente spostiamo lo sguardo su qualcosa che si muove in modo solidale con noi, come un giornale che teniamo in mano, il guadagno del VOR deve essere portato rapidamente a zero; alla base di questo meccanismo c'è la modulazione o meno dell'attività delle cellule del Purkinje del flocculo (Figura 2).

Riguardo, invece, al mantenimento di un VOR appropriato nel tempo, pensiamo a quello che accade quando con la crescita di un bambino aumentano le dimensioni della sua testa, oppure quando applicando delle lenti ad un soggetto che sviluppa un difetto di rifrazione cambiano gli input visivi, oppure quando con la comparsa di una patologia neurologica si riducono le cellule nervose adibite a questo complesso fenomeno; alla base di questo meccanismo c'è la modificazione dell'efficacia delle sinapsi delle cellule dei granuli sulle cellule del Purkinje da parte delle fibre rampicanti che trasportano il segnale di errore proveniente dalla retina (Figura 3).

Il secondo meccanismo su cui possiamo intervenire è l'*abitudine*. Questo è un fenomeno fisiologico. Si basa sul fatto che la risposta di un sistema ad uno stimolo si riduce progressivamente se lo stimolo viene ripresentato più volte e sempre con le stesse caratteristiche in modo che il sistema impari a riconoscerlo tutte le volte che lo incontra. È uno dei meccanismi con cui il SNC controlla gli input sensoriali.

Lo possiamo considerare una forma di apprendimento di tipo negativo, dal momento che comporta una riduzione della risposta, nei confronti di stimoli ritenuti non pericolosi. Il fenomeno dell'abitudine lo possiamo immaginare così: se presentiamo ad un sistema uno stimolo nuovo, il sistema non lo riconosce e la risposta è un disturbo di una certa entità; allo stesso modo, se presentiamo al sistema un altro stimolo nuovo, diverso dal precedente, ancora una volta il sistema non lo riconosce e la risposta è di nuovo un disturbo di una certa entità; se invece presentiamo al sistema il primo stimolo più volte, il sistema impara a riconoscerlo e il disturbo si riduce progressivamente fino a scomparire; non solo, ma se ripresentiamo al sistema lo stesso stimolo a distanza di tempo, il sistema continua a riconoscerlo e continua a non esserci alcun disturbo; infine, se ripresentiamo al sistema il secondo stimolo, diverso dal primo, il sistema continua a non riconoscerlo e ricompare il disturbo.

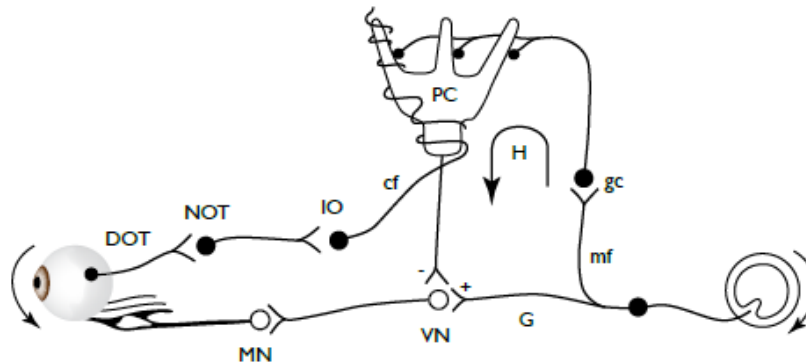


**FIGURA 2** - Rapida modificazione del guadagno del riflesso vestibolo-oculomotore (VOR) orizzontale. La figura mostra il comportamento di una cellula del Purkinje (PC) del flocculo (F) durante una rotazione sinusoidale della testa (a 0.9 Hz), al buio (*compensation*), e durante la soppressione del VOR attraverso la fissazione di un bersaglio che ruota in modo solidale con la testa (*suppression*). V ed E rappresentano le posizioni rispettivamente verticale e orizzontale degli occhi, H rappresenta la posizione orizzontale della testa, e i punti neri indicano i momenti in cui viene registrata l'attività elettrica della cellula. Al buio (*compensation*, linea tratteggiata), le oscillazioni della testa,  $H(t)$ , producono il tipico movimento compensatorio degli occhi,  $E(t)$ , perché la cellula del Purkinje del flocculo non mostra alcuna modulazione della sua attività,  $Fff(t)$ , e quindi il segnale proveniente dalle afferenze primarie del nervo vestibolare, una volta integrato,  $Aff(t)$ , arriva agli interneuroni (I) dei nuclei vestibolari senza essere ulteriormente modificato, e come tale,  $A-Fff(t)$ , viene trasmesso ai motoneuroni del nucleo dell'abducente (ABD MN). Durante la soppressione del VOR (*suppression*, linea continua), l'attività della stessa cellula del Purkinje del flocculo diventa modulata,  $Fff(t)$ , e risulta in fase con quella registrata a livello delle afferenze primarie del nervo vestibolare,  $Aff(t)$ , ma ha segno opposto, perché la sinapsi della cellula del Purkinje del flocculo è inibitoria, e quindi il segnale,  $A-Fff(t)$ , che arriva ai motoneuroni del nucleo dell'abducente (ABD MN) non è modulato e gli occhi rimangono fermi.

Le tecniche di abitudine che si trovano in letteratura sono numerose: dagli esercizi di Cawthorne e Cooksey, al *Vestibular Habituation Training*, alla tecnica *Five* (Guidetti, 1997 e Cesarani, 2007).

