UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA

campus savona

Università degli Studi di Genova
Facoltà di medicina e Chirurgia

Master in Riabilitazione dei Disturbi Muscoloscheletrici

A.A. 2009/2010

Campus Universitario di Savona
In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy
Vrije Universiteit Brussel

VALUTAZIONE DEL JOINT POSITION ERROR CERVICALE MEDIANTE STRUMENTI DI REALTÀ VIRTUALE

Candidato:

Andrea Catozzella

Relatore:

Dott. Mag. OMT Andrea Turolla

INDICE

1. Abstract……. -3-
2. Introduzione -4-
2.1 La realtà virtuale -4-
2.2 Joint position sense (JPS) -6-
2.2.1 Basi neurofisiologici del JPS -7-
2.2.2 Il sistema propriocettivo -7-
2.2 .3 Il sistema vestibolare -14-
2.3 Alterazioni del JPS: il Joint position error (JPE) -17-
3. Materiali e metodi -19-
4. Risultati -20-
4.1 Valutazione della motilità del rachide cervicale -25-
4.2 JPE -31-
5. Discussione -39-
6. Bibliografia -41-

ABSTRACT

OBIETTIVI: Lo scopo principale che questa revisione si prefigge è quello di individuare le strategie più adeguate di valutazione e, in parte, di trattamento del "Joint position error" del rachide cervicale mediante strumenti di realtà vituale.

MATERIALI E METODI: Per questo lavoro è stata effettuata una revisione della letteratura tramite la banca dati elettronica Medline attraverso il motore di ricerca dedicato PubMed utilizzando come stringhe di ricerca: "joint position error", "cervical joint position sense", "cervical joint position error", "virtual reality AND cervical spine", "evaluation of cervical joint position error". È stata inoltre effettuata una ricerca mauale su riviste non indicizzate. Si è scelto di prendere in considerazione gli articoli pubblicati negli ultimi dieci anni escludendo quindi quelli pubblicati in un periodo precedente all'ultimo decennio circoscrivendo quindi la revisione; l'articolo doveva essere in lingua inglese o italiana, escludendo articoli in altra lingua; gli studi dovevano essere effettuati su umani e non su animali. I criteri di esclusione sono stati i seguenti: l'articolo non mostrava l'abstract; l'articolo non trattava l'argomento in questione.

RISULTATI: Dalla ricerca effettuata sono stati ottenuti 361 articoli. Dopo la lettura dell'abstract ne sono stati scartati 334 in quanto non soddisfacevano i criteri di inclusione. Dopo la lettura del full-text sono stati scartati altri 20 articoli, in quanto il loro contenuto non era pertinente con l'argomento di questo lavoro.

CONCLUSIONI: L'affidabilità intra ed interesaminatore è maggiore nella valutazione basata sulla RV rispetto alla valutazione convenzionale e che una singola seduta di RV si è dimostrata essere sufficiente per incrementare la mobilità cervicale, soprattutto nella rotazione. Da ciò si deduce che sicuramente la valutazione della motilità e dell'abilità di riposizionamento della testa tramite apparecchiature di realtà virtuale ha un alto grado di ripetibilità inter ed intraesaminatore. L'alto grado di motivazione e di coinvolgimento ottenibile attraverso queste tecnologie è ampiamente testimoniato dalla letteratura ed è fondamentale nell'ottenimento di buoni risultati.

1. INTRODUZIONE

2.1 LA REALTÀ VIRTUALE

La realtà virtuale (RV) si basa su tecnologie in grado di creare ambienti interattivi che coinvolgono l'utente in attività che simulano quelle del mondo reale. La RV può anche essere considerata come un'esperienza mentale in grado di far credere al soggetto di "essere lì" presente sulla scena e nel mondo virtuale. Con questo nuovo mezzo il soggetto non è più semplice spettatore di ciò che accade sullo schermo, ma vive la sensazione di un coinvolgimento e di una partecipazione, nonostante quegli oggetti e quegli spazi esistano solo nella memoria del computer e nella mente del soggetto stesso (Botella et al., 1998).

I sistemi di realtà virtuale sono costituiti, oltre che da software specifici, da periferiche di input e di output che hanno l'obiettivo di rendere l'esperienza quanto più complessa e coinvolgente possibile. Le periferiche di input possono essere di diverso tipo: sensori, joystick, guanti speciali, caschetti o occhiali speciali, piccole telecamere in grado di rilevare i movimenti; per l'output sono di norma impiegati, oltre che alcune delle già citate periferiche di input (come i guanti che possono sia rilevare i movimenti della mano che inviare segnali di tipo tattile o gli occhiali ed i caschetti che possono decodificare i movimenti oculari o del capo ed inviare allo stesso tempo dei segnali visivi per mezzo di piccoli schermi), dei monitor di tipo tradizionale o 3D.

Sistema di realtà virtuale caratterizzato dalla presenza di un caschetto su cui sono montati due display.

A seconda del grado di immersione e coinvolgimento, si distinguono tre tipi di RV:
1. **Realtà Virtuale Immersiva** (RVI), accompagnata da una forte sensazione di immersione nello spazio esplorabile visivamente. Tale sensazione è aumentata dalla possibilità di interagire con gli oggetti raffigurati nello spazio virtuale.

2. **Realtà Virtuale Non Immersiva** (desktop RV), la sensazione di presenza è ridotta rispetto alla VRI.
3. **Augmented Reality** (AR), permette di sovrapporre le immagine generate dal computer a quelle reali aumentandone il contenuto informativo.