L'effetto dell'abitudine si rileva anche dall'andamento temporale della vertigine indotta dal movimento e dal rapporto tra questo andamento e il tipo di movimento. Infatti, abbiamo detto che il nistagmo spontaneo e di conseguenza la vertigine, come manifestazioni statiche





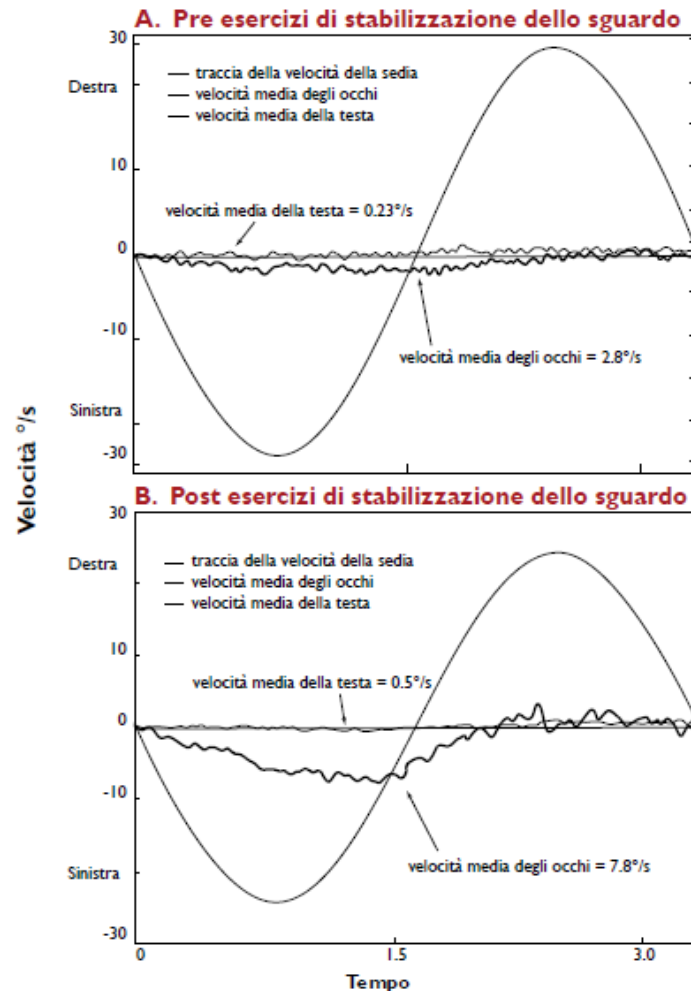
**FIGURA 3** - Circuito coinvolto nella modificazione a lungo termine (plasticità) del riflesso vestibolo-oculomotore (VOR) da parte del flocculo. Questo modello suggerisce che l'informazione visiva, che origina nel sistema ottico accessorio (tratto ottico accessorio, aot) e fa relay nel nucleo del tratto ottico (NOT) e nell'oliva inferiore (IO), fornisce attraverso le fibre rampicanti (cf) l'input che "educa" le sinapsi che le cellule dei granuli (gc), dopo essere state raggiunte dalle fibre muscolari (mf) provenienti dal nervo vestibolare, stabiliscono con le cellule del Purkinje (PC) per modificare la trasmissione (H) attraverso il flocculo, modificando di conseguenza l'intero guadagno del VOR; quest'ultimo sarebbe uguale a  $G-H$ , dove  $G$  è il guadagno della via diretta del VOR, che dal nervo vestibolare va direttamente sui nuclei vestibolari (VN) e da lì sui motoneuroni oculari (MN), e  $H$  è il guadagno della via collaterale del VOR, che passa attraverso il flocculo. L'adeguatezza dell'aggiustamento del VOR è valutata attraverso lo scivolamento residuo delle immagini visive sulla retina, rilevato dalle fibre rampicanti; il processo di apprendimento, che modifica il guadagno del VOR, continua finché non c'è più *retinal slip*.

del deficit vestibolare monolaterale, tendono a ridursi progressivamente fino a scomparire con il passare del tempo, indipendentemente dal movimento. Viceversa la vertigine provocata dai movimenti della testa si riduce molto più lentamente e rimane per un certo tempo anche quando il paziente non ha più vertigine a testa ferma. Tuttavia, la vertigine provocata dai movimenti della testa si riduce più velocemente se, invece di tenerlo fermo, il paziente viene sottoposto regolarmente ad una attività fisica di tipo generico, e ancora più velocemente con una riabilitazione vestibolare, cioè con esercizi mirati di coordinazione occhi-testa.

L'ultimo meccanismo su cui possiamo intervenire è la *sostituzione*. Infatti, può accadere che il deficit vestibolare sia bilaterale, e se è anche completo non abbiamo più un riflesso vestibolo-oculomotore né un riflesso vestibolo-spinale su cui poter lavorare, e allora dovremo utilizzare altri meccanismi, sia motori che sensoriali, e altre strategie, soprattutto di pre-programmazione, che sostituiscano in qualche modo il sistema vestibolare nella stabilizzazione dello sguardo e nella stabilizzazione della postura e della marcia durante i movimenti della testa.

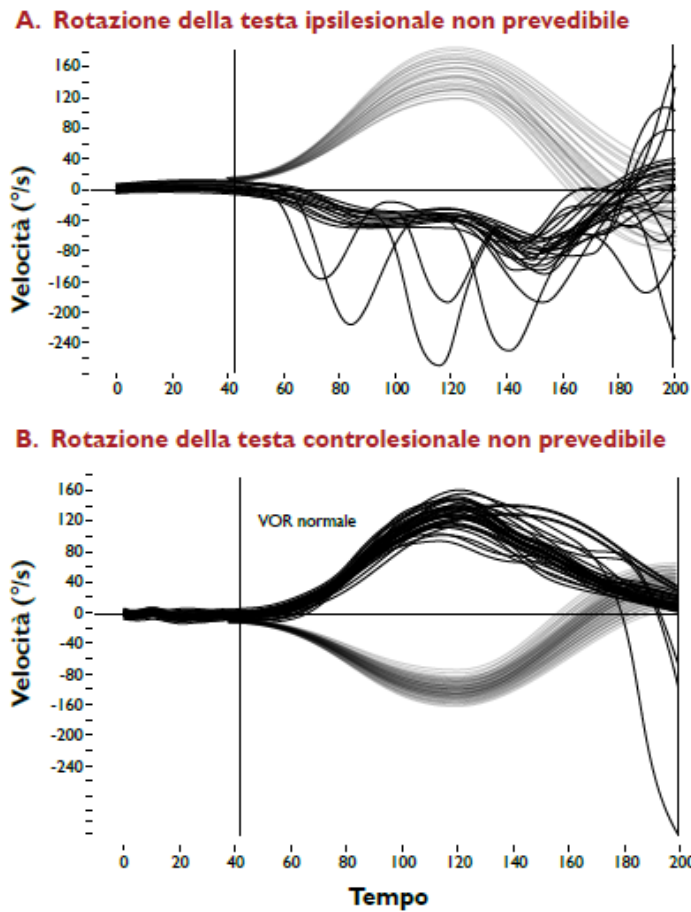
Per la stabilizzazione dello sguardo, quindi, abbiamo la possibilità di sostituire il sistema vestibolare:

- potenziando il riflesso cervico-oculomotore (COR) (Figura 4):



**FIGURA 4** - Riflesso cervico-oculomotore (COR) in un paziente con ipofunzione vestibolare monolaterale (UVH). Nel grafico sono tracciate le velocità della sedia, degli occhi e della testa. La testa del soggetto è fissata ad un montante per evitare che si muova. (A) Il guadagno del COR (velocità degli occhi/velocità della testa) è 0.1 prima che il paziente cominci il programma di esercizi di stabilizzazione dello sguardo. (B) Al termine del programma, il guadagno del COR è aumentato a 0.32. Si noti la velocità molto bassa della testa, a dimostrazione che la velocità degli occhi non dipende dal sistema vestibolare.

il potenziamento del COR era ritenuto il meccanismo più rilevante nella sostituzione del VOR nei deficit vestibolari bilaterali. In effetti, il COR è complementare al VOR perché genera dei movimenti oculari lenti di direzione opposta rispetto a quella della testa, ma solo per movimenti molto brevi e molto lenti. Nel soggetto normale il contributo del COR è praticamente assente o comunque trascurabile, valutabile al massimo intorno al 15% nella stabilizzazione dello sguardo nel range



**FIGURA 5** - Saccadici preprogrammati versus riflesso vestibolo-oculomotore (VOR) normale in un soggetto con ipofunzione vestibolare monolaterale. Le tracce della parte superiore di ciascun grafico indicano la velocità della testa, le tracce della parte inferiore di ciascun grafico indicano la velocità degli occhi. La linea verticale segna l'inizio della rotazione della testa. (A) La velocità di controrotazione degli occhi è deficitaria rispetto alla velocità di rotazione della testa (basso guadagno del VOR), e di conseguenza vengono chiamati in causa i saccadici preprogrammati (PPSs). Si noti che la direzione dei PPSs è la stessa della controrotazione degli occhi. (B) La velocità di controrotazione degli occhi è simile alla velocità di rotazione della testa, con un normale guadagno del VOR.

di frequenza in cui normalmente questo riflesso lavora. Nei pazienti con deficit vestibolare bilaterale è possibile potenziare il COR, ma solo per movimenti a frequenza inferiore a 0.3 Hz, quindi ben al di sotto del range di frequenza dei movimenti della testa nelle normali attività quotidiane;

- modificando i saccadici (Figura 5): per mantenere la fissazione su un bersaglio durante i movimenti della testa i pazienti con deficit vestibolare bilaterale possono utilizzare i saccadici per

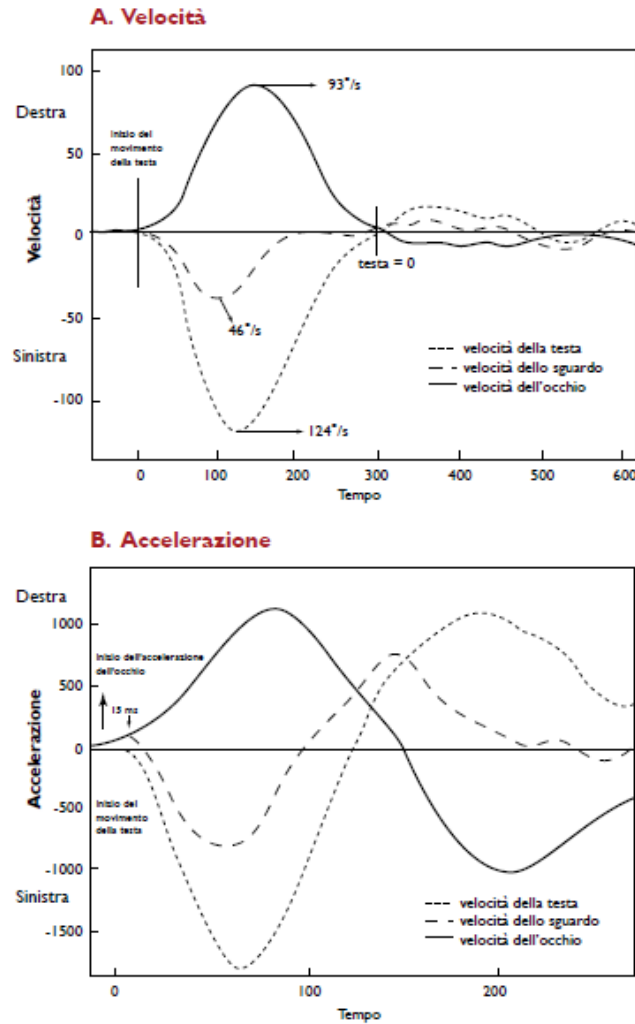
sostituire la fase lenta del VOR, oppure possono ridurre l'ampiezza dei saccadici durante i movimenti combinati occhi-testa. Diversamente dal potenziamento del COR, questi meccanismi possono essere rilevati anche nel soggetto normale;

- aumentando il guadagno dello SP (SP): in presenza di un deficit vestibolare bilaterale, il paziente può utilizzare lo SP per mantenere la fissazione visiva durante i movimenti della testa, ma anche in questa categoria di pazienti la risposta dello SP non va oltre i normali limiti di velocità ( $60^\circ/\text{sec}$ ) e frequenza ( $<1 \text{ Hz}$ ) in cui questo sistema normalmente lavora.