I campi di applicazione della VR sono principalmente la riabilitazione, la terapia e l'apprendimento. La costruzione di un mondo di cui il soggetto pur avere il controllo si rivela particolarmente appropriata in questi casi.
In particolare:
-Riabilitazione motoria e cognitiva: disordini del movimento, ritardo mentale.
-Apprendimento: simulazioni (training per i piloti).
-Disturbi psichiatrici: disturbi d'ansia e fobie, disturbi del comportamento alimentare.

Sistema di motion tracking elettromagnetico

I primi studi e le prime applicazioni della RV in ambito terapeutico hanno interessato la cura delle fobie. La logica di fondo sta nel presentare al soggetto la situazione ansiogena facendogli decidere a quale grado di intensità vivere tale esperienza. Si ricrea in un ambiente controllato una situazione che in condizioni reali genererebbe angoscia e perdita di controllo. Il soggetto agisce sui parametri di questo mondo immaginario in base alla tolleranza individuale. In particolare questo trattamento è stato usato per la cura delle seguenti fobie: paura di volare, paura di guidare, paura degli spazi aperti

(agorafobia), paura della velocità, paura dell'altezza, acrofobia, paura di parlare in pubblico.Le immagini possono inoltre essere integrate da stimoli di tipo tattile e uditivi per aumentare il senso di realtà e permettere una maggiore crescita dell'autostima e capacità di controllo (Strickland et al., 1997).

2.2 JOINT POSITION SENSE

Il joint position sense o senso di posizione articolare è la capacità del sistema nervoso di conoscere in ogni momento la posizione del corpo nello spazio e più in particolare, la posizione di ogni articolazione. La capacità di riposizionamento del collo, anche nota come capacità cinestetica, è comunemente misurata come la differenza tra la posizione originale e la posizione riprodotta. Revel et al. (Revel, M. et al 1991;. Revel, M. et al 1994.) Nei primi anni ’90 iniziarono a comparire i primi studi in questo campo basati su misurazioni bidimensionali della distanza tra i punti su un cartone. I partecipanti indossavano caschi con un puntatore laser collegato ad esso, con il quale puntavano un punto designato su una tavola di fronte a loro. Usando questa semplice misurazione scoprirono che i soggetti con dolore cronico cervicale presentavano un errore di riposizionamento maggiore rispetto ai soggetti del gruppo di controllo asintomatici.
Misurazioni tridimensionali emerse in seguito hanno permesso di misurare lo spostamento angolare del rachide cervicale piuttosto che la distanza lineare tra due obiettivi visivi e quindi sono diventati di più comune utilizzo per l’analisi del movimento cervicale (Heikkila, H.V. e Wenngren, B.-I. 1998; Treleaven, J. et al. 2003) Riduzione dell’abilità di riposizionamento poteva quindi indicare un deficit del senso cinestesico e/o della sensibilità vestibolare, possibili sintomi aggiuntivi del “neck pain”. Queste evidenze sono però criticabili per più ragioni: l’errore di riposizionamento era infatti piccolo (2°- 5°), l’abilità nel riposizionamento era insufficiente per differenziare i pazienti con neck pain dai pazienti asintomatici e inoltre c’erano studi con risultati contrastanti. Quindi la misurazione della capacità di riposizionamento della testa nella valutazione di soggetti con neck pain sembrava incerta. Queste incertezze sono state in parte risolte quando sul mercato sono apparsi i primi strumenti che permettevano un analisi del movimento nelle tre dimensioni.

2.2.1 BASI NEUROFISIOLOGICHE DEL JOINT POSITION SENSE

2.2.2 IL SISTEMA PROPRIOCETTIVO

Come detto il joint position sense o senso di posizione articolare è la capacità del sistema nervoso di conoscere in ogni momento la posizione del corpo nello spazio e più in particolare, la posizione di ogni articolazione. Questa capacità prende il nome di percezione kinestetica o propriocezione; essa è strettamente connessa alle afferenze vestibolare che contribuiscono a costruire il senso dell'equilibrio. La percezione della posizione e del movimento del corpo nello spazio vengono registrate da diversi recettori che poi inviano queste informazioni al cervelletto, dove si collegano alle afferenze da parte del senso dell'equilibrio.

La sensibilità propriocettiva può essere distinta in due sottotipi: senso di posizione statica, cioè la sensazione cosciente della disposizione spaziale delle differenti parti del corpo l'una rispetto all'altra, e senso di movimento chiamato anche cinestesia o propriocezione dinamica. La percezione della posizione, sia statica che dinamica dipende dalla conoscenza delle posizioni articolari di tutte le articolazioni, in tutti i piani, e delle loro velocità di variazione. Pertanto molteplici differenti recettori concorrono a segnalare la posizione angolare delle articolazioni e a dare il senso di posizione. Sono coinvolti anche recettori tattili cutanei e recettori profondi periarticolari. Per determinare l'angolazione delle articolazioni nell'ambito dei gradi intermedi, di escursione, si ritiene che tra i recettori più importanti vi siano i fusi neuromuscolari. Quando l'angolo di un'articolazione sta variando, alcuni muscoli sono sottoposti a stiramento, mentre in altri lo stiramento si riduce: queste modificazioni del grado di stiramento segnalate dai fusi vengono trasmesse al sistema di elaborazione del midollo spinale, e dei livelli superiori del sistema delle colonne dorsali con lo scopo di riconoscere le angolazioni articolari. Ai gradi estremi di angolazione dell'articolazione, un altro fattore importante per determinare la posizione è rappresentato dallo stiramento dei legamenti e dei tessuti profondi periarticolari. Queste modificazioni vengono segnalate da recettori specializzati che analizzeremo in seguito.