Oppure abbiamo la possibilità di pre-programmare i movimenti degli occhi (Figura 6): questa è probabilmente la strategia più efficace per la stabilizzazione dello sguardo nei deficit vestibolari bilaterali. Se confrontiamo il guadagno dei movimenti oculari ottenuti con movimenti attivi della testa con quello dei movimenti oculari ottenuti con movimenti passivi della testa in pazienti con deficit vestibolare bilaterale, troviamo che gli incrementi di guadagno sono modesti ma significativi se il movimento della testa è attivo e quindi prevedibile. Peraltro il guadagno del VOR al buio in soggetti normali presenta anche in questo caso un aumento del 13% per i movimenti attivi della testa rispetto a quelli passivi. Quindi la pre-programmazione è già presente nel soggetto normale. Sono esempi di strategie predittive e anticipatorie l'esecuzione di un saccadico in direzione opposta a quella di un movimento rapido della testa, e l'anticipazione della fase lenta del VOR. Condizione essenziale per il corretto funzionamento di queste strategie è che il movimento della testa sia prevedibile. Per contro, un limite insuperabile è che queste strategie non sono ovviamente efficaci in situazioni in cui i movimenti della testa non siano prevedibili, come durante il cammino.

Analogamente, per la stabilizzazione della postura e della marcia abbiamo la possibilità di:

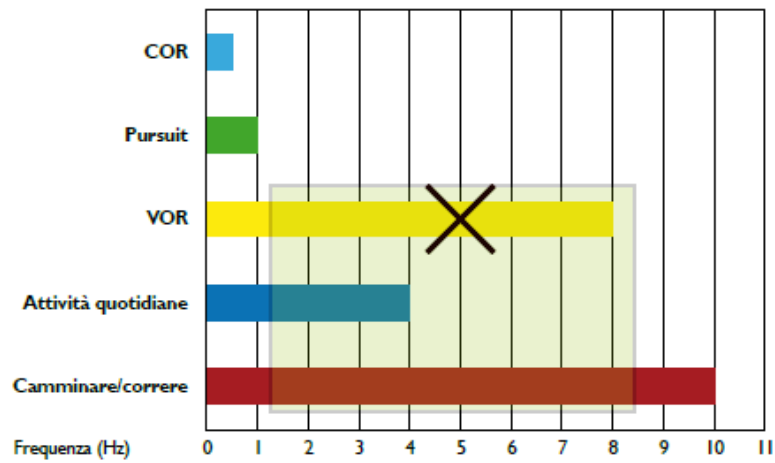
A. sostituire il sistema vestibolare: utilizzando le informazioni provenienti dal sistema visivo e somatosensoriale: i pazienti con deficit vestibolare bilaterale nelle fasi iniziali si affidano principalmente al sistema visivo, ma nelle fasi successive aumenta la loro capacità di utilizzare le informazioni somatosensoriali per la stabilità posturale. Sebbene questo possa essere sufficiente in molte situazioni, il paziente si trova in difficoltà tutte le volte che queste informazioni non sono adeguate o peggio non sono disponibili, come quando si muove al buio o su una superficie instabile. L'uso delle informazioni visive non è neppure utile visto che nei pazienti con deficit vestibolare bilaterale gli occhi non sono stabili durante i movimenti della testa e questo riduce l'acuità visiva. Alcuni pazienti cercano di modificare le loro abitudini comportamentali per evitare quelle situazioni in cui le informazioni visive e somatosensoriali sono ridotte o cercano di limitare i movimenti della testa durante le normali attività, ma questo non li aiuta quando per qualche motivo muovono rapidamente la testa.



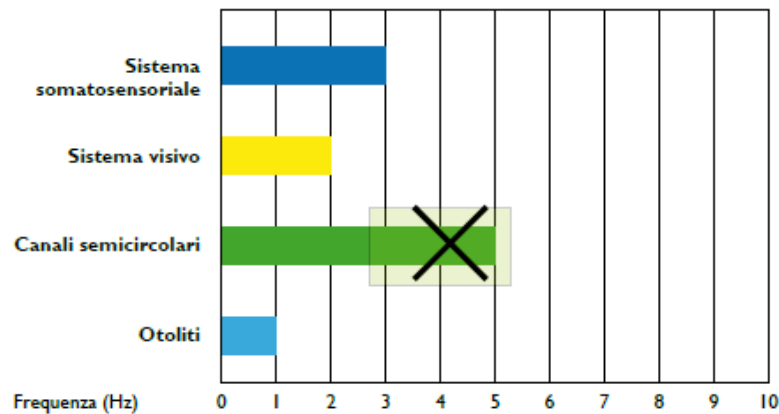
**FIGURA 6** - Grafici della velocità e dell'accelerazione del movimento di controrotazione degli occhi durante una rotazione rapida e prevedibile della testa in un soggetto con ipofunzione vestibolare bilaterale (A) La testa è ruotata verso sinistra a 124 gradi/secondi, ben oltre le possibilità di compenso del riflesso vestibolo-oculomotore, che è deficitario bilateralmente, tuttavia il soggetto genera una velocità di controrotazione degli occhi di 93 gradi/secondo, con un guadagno di 0.74. (B) Il grafico delle accelerazioni rivela che l'accelerazione degli occhi precede la rotazione della testa, dimostrando che questo tipo di risposta oculare non è generata dal sistema vestibolare.

B. pre-programmare i movimenti del tronco e degli arti: anche per la stabilizzazione della postura e della marcia è necessario che il movimento della testa sia prevedibile.

Nel caso di un deficit vestibolare bilaterale, però, nessuno dei meccanismi di cui abbiamo parlato è in grado di prendere il posto del sistema vestibolare in maniera adeguata.



**FIGURA 7** - Frequenze (Hz) dei movimenti della testa durante le normali attività quotidiane, la deambulazione e la corsa, rispetto ai range di frequenze a cui normalmente lavorano il riflesso cervico-oculomotore (COR), lo SP e il riflesso vestibolo-oculomotore (VOR) per la stabilizzazione dello sguardo.



**FIGURA 8** - Range di frequenze a cui normalmente lavorano il sistema somatosensoriale, il sistema visivo e il sistema vestibolare, con i canali semicirculari e le macule, nella stabilizzazione della postura e della marcia.

Per le strategie di pre-programmazione è una questione di prevedibilità o meno del movimento: sia nel caso della stabilizzazione dello sguardo che nel caso della stabilizzazione della postura e della marcia, queste strategie funzionano solo se il movimento della testa è prevedibile.

Per i meccanismi di sostituzione è una questione di range di frequenze e velocità. Nel caso della stabilizzazione dello sguardo (Figura 7) durante le normali attività la frequenza e la velocità dei movimenti della testa vanno ben oltre le possibilità di compenso del COR ( $< 0.3$  Hz

e 50 %/sec) e dello SP (1 Hz e 60 %/sec), i saccadici non sono neppure considerati visto che durante i saccadici la visione è soppressa, e solo il VOR ci garantisce una copertura sufficiente. Nel caso della stabilizzazione della postura e della marcia (Figura 8), il sistema somatosensoriale contribuisce per frequenze comprese tra 1 e 3 Hz, il sistema visivo contribuisce tra 0.1 e 1 Hz, e solo il sistema vestibolare lavora su un range di frequenze sufficientemente ampio con le macule che contribuiscono alle frequenze più basse (< 1 Hz) e i canali semicircolari che contribuiscono alle frequenze più alte (fino a 5 Hz).

Alla fine quello che conta è dare al paziente la possibilità di sviluppare le strategie a lui più congeniali per la stabilizzazione dello sguardo e della postura durante i movimenti della testa e essere consapevoli del fatto che nessun meccanismo può compensare completamente la perdita del VOR per cui il paziente continuerà ad avere sempre difficoltà durante i movimenti rapidi della testa.

### Le tecniche di riabilitazione

La terapia riabilitativa mira principalmente alla rieducazione dell'oculomotilità e alla rieducazione della postura e della marcia, oltre che delle funzioni cognitivo-comportamentali del paziente con disturbi dell'equilibrio, e le soluzioni a disposizione, con o senza l'ausilio di strumenti, sono numerose (Guidetti, 2000).

In particolare, per la rieducazione dell'oculomotilità si distinguono:

#### A. tecniche non strumentali

- *point de mire*: il paziente, seduto, viene invitato a fissare una mira e a mantenere la fissazione muovendo la testa a velocità crescenti sui vari piani dello spazio (yaw, roll e pitch);
- *ricerca della mira dopo una rotazione*: il paziente, seduto su una sedia ruotante, fissa una mira e, dopo una rotazione in senso antiorario o in senso orario a velocità crescente e ad occhi chiusi, deve aprire gli occhi e dirigere lo sguardo verso la mira;
- *vestibular habituation training*: il paziente viene prima sottoposto ad una serie di posizionamenti e dopo viene invitato a ripetere a domicilio, più volte al giorno, i posizionamenti in grado di evocare i sintomi;
- *tecnica five*: è una semplificazione della tecnica precedente, in cui i posizionamenti sono ridotti a cinque, da ripetere ciascuno cinque volte per seduta;

#### B. tecniche strumentali

- *rotazione su sedia*: il paziente, seduto ad occhi aperti al buio su una sedia ruotante, viene sottoposto ad una serie di rotoaccelerazioni, in senso antiorario e in senso orario, seguite da uno stop brusco o da una decelerazione progressiva (la stessa tecnica può essere ripetuta ad occhi aperti alla luce o fissando una mira consensuale alla rotazione);

- *stimolazione otticocinetica: può essere eseguita sul piano orizzontale, verticale o obliquo;*
- *barra per movimenti oculari di inseguimento lento e rifissazione: il paziente è seduto davanti ad una barra con mire programmabili per evocare movimenti oculari saccadici o di SP, sul piano orizzontale, verticale o obliquo, preferibilmente randomizzati;*
- *rifissazione dopo rotazione: il paziente, seduto su una sedia ruotante, fissa un punto davanti a sé per alcuni secondi, poi viene sottoposto ad una serie di roto-accelerazioni, ad occhi chiusi, in senso antiorario o in senso orario, seguite da uno stop brusco, e ad ogni stop gli viene chiesto di ritornare con lo sguardo sulla mira;*
- *saccadici memorizzati: il paziente viene invitato a fissare, al buio, un punto luminoso che viene spento dopo qualche secondo, e gli viene chiesto di riportare lo sguardo sulla posizione del punto.*

Per la rieducazione della postura e della marcia, analogamente, possiamo distinguere:

**A. tecniche non strumentali**

- *boite statica: il paziente viene posizionato vicino ad una parete, in stazione eretta, con la parete di volta in volta a destra, dietro, a sinistra e davanti, prima ad occhi aperti e dopo ad occhi chiusi, e ogni volta gli viene chiesto di non toccare la parete;*
- *boite dinamica: il paziente viene posizionato vicino ad una parete, ed invitato a marciare sul posto, con le braccia tese, con la parete di volta in volta a destra, dietro, a sinistra e davanti, prima ad occhi aperti e dopo ad occhi chiusi, e ogni volta gli viene chiesto di non toccare la parete;*
- *marcia su percorsi memorizzati: il paziente deve marciare ad occhi aperti su percorsi prestabiliti per alcune volte, poi viene invitato a ripetere il percorso ad occhi chiusi;*
- *marcia su tappeto morbido: al paziente viene chiesto di marciare su un materasso morbido, ad occhi aperti e ad occhi chiusi;*
- *autoanalisi propriocettiva: il paziente viene posto davanti ad uno specchio e gli viene fatta assumere una posizione, poi gli viene chiesto di chiudere gli occhi, di marciare sul posto o assumere altre posizioni, di riprendere la posizione precedente, di riaprire gli occhi e di correggere eventuali errori;*

**B. tecniche strumentali**

- *stabilometria statica: il paziente viene posto sulla piattaforma e gli viene chiesto di mantenere il controllo posturale, in condizioni statiche (con immagini stabilizzanti o destabilizzanti, con feed-back visivo o acustico, con contrasto sensoriale, con stimolazione visiva dinamica) e in condizioni dinamiche (con mire visive);*



- *stabilometria dinamica*: il paziente viene posto sulla piattaforma e gli viene chiesto di mantenere il controllo posturale in diverse condizioni (occhi aperti con la base di appoggio immobile, occhi chiusi con la base di appoggio immobile, occhi aperti con la base di appoggio immobile durante una stimolazione otticocinetica, occhi aperti con la base di appoggio mobile, occhi chiusi con la base di appoggio mobile, occhi aperti con la base di appoggio mobile durante una stimolazione otticocinetica);
- *tapis roulant*: il paziente viene invitato a marciare ad occhi aperti sul tapis roulant (si può associare una contemporanea stimolazione otticocinetica nelle varie direzioni);
- *cervical electrical stimulation*: consiste nella stimolazione elettrica dei muscoli cervicali.

### I criteri di scelta

Il primo criterio che ci guida nella scelta delle tecniche di riabilitazione è senza dubbio il tipo di sintomatologia che il paziente riferisce e che noi in qualità di clinici abbiamo il dovere di indagare.

Il sistema vestibolare, infatti, ha due uscite fondamentali, la via discendente o vestibolo-spinale, che genera i movimenti riflessi del tronco e degli arti per la stabilizzazione della postura e della marcia, e la via ascendente o vestibolo-oculomotoria, che genera i movimenti riflessi degli occhi per la stabilizzazione dello sguardo durante i movimenti della testa: il nostro compito è quello di decidere su quale dei due sistemi intervenire, e lo possiamo fare sulla base dei disturbi riferiti dal paziente e che potranno riguardare più propriamente l'uno o l'altro sistema.

Inoltre, il nostro obiettivo è quello di favorire il fenomeno del compenso nel modo più efficace possibile, e quindi in qualità di tecnici dobbiamo anche conoscere i principi a cui fanno riferimento le tecniche di riabilitazione, per poter selezionare di volta in volta quelle più adeguate al singolo paziente.

Infine è importante sapere se c'è ancora una funzione vestibolare residua su cui poter lavorare, altrimenti dobbiamo chiedere aiuto agli altri sistemi implicati nel controllo dell'equilibrio, cioè il sistema visivo e il sistema propriocettivo, attingendo ad altre tipologie di tecniche riabilitative. Riguardo al primo criterio di scelta, quello di cui si lamenta il paziente con un deficit vestibolare è:

- a. una ridotta acuità visiva durante i movimenti della testa: il paziente riferisce spesso di non riuscire a tenere ferme le immagini quando muove la testa, fenomeno che prende il nome di oscillopsia e che può essere riprodotto coprendo un occhio con una mano e premendo delicatamente e ripetutamente sul canto esterno dell'altro occhio con un dito dell'altra mano;

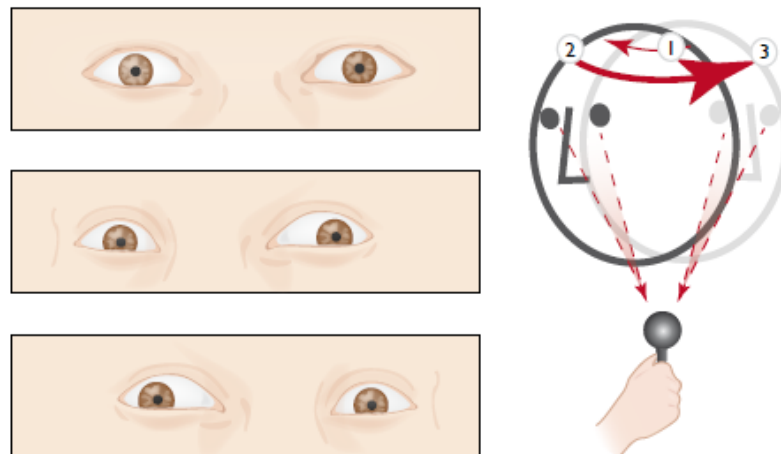
- b. una intolleranza ai movimenti della testa, che si associano ad una fastidiosa sintomatologia vertiginoso-posturale;

I principi, invece, a cui fanno riferimento le tecniche di riabilitazione, e che possono altresì guidare le nostre scelte, sono i meccanismi di compenso: tra questi, in particolare, quelli dinamici, e cioè l'adattamento, l'abitudine, la sostituzione e le strategie di predizione e anticipazione, ed è su questi che lavoriamo con la riabilitazione vestibolare.