Quindi il complesso di recettori situati all'interno e in prossimità delle capsule articolare, fornisce informazioni sulla posizione, i movimenti e gli stress che agiscono

sulle articolazioni. Esistono fondamentalmente quattro tipi di recettori articolari, le cui proporzioni e distribuzione variano a seconda del sito. Tre di esse sono terminazioni incapsulate mentre il quarto è rappresentato da un'arborizzazione terminale libera. Le terminazioni di tipo I sono corpuscoli incapsulati della classe dei meccanocettori a lento adattamento, simili alle terminazioni di Ruffini. Si riscontrano in piccoli gruppi negli strati superficiali delle capsule fibrose delle articolazioni e sono innervate da assoni afferenti mielinici. Essendo a lento adattamento sono responsabili della percezione della posizione e del movimento dell'articolazione e rispondono a diverse sollecitazioni applicate alle capsule articolari. Sono particolarmente comuni nelle articolazioni in cui il senso di posizione statica è determinante per il controllo della postura come ad esempio anca o ginocchio.

Le terminazioni di tipo II sono recettori lamellati e sembrano versioni ridotte dei più grandi corpuscoli di Pacini che si trovano in generale nel tessuto connettivo. Si riscontrano in piccoli gruppi in tutta la capsula articolare, in particolare negli strati più profondi o in altre strutture articolari. Sono meccanocettori a rapido adattamento e a bassa soglia, sensibili al movimento e ai cambiamenti di pressione; rispondono al movimento dell'articolazione e a stress di breve durata applicati alla capsula articolare. Sono innervati da assoni afferenti mielinici, ma probabilmente non sono coinvolti nella percezione cosciente della sensazione articolare.

Le terminazioni di tipo III sono identiche agli organi tendinei di Golgi per struttura e funzione: si trovano nei legamenti articolari ma non nelle capsule articolari. Sono recettori ad alta soglia e a lento adattamento e hanno la funzione di prevenire, almeno in parte, sforzi articolari eccessivi attraverso il meccanismo dell'inibizione riflessa dei muscoli adiacenti. Sono innervati da grandi assoni afferenti mielinici.

Le terminazioni di tipo IV sono ramificazioni libere di assoni mielinici o mielinici che si trovano all'interno delle capsule articolari, nei corpi adiposi adiacenti e attorno ai vasi sanguigni dello strato sinoviale. Sono recettori ad alta soglia e a lento adattamento, e si ritiene rispondano ai movimenti eccessivi, rappresentando la base della percezione del dolore articolare.

I recettori muscolari più importanti a livello propriocettivo sono i fusi neuromuscolari e gli organi muscolo-tendinei del Golgi.

Il **fuso neuromuscolare** è una struttura altamente specializzata, che si trova diffusamente distribuita nel parenchima muscolare dei muscoli scheletrici. Consiste in un fascicolo di fibre muscolari specializzate di circa 10 mm di lunghezza racchiuse in una capsula connettivale affusolata, che si espande nella porzione centrale ad accogliere un fluido di consistenza gelatinosa, molto simile all'umor vitreo del globo oculare. Il fuso è fornito di abbondanti vasi sanguigni e presenta una ricchissima innervazione.
Le fibre muscolari modificate che compongono il fuso vengono definite intrafusali e sono più sottili delle fibre muscolari vere e proprie. Di solito si distinguono due tipi di fibre intrafusali :

1. le fibre a sacco di nuclei, in numero di 3-5 per ogni fuso, che presentano un accumulo di nuclei, circa 100, nella porzione mediana che appare rigonfia;

2. le fibre a catene di nuclei, in numero di 8-10 per fuso, in cui i nuclei sono disposti in fila, sempre nella loro porzione mediana.

E' possibile, inoltre, riconoscere nelle fibre a sacco di nuclei due sottotipi :

fibre a sacco di nuclei statiche,

fibre a sacco di nuclei dinamiche

Esse sono notevolmente diverse tra loro sia come composizione ultrastrutturale, che come caratteristiche biochimiche, sia per le loro proprietà meccaniche. L'innervazione del fuso è poi assai complessa e consiste di fibre sensitive e motorie.

Le fibre sensitive afferenti si distinguono in due gruppi :

fibre afferenti primarie,

fibre afferenti secondarie.

Le fibre afferenti primarie, ad alta velocità di conduzione, originano da terminazioni a spirale che si avvolgono sulla porzione centrale delle fibre intrafusali di tutti e tre i tipi descritti.

Le fibre afferenti secondarie, di minore velocità di conduzione, e di più piccolo diametro, provengono prevalentemente da terminazioni a spirale avvolte sulla porzione paracentrale delle fibre a catena di nuclei. A queste si aggiunge il contributo di terminazioni a fiorami, distribuite quasi esclusivamente sulle fibre intrafusali a sacchetto di nuclei.

Una caratteristica particolare del recettore fusale, consiste nella presenza di fibre motorie provenienti dai motoneuroni gamma delle corna anteriori del midollo spinale, che si distinguono in due tipi:

1. fibre gamma dinamiche, che, in numero di 1 o 2 per lato, innervano le porzioni polari delle fibre "a sacchetto di nuclei dinamiche;

2. fibre gamma statiche, che innervano sia le fibre intrafusali "a sacchetto di nuclei statiche", sia le fibre a catena di nuclei.

Per comprendere il meccanismo con cui il fuso riesce a segnalare le variazioni di lunghezza del muscolo, bisogna ricordare la disposizione anatomica ed istologica dei fusi nell'ambito del tessuto muscolare. La capsula del fuso si fonde, ai suoi due poli, con l'endomisio, la guaina connettivale che riveste le fibre muscolari extrafusali. Questa disposizione in parallelo, permette che ogni allungamento del muscolo si ripercuota anche sulle fibre intrafusali, così come lo stiramento produce un distanziamento delle spire della terminazione nervosa avvolta sulla porzione centrale delle fibre intrafusali, là dove si trova il fluido gelatinoso che, molto probabilmente svolge un'azione lubrificante e permette degli spostamenti indipendenti tra loro delle varie fibre. Dobbiamo inoltre ricordare che i fusi neuromuscolari sono recettori di primo tipo. Recettori, cioè, capaci di rispondere alle variazioni di energia incidente con un potenziale elettrico chiamato Potenziale Generatore (PG). Lo stimolo produce una variazione elettrotonica del potenziale di membrana molto simile al potenziale post-sinaptico eccitatorio. Esso dipende direttamente dall'ampiezza dell'area stimolata e dall'intensità dello stimolo, ed è dovuto ad una modificazione non selettiva della permeabilità della membrana a tutti gli ioni. Sono soprattutto gli ioni Na+ ad entrare, spinti dal doppio gradiente, sia elettrico che chimico, creando un flusso intracellulare di cariche positive depolarizzanti. E' proprio la deformazione che innesca il processo di trasduzione meccanoelettrica e la depolarizzazione della terminazione con l'invio del potenziale d'azione al 1° nodo di Ranvier della fibra afferente. La sensibilità del fuso allo stimolo di stiramento è molto

elevata, bastano piccolissime variazioni di allungamento del muscolo per far variare significativamente la frequenza di scarica delle fibre afferenti. Grazie alla presenza dei due tipi diversi di fibre intrafusali, il sistema nervoso riceve informazioni sia sull'entità dell'allungamento muscolare attraverso le variazioni di scarica delle fibre secondarie, sia sulla velocità dell'allungamento attraverso le fibre di gruppo Ia. Data la disposizione in parallelo dei fusi, essi subiscono, durante la contrazione delle fibre extrafusali, un accorciamento che inibisce e fa cessare del tutto la scarica afferente. Il controllo sulla sensibilità del recettore è operato dal sistema di innervazione gamma ed alfa. L'innervazione gamma produce una contrazione localizzata alle estremità polari delle fibre intrafusali, che, a sua volta, determina uno stiramento della loro parte centrale, dove sono avvolte le terminazioni nervose. In questo modo la detenzione del fuso prodotta dalla contrazione delle fibre extrafusali ad opera dei motoneuroni alfa, può essere compensata dagli effetti opposti prodotti dalla contemporanea attivazione dei motoneuroni gamma. In questo modo la sensibilità del recettore può rimanere costante per ogni livello di contrazione muscolare, inoltre il controllo di sensibilità del recettore, operato dal sistema gamma, è in grado di esaltare selettivamente la sensibilità statica o dinamica del fuso, attraverso i due tipi di fibre gamma che lo innervano. Gli impulsi provenienti dai fusi raggiungono il midollo spinale ed eccitano i motoneuroni alfa ed i motoneuroni dei muscoli agonisti con una trasmissione monosinaptica. E' questa la branca afferente del riflesso miotatico, cioè l'allungamento attivo o passivo di un muscolo provoca, mediante l'attivazione dei propriocettori fusali, una contrazione riflessa che tende a riportare il muscolo alla sua lunghezza originaria. Il riflesso miotatico è presente sia nei muscoli estensori che nei flessori, è particolarmente presente nei muscoli che si oppongono alla forza di gravità e svolgono un ruolo primario nel mantenimento della postura. In questi casi è la componente statica del fuso ad essere stimolata. Esistono centri sopraspinali di controllo dei gamma motoneuroni tonici, posti nella formazione reticolare e nel complesso dei nuclei vestibolari, che ottimizzano il significato funzionale del sistema propriocettivo dei fusi neuromuscolari. Diverso il ruolo delle afferenze secondarie, fibre di gruppo II, provenienti dalle terminazioni anulospirali poste sulle fibre intrafusali a catena di nuclei. Queste, accanto ad una funzione monosinaptica, esercitano complessi effetti polisinaptici di tipo eccitatorio sui muscoli flessori, di tipo inibitorio sui muscoli estensori. Le fibre di gruppo II, quindi, partecipano alla componente tonica del riflesso miotatico, in quanto sensibili agli allungamenti statici del muscolo; eccitano la componente flessoria dei

motoneuroni spinali, attraverso connessioni polisinaptiche; in condizioni di ipertono, come la spasticità, la loro stimolazione inibitoria aumenta in funzione dello stiramento passivo esercitato sul muscolo.

Struttura e funzione degli organi muscolotendinei di Golgi

Gli organi muscolo-tendinei del Golgi, sono costituiti da una capsula connettivale allungata (1 mm) contenente numerose terminazioni nervose finemente arborizzate di fibre nervose ad alta velocità di conduzione (gruppo Ib). Questi propriocettori sono situati nel tessuto connettivo denso di legamenti e capsule articolari e nelle giunzioni miotendinee (giunzione muscolo-tendinea ossia porzione del tendine che ospita le espansioni connettivali con cui terminano le fibre muscolari). Gli organi muscolo-tendinei del Golgi sono disposti in serie rispetto alle fibre fasciali e a un gruppo di fibre muscolari di riferimento (circa 20) appartenenti a diverse unità motorie.
Gli organi del Golgi registrano la tensione muscolo-tendinea e quindi la contrazione attiva muscolare determinando, se superata la soglia di attivazione , il riflesso spinale miotatico inverso che suscita il rilassamento delle relative fibre muscolari e la contrazione di quelle del muscolo antagonista. Si è dimostrato che la stimolazione degli organi tendinei del Golgi avviene solo se le fibre muscolari sono attivamente contratte (e non anche durante lo stiramento passivo come si credeva in passato); principio su cui si basa la tecnica PNF (Proprioceptive Neuromuscolar Facilitation).
Gli organi del Golgi registrano quindi la tensione muscolo-tendinea proteggendo le strutture tendinee, legamentose e capsulari da eccessive contrazioni muscolari ma sono altresì determinanti in ambito posturologico: la loro specifica funzione è quella di segnalare ai centri superiori la tensione media sviluppata da un selezionato gruppo di unità motorie (meccanocettori ad adattamento statico o tonico), fungendo così da meccanismo di controllo riflesso della forza di contrazione muscolare (feed-back) e di programmazione della stessa da parte dei centri motori (feed-forward). Possedendo gli organi del Golgi una soglia di attivazione notevolmente superiore a quelle dei fusi neuromuscolari, presentano di conseguenza un'azione molto meno immediata e frequente rispetto a quast'ultimi. Da notare che l'influenza dell'attività degli organi muscolotendinei del Golgi dipende molto dalle afferenze cutanee a bassa soglia e articolari.

Proiezioni sopraspinali dei propriocettori muscolari

I propriocettori muscolari inviano informazioni a varie strutture sopraspinali interessate alla programmazione ed al controllo sia della statica che del movimento. In particolare il

cervelletto e la corteccia cerebrale sensitivo-motoria ricevono una cospicua mole di informazioni.

Le vie di afferenza dirette al cervelletto sono essenzialmente 4 :

1. tratto spinocerebellare dorsale,
2. tratto spinocerebellare ventrale,
3. tratto cuneocerebellare,
4. tratto rostro cerebellare

Nel tratto spinocerebellare dorsale, situato nella colonna di Clarke del midollo toracolombare, convergono fibre dei gruppi Ia e II provenienti dai fusi neuromuscolari dei muscoli degli arti inferiori ed una minore presenza di fibre del gruppo Ib provenienti dai corpi muscolo tendinei del Golgi sempre dagli arti inferiori. Le fibre del tratto spinocerebellare dorsale terminano sotto forma di fibre muschiose nel lobo anteriore del cervelletto. Il tratto spinocerebellare ventrale veicola nelle stesse regioni del lobo anteriore del cervelletto informazioni provenienti essenzialmente dai corpi muscolotendinei di Golgi e rappresenta un sistema di monitoraggio e controllo della tensione muscolare sviluppata nei muscoli degli arti inferiori.

Anche i tratti cuneocerebellare e rostrocerebellare convogliano afferenze propriocettive di origine fusale e muscolotendinea provenienti dagli arti inferiori al lobo anteriore del cervelletto con modalità simili alle vie precedenti. Le vie di afferenza alla corteccia cerebrale sensitivomotoria sono rappresentate da afferenze fusali e muscolotendinee provenienti dagli arti superiori attraverso i cordoni posteriori del midollo spinale, il nucleo cuneato, il lemnisco mediale ed il talamo, raggiungendo una zona circoscritta della corteccia parietale corrispondente all’area 3a di Brodmann da afferenze propriocettive provenienti dagli arti inferiori attraverso i cordoni laterali del midollo, il nucleo Z del tronco encefalico ed il talamo.

2.2.3 IL SISTEMA VESTIBOLARE

Come detto il sistema propriocettivo è strettamente connesso al sistema vestibolare. Il sistema vestibolare è un sofisticato apparato sensoriale che rileva informazioni riguardanti la posizione ed il 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 connesse a quelle dell'apparato uditivo. Gli organi recettoriali dei due apparati sono situati all'interno di una rete di canalicoli ossei, che costituisce il cosiddetto labirinto, situato 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 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 perilinfa. Al loro interno si trovano i recettori acustici e vestibolari, le cellule cigliate, 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.

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 di trasmettere l'informazione sensoriale dalla periferia recettoriale al sistema nervoso centrale. Il ganglio di Scarpa è costituito da circa 20.000 neuroni bipolari i cui processi centrali 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 muscoidi 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. 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 vermiana. I neuroni situati nella porzione ventrale del nucleo mandano i loro assoni nel tratto vestibolo-spinale laterale, che proietta ispilateralmente 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. Il nucleo vestibolare inferiore ha connessioni afferenti ed efferenti simili a quelle del nucleo vestibolare laterale, ma la sua funzione è meno 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. 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.

2.3 ALTERAZIONI DEL JPS: IL JOINT POSITION ERROR

Nel momento in cui il soggetto subisce l'insulto articolare i recettori a livello muscolare e articolare vengono traumatizzati e le sensazioni di tipo propriocettivo vengono alterate. Essendo il trauma un evento che esce dagli schemi fisiologici delle articolazioni le sensazioni che verranno avvertite e le risposte che verranno messe in atto saranno sicuramente diverse da quelle che si avvertono in situazione di normalità.

Quando siamo in presenza di un trauma dobbiamo quindi tenere in considerazione il fatto che, oltre alle lesioni anatomiche, vi è sicuramente una alterazione dei meccanismi propriocettivi. Questa alterazione porta ad un difetto di "lettura" dello spazio circostante da parte dei recettori che sono preposti alla trasmissione delle informazioni alle strutture centrali. Il **joint position error** come alterazione della sensazione di posizione di un'articolazione dovuta a un'alterazione può essere dovuta a un'alterazione dei meccanismi propriocettivi.

Attraverso una corretta stimolazione dei recettori periferici ed un corretto equilibrio muscolare, possono essere riattivati i circuiti nervosi propriocettivi con l'obiettivo di ottenere un controllo articolare ottimale.

La stimolazione si realizza attraverso sollecitazioni applicate all'articolazione, con la finalità di velocizzare le risposte muscolari, in modo tale che esse riescano ad assorbire la destabilizzazione esterna anziché subirla. Chiaramente per il recupero della propriocezione si possono utilizzare molteplici tecniche quali il riposizionamento articolare, i carichi assiali, gli esercizi in catena cinetica chiusa, ripetizioni a basso carico, la reazione a perturbazioni, il ripristino dell'equilibrio.

Nella progressione di lavoro durante il recupero di un soggetto, occorre ricordare che la rieducazione propriocettiva non deve avere schemi quantitativi e temporali preordinati o prestabiliti, saranno il grado di evoluzione della patologia e le capacità di ogni singolo

paziente, l’indicatore principale al quale attenersi per stilare il programma riabilitativo propriocettivo.

2. MATERIALI E METODI

Per questo lavoro è stata effettuata una revisione della letteratura tramite la banca dati elettronica Medline attraverso il motore di ricerca dedicato PubMed utilizzando come stringhe di ricerca: “joint position error”, “cervical joint position sense”, “cervical joint position error”, “virtual reality AND cervical spine”, “evaluation of cervical joint position error”.

È stata inoltre effettuata una ricerca mauale su riviste non indicizzate.

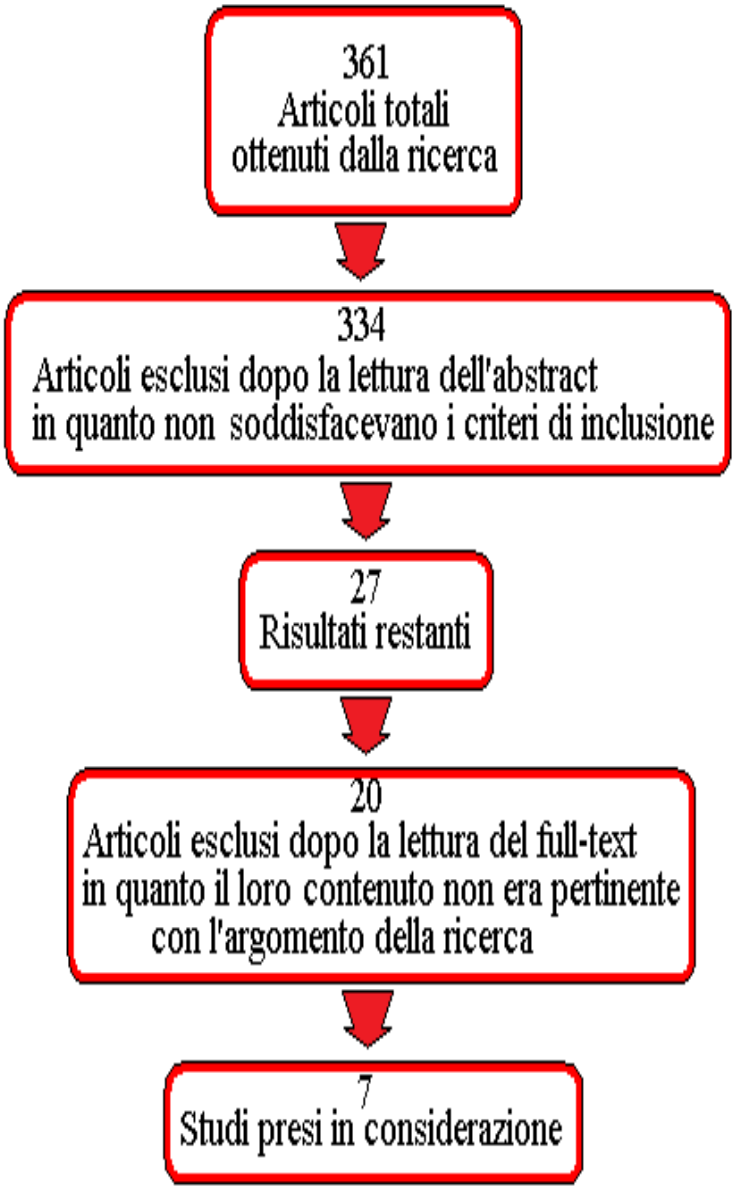
È stata utilizzata la funzione *“Limits”* per restringere il campo di ricerca: si è scelto di prendere in considerazione gli articoli pubblicati negli ultimi dieci anni escludendo quindi quelli pubblicati in un periodo precedente all’ultimo decennio circoscrivendo quindi la revisione; l’articolo doveva essere in lingua inglese o italiana, escludendo articoli in altra lingua; gli studi dovevano essere effettuati su umani e non su animali. I criteri di esclusione sono stati i seguenti: l’articolo non mostrava l’abstract; l’articolo non trattava l’argomento in questione. Per la scelta degli articoli i parametri di inclusione sono stati: cervical joint position error e metodi di valutazione; cervical joint position sense; analisi dei movimenti del rachide cervicale tramite strumenti di motion tracking.

3. RISULTATI

Dalla ricerca effettuata sono stati ottenuti 361 articoli. Dopo la lettura dell'abstract ne sono stati scartati 334 in quanto non soddisfacevano i criteri di inclusione. Dopo la lettura del full-text sono stati scartati altri 20 articoli, in quanto il loro contenuto non era pertinente con l'argomento di questo lavoro.

Il diagramma di flusso, qui di seguito presentato, elenca i lavori presi in considerazione per

questa revisione e illustra brevemente i motivi per cui sono stati esclusi dalla stessa.



Segue la tabella sinottica delle pubblicazioni incluse nella revisione

Autore, nome articolo e anno	Riferimento bibliografico	Obiettivo dello studio	Materiali e metodi	Risultati 21
Hill R. **Head repositioning accuracy to neutral a comparative study of error calculation.** **2009**	1	Investigare su quattro differenti metodi di valutazione del cervical JPE	Fa riferimento ad un precedente studio condotto su 100 soggetti con wiphlash con dolore persistente ad alemno tre mesi dall'evento e 50 soggetti sani	I risultati dello studio indicano che un solo metodo di misurazione del riposizionamento non è sufficiente da solo per individuare o definire differenze tra un gruppo di controllo e un gruppo di soggetti con WAD. I risultati suggeriscono invece come probabilmente la combinazione dell'errore assoluto e dell'errore costante siano la più affidabile misura per l'analisi del riposizionamento nella valutazione di soggetti con wiphlash.
Jull G **Retraining cervical joint position sense: the effect of two exercise regimes.**	2	Comparare gli effetti di un allenamento propriocettivo "tradizionale" ed esercizi di flessione cranio	Studio condotto su 64 donne con dolore persistente al collo e deficit nel JPE. I soggetti sono	I pazienti inseriti nel guppo ad allenamento propriocettivo dimostrano una grande riduzione nel JPE in rotazione destra comparata al gruppo con alenamto di flessione

2007		cervicale in soggetti con dolore al collo persistente	stati suddivisi in due gruppi ai quali sono stati assegnati i due differenti tipi di allenamento.	craniocervicale.
Kristjansson E. A New Clinical Test for Cervicocephalic Kinesthetic Sensibility: "The Fly" **2004**	3	Valutare l'affidabilità e la capacità discriminativa di un nuovo test nel valutare i movimenti cervicali.	Studio condotto su 20 donne con disordini associati al wiphlash cronico (WAD) di grado I e II e 20 donne asintomatiche	Il test riesce a disriminare tra soggetti son WAD cronica e soggetti asintomatici
Swait G. **Evaluation of cervical proprioceptive function: optimizing protocols and comparison between tests in normal subjects** **2007**	4	Lo studio mira a definire un protocollo di tests per il cervical JPE e per la "kinestesia cervicale"e investigare l'associazione tra i risultati dei differenti tests	Studio condotto su 16 soggetti sani ai quali sono stati analizzati il riposizionamento del capo e l'errore nel posizionamento attraverso un sistema di sensori di movimento elsultati dei tests ettromagnetici	La mancanza di correlazione tra i risultati dei test suggeriscono che essi non sono misure comparabili della propriocezione cervicale
Sarig Bahat Hilla	5	Due studi, uno comparativo ed	Studio valutativo	Sistemi di RV per la valutazione del rom

Cervical Motion Assessment Using a Virtual Environment **2011**		uno valutativo per la misurazione del ROM cervicale tramite RV	basato su 30 soggetti senza sintomi. Studio comparativo basato su 67 soggetti di cui 42 senza sintomi e 25 con dolore cervicale cronico	cervicale sono in grado di dimostrare differenze a livello cinematico del ROM cervicale con buona sensiblità e specificità
Michael Kramer **Reliability of a new virtual reality test to measure cervicocephalic kinaesthesia** **2008**	6	L'obiettivo di questo studio era di investigare sulla kinesthesia cervicocefalica, sulla validità di un nuovo test basato sulla realtà virtual per studiare appunto la kinesthesia cervicocefalica.	Studio effettuato su 57 soggetti sani(30 uomini e 27 females e tra i 18-64 anni) che sono stati immersi in una scena virtuale 3D attraverso un display montato sulla testa.	In entrambi i tests non sono stati trovati effetti specifici per età o sesso. La differenza intratest nel test statico era 0,16° mentre la differenza intertest era 0,47°. La differenza intratest nel test dinamico era 0,42° mentre la differenza intertest era 0,37°
Adrian Lindsay Morphett **The use of electromagnetic tracking technology for measurement**	7	L'obiettivo generale era di valutare l'utilizzo di una tecnologia di analisi elettromagnetic a per misurare il	Sono stati effetuati quattro studi ognuno dei quali includeva un numero diverso di soggetti	Nell'affidabilità intrastrumento l'ETS si è dimostrato migliore mentre nell'affidabilità interstrumento i dati non sono significativi. L'affidabilità interstrumento tra CROM

of passive cervical range of motion: a pilot study **2003**		ROM passive cervicale.		e ETS si è dimostrata valida per la rotazione e flessione o estensione ma non per la flessione laterale. L'affidabilità interesaminatore dell'ETS nella rotazione è alta, buona per la flessione laterale ma non per la flessione o estensione; l'affidabilità intraesaminatore era invece buona in tutti i piani di movimento. anche l'affidabilità della misurazione del ROM con ETS su un periodo di 24 ore è stata buona per la rotazione e flessione laterale e meno per la flessione o estensione.

4.1 VALUTAZIONE DELLA MOTILITÀ DEL RACHIDE CERVICALE

Nello studio di **Sarig Bahat** appare chiaro come gli obiettivi generale fossero quelli di introdurre un metodo di valutazione del ROM cervicale basato sulla RV, di stabilire l'affidabilità intra ed inter - esaminatore sulla valutazione basata sulla RV comparata ad una valutazione convenzionale in soggetti asintomatici e di valutare gli effetti di una singola sessione di RV sul ROM cervicale. Come sappiamo infatti il dolore cervicale determina impairments a livello di ROM cervicale, nella capacità di riposizionamento, nella forza isometrica e nella resistenza dei muscoli flessori del collo. Le limitazioni del ROM in pazienti con dolore cervicale cronico sono state maggiormente studiate rispetto agli altri impairments ma l'utilizzo di questa misurazione per fare diagnosi viene criticato a causa di prove contrastanti riguardo la specificità e la sensibilità. I primi metodi di valutazione del ROM cervicale erano rappresentati da radiografie, goniometri etc. ma questi strumenti davano informazioni bidimensionali e soprattutto statiche. Al contrario con l'avvento di nuove tecnologie quali strumenti di motion tracking, è stato possibile effettuare delle misurazioni tridimensionali e dinamiche. Il loro utilizzo è stato però limitato a causa degli alti costi e della complessità tecnica.

Per questo studio è stato utilizzato il sistema di motion tracking FASTRAK, Polhemus perché si era precedentemete dimostrato valido nell'affidabilità interesaminatore. La realtà virtuale comporta l'uso di computer e periferiche multimediali, per produrre un ambiente simulato comparabile con il mondo reale. Gli utenti interagiscono con immagini e suoni che stimolano risposte fornendo un feedback sulle loro prestazioni.

Come sappiamo, nella vita quotidiana i movimenti della testa sono generalmente delle risposte involontarie verso stimoli visivi, uditivi, tattili, olfattivi etc. e di conseguenza le misurazioni "convenzionali" del ROM cervicale non correlano direttamente con le abilità funzionali. Per avere quindi una valutazione più funzionale, questo studio mira a sviluppare un sistema specializzato di RV. Il razionale è che in questo studio i soggetti sono coinvolti in un semplice gioco di RV nel quale il movimento della testa è monitorato da sensori elettromagnetici. Questa valutazione cervicale, programmata per

migliorare le prestazione, potrebbe distrarre il soggetto dalla sensazione di dolore e fornire dati sul ROM dinamico.

Per lo studio erano stati reclutati 34 soggetti asintomatici, 9 uomini e 25 donne tra in 22 e i 55 anni; 4 soggetti sono stati esclusi dopo la prima sessione per sintomi di nausea e dizziness e/o fatica probabilmente dovuta ai ripetuti movimenti cervicali. Tutti questi sintomi comunque, si sono risolti spontaneamente. Quindi un totale di 30 soggetti che sono stati valutati da due differenti esaminatori il primo giorno per lo studio sull'affidabilità inter – esaminatore. Solo 28 di questi sono stati poi disponibili per il secondo giorno per la valutazione intra – esaminatore. È stato sviluppato un video-game in un ambiente virtuale al fine di incoraggiare i pazienti a raggiungere i massimi gradi del ROM e ad eseguire movimenti rapidi. L'hardware consisteva di due componenti: Fastrak, Polhemus e una unità di display montata sulla testa costituita da due mini display con risoluzione 800 X 600 pixel. Sono stati utilizzati due sensori elettromagnetici posizionati uno adiacente alla protuberanza occipitale ed uno sull'incisione sternale per differenziare il movimento del tronco da quello della testa. Ogni partecipante è stato valutato due volte nella prima sessione da due esaminatori diversi; ogni valutazione durava 15 minuti e tra una valutazione e la successiva vi era una pausa di 5 – 7 minuti. La secondo sessione si svolgeva dai 3 ai 7 giorni dopo, possibilmente allo stesso orario della prima e veniva svolta da uno solo dei due esaminatori iniziali. Nel metodo di valutazione convenzionale del ROM cervicale i partecipanti erano invitati con indicazioni verbali a muovere la testa in flessione, estensione, rotazione e flessione laterale; nel metodo di misurazione tramite RV i movimenti erano stimolati dall'interazione con le immagini del video-game che scorrevano sul display. Durante il gioco il soggetto visualizzata dei target volanti e l'obiettivo era di sparare con uno spray sulle mosche. La posizione delle scatole di spray era controllata dai movimenti della testa del partecipante il quale era invitato a sparare alle mosche il più velocemente possibile. Nel gioco per il ROM il partecipante era invitato a muoversi da un target all'altro mentre nel gioco per la velocità il partecipante doveva tornare nella posizione di mezzo dopo aver colpito il bersaglio. La direzione dei target era in ordine randomizzato per produrre rapida flessione, estensione, rotazione destra e flessione laterale sinistra. Nel gioco per il ROM i bersagli erano posizionati in maniera tale che vi era un costante incremento del ROM richiesto.

Ogni valutazione includeva: una valutazione convenzionale, una valutazione tramite RV sia con il gioco per il ROM che con quello per la velocità, e una successiva rivalutazione tramite metodo convenzionale.
Come misure di outcome soggettive sono state utilizzate la VAS, la Neck disability index, e la Tampa scale of kinesiophobia mentre le misure di out come oggettive comprendono la misura del ROM e le misurazioni cinematiche.
La ripetibilità del test viene calcotata tramite il metodo di Bland e Altman. È stata valutata l'affidabilità intra ed inter – esaminatore sia per il metodo di misurazione convenzionale sia per il metodo basato sulla RV; la valutazione basata sulla RV si è dimostrata più precisa rispetto alla valutazione convenzionale; una singola seduta di RV si è dimostrata essere sufficiente per incrementare la mobilità cervicale, soprattutto nella rotazione.

Nello studio di **Kristjansson** del 2004, l'obiettivo era investigare l'affidabilità e la capacità discriminativa di un nuovo test progettato per rilevare con accuratezza i movimenti del collo. Questo studio nasce da una considerazione molto importante e cioè la grande difficoltà che si incontra nella riabilitazione dei pazienti dopo un colpo di frusta. La causa dei sintomi nei disordini associati al wiphlash di grado I-II è ancora non chiara ed è quindi molto importante trovare tests che siano in grado di riconoscere e individuare disturbi del senso di movimento. In questo studio i tests utilizzati avevano come target la parte cervicale alta che è ricca di recettori nella muscolatura profonda e perché essa è collegata direttamente con i sistemi visivo e vestibolare. Disfunzioni dei meccanocettori di questa zona è importante clinicamente perché possono contribuire a sintomi quali sensazione