### Gli esercizi riabilitativi

#### *Il deficit vestibolare monolaterale*

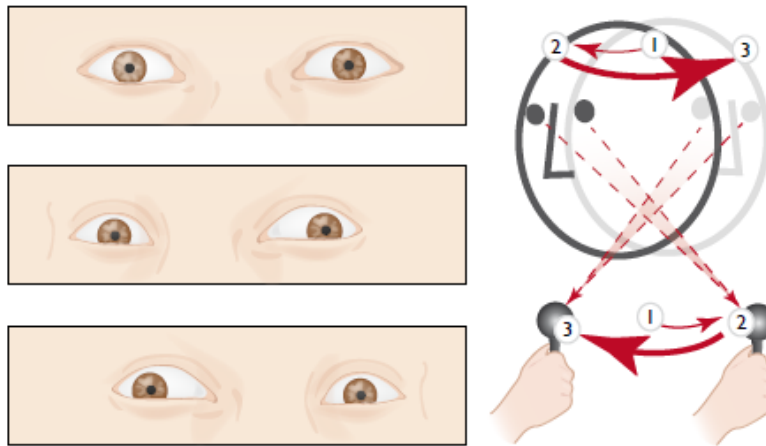
In presenza di un deficit vestibolare monolaterale, per correggere l'instabilità dello sguardo durante i movimenti della testa, il meccanismo di compenso più adeguato è l'adattamento: lo stimolo più efficace per indurre il fenomeno dell'adattamento è lo scivolamento delle immagini sulla retina durante i movimenti della testa, o *retinal slip*; quest'ultimo infatti genera un segnale di errore, che il SNC cerca di correggere au-



**FIGURA 9** - Rappresentazione schematica dell'esercizio "VOR x1". L'esercizio è eseguito con un piccolo bersaglio visivo (stimolo foveale) e con un grande bersaglio visivo (stimolo a campo intero), con la testa che si muove sia sul piano orizzontale che sul piano verticale.

mentando il guadagno del VOR. Ricordiamo solo, in questa sede, che l'adattamento del VOR è specifico per lo stimolo, quindi gli esercizi devono stimolare il sistema in modi diversi, sia per frequenza che per direzione di movimento della testa. E quali esercizi possiamo usare? Per esempio il VOR x1 e il VOR x2 (Herdman, 2007).

Nel VOR x1 (Figura 9) il paziente tiene un bersaglio fermo davan-



**FIGURA 10** - Rappresentazione schematica dell'esercizio del "VOR x2". L'esercizio è eseguito con un piccolo bersaglio visivo (stimolo foveale) e con un grande bersaglio visivo (stimolo a campo intero), con la testa che si muove sia sul piano orizzontale che sul piano verticale.

ti a sé e ruota la testa a destra e a sinistra, mantenendo lo sguardo sul bersaglio e aumentando progressivamente la velocità finché il bersaglio è a fuoco; lo stesso esercizio può essere ripetuto sul piano verticale.

Nel "VOR x2" (Figura 10) il paziente muove il bersaglio e la testa in direzioni opposte, sempre mantenendo lo sguardo sul bersaglio e aumentando progressivamente la velocità finché il bersaglio è a fuoco; anche questo esercizio può essere ripetuto sul piano verticale.

Per ridurre i disturbi indotti dai movimenti della testa, invece, il meccanismo di compenso più adeguato è l'abitudine: di questo ricordiamo solo che è un fenomeno fisiologico, in cui la risposta di un sistema ad uno stimolo si riduce progressivamente se lo stimolo viene ripresentato più volte e sempre con le stesse caratteristiche, in modo che il sistema impari a riconoscerlo tutte le volte che lo incontra, anche a distanza di tempo.

Una tecnica di abitudine a noi molto familiare è appunto quella che va sotto il nome di tecnica Five. Quest'ultima prevede 5 step: nel primo step il paziente esegue per 5 volte 20 rotazioni della testa a destra e a sinistra e tra una serie e l'altra fissa un punto davanti a sé; nello step 2 il paziente passa per 5 volte dalla posizione seduta alla posizione supina e tra un posizionamento e l'altro fissa un punto davanti a sé; negli step 3 e 4 il paziente ripete gli stessi posizionamenti ma con la testa ruotata rispettivamente verso destra e verso sinistra; nell'ultimo step i posizionamenti sono ancora gli stessi ma con la testa iperestesa fuori dal lettino.

Il trattamento dell'instabilità posturale, a sua volta, richiede un programma di esercizi che prevede una varietà di condizioni sensoriali che si ottengono attraverso una modificazione degli input visivi, soma-

tosensoriali e vestibolari. L'obiettivo è quello di favorire l'uso della funzione vestibolare residua e il reclutamento degli input sostitutivi sia somatosensoriali che visivi, per il mantenimento del controllo posturale sia statico che dinamico.

Negli esercizi per l'equilibrio statico, il paziente in piedi fissa un bersaglio sulla parete di fronte e restringe progressivamente la base di appoggio, passando dalla posizione a gambe divaricate, a quella a piedi uniti uno accanto all'altro, poi piedi uno davanti all'altro distanziati e infine piedi uno davanti all'altro uniti; lo stesso esercizio può essere ripetuto ad occhi chiusi. Lo stesso esercizio, con la stessa sequenza, può essere eseguito su una superficie instabile, come un materassino di gomma; anche questo esercizio può essere ripetuto ad occhi chiusi.

Negli esercizi per la stabilità posturale dinamica, invece, il paziente cammina lungo un corridoio mettendo un piede davanti all'altro e si appoggia alla parete quando ne ha bisogno. Lo stesso esercizio può essere reso più difficile chiedendo al paziente di ruotare la testa a destra e a sinistra mentre cammina. Ai pazienti particolarmente sensibili ai movimenti dell'ambiente esterno si consiglia di frequentare ambienti ricchi di stimoli visivi, come le strade piene di negozi o i corridoi di un supermercato, all'inizio spingendo un carrello, poi senza nessun supporto, prima seguendo la coda, poi in senso contrario. Infine, per recuperare un livello adeguato di resistenza all'attività fisica, si può introdurre anche un programma di allenamento, che consiste in 3 sedute settimanali di 30 minuti-1 ora ciascuna, in cui il paziente si cimenta con le scale, la corsa, il nuoto, il golf o il tennis, a seconda delle inclinazioni e delle capacità di ciascuno.

### *Il deficit vestibolare bilaterale*

Nel caso di un deficit vestibolare bilaterale abbiamo detto che non abbiamo più un riflesso vestibolo-oculomotore su cui poter lavorare e allora dobbiamo affidarci ad altri meccanismi, sia motori che sensoriali, e ad altre strategie, soprattutto di pre-programmazione, che in qualche modo sostituiscano il sistema vestibolare nella stabilizzazione dello sguardo durante i movimenti della testa.

È in questi pazienti che ha un razionale il tentativo di potenziare il COR, oppure il paziente può imparare a sostituire le fasi lente del VOR con i saccadici o a ridurre l'ampiezza dei saccadici durante i movimenti combinati occhi-testa, oppure può sfruttare lo SP per mantenere la fissazione visiva durante i movimenti della testa; ma i movimenti degli occhi compensatori rispetto ai movimenti della testa possono essere anche pre-programmati, a condizione che i movimenti della testa siano prevedibili (per esempio si può eseguire un saccadico in direzione opposta a quella di un movimento rapido della testa oppure si può anticipare la fase lenta del VOR).

Un esercizio in grado di favorire i meccanismi di sostituzione e le strategie di pre-programmazione è quello dei movimenti attivi degli

occhi e della testa tra due bersagli: si posizionano due bersagli sulla parete, e si chiede al paziente di orientare la testa verso uno dei due bersagli e di fissarlo, assicurandosi di vedere in visione periferica anche l'altro bersaglio; poi si chiede al paziente di spostare lo sguardo verso l'altro bersaglio e successivamente di ruotare la testa verso il bersaglio, assicurandosi di mantenere a fuoco il bersaglio durante il movimento della testa; poi si chiede al paziente di ripetere il tutto in direzione opposta.

Lo stesso principio è alla base degli esercizi con bersagli immaginari: in questo caso il paziente fissa un bersaglio sulla parete, chiude gli occhi e ruota lentamente la testa verso un lato, immaginando di fissare ancora il bersaglio; poi riapre gli occhi e verifica che lo sguardo sia ancora sul bersaglio; poi ripete il tutto in direzione opposta.

Ma se il deficit vestibolare è bilaterale e completo non abbiamo più neppure un riflesso vestibolo-spinale su cui poter lavorare, e allora anche per la stabilizzazione della postura e della marcia dobbiamo affidarci ai meccanismi di sostituzione, utilizzando le informazioni provenienti dagli altri sistemi sensoriali, quello visivo e quello somatosensoriale, o alle strategie di pre-programmazione dei movimenti del tronco e degli arti, anche in questo caso a condizione che i movimenti della testa siano prevedibili.

Il trattamento è lo stesso del deficit monolaterale, focalizzando ancora l'attenzione sul restringimento progressivo della base di appoggio, ma aggiungendo anche esercizi più complessi, con gli ostacoli o con la palla, fino a modificare l'ambiente in cui vive il paziente o le sue abitudini comportamentali per contenere i disturbi dell'equilibrio e i rischi associati, primo tra tutti la caduta.

Nei percorsi con ostacoli il paziente esegue uno slalom tra una serie di birilli e, se possibile, fa rimbalzare una pallina di gomma mentre cammina. Negli esercizi con la palla il paziente mentre cammina ruota la testa a destra e a sinistra per ricevere e passare una palla di gomma all'operatore che cammina dietro di lui/lei.

### **Altre tecniche di riabilitazione**

Oltre agli esercizi fin qui descritti, negli ultimi anni sono state implementate nuove promettenti tecnologie per la riabilitazione vestibolare (Guidetti 2000, Cesarani, 2007):

- *la realtà virtuale*: si tratta di una tecnologia basata sull'interazione uomo-computer, che consente ai pazienti di prendere parte, in modo attivo e in tempo reale, ad un mondo virtuale tridimensionale, per mezzo di immagini e grafici generati dal computer e che danno la sensazione di essere immersi in un ambiente reale;
- *le suole per potenziare l'equilibrio*: è una tecnologia in grado di potenziare la sensibilità periferica che consiste nella stimo-

lazione dei meccanocettori presenti nella pianta dei piedi per mezzo di soles appositamente costruite: tali soles hanno un bordo rialzato per rendere più efficace la stimolazione dei recettori in prossimità del margine esterno dei piedi;

- *il tai chi*: si tratta di una tecnica di riabilitazione basata su un'antica arte cinese che consiste in una serie di movimenti lenti ma continui e coordinati di ciascuna parte del corpo che coinvolge la forza muscolare, l'allineamento posturale, il controllo dell'equilibrio e la capacità di concentrazione.
- *i dispositivi a feedback vibrotattile*: questi ultimi sono dispositivi protesici sviluppati per rimpiazzare le informazioni relative al movimento del proprio corpo, perdute a causa di una patologia a carico del sistema vestibolare, di un trauma o dell'invecchiamento.
- *la Wii Fit*: è in grado di migliorare le capacità di controllo della stazione eretta nei pazienti con patologie vestibolari, e le loro prestazioni posturali dinamiche.

#### Bibliografia

- G. Guidetti. *Diagnosi e terapia dei disturbi dell'equilibrio*. 2ª Edizione. Roma: Editore Marrapese; 1997.
- S.J. Herdman. *Vestibular Rehabilitation*. Third Edition. Philadelphia: Contemporary Perspectives in Rehabilitation; 2007.
- G. Guidetti. *Rehabilitative Management of the Dizzy Patient*. Milano: Excerpta Medica; 2000.
- A. Cesarani. *La Riabilitazione Vestibolare*. Torino: Omega Edizioni; 2007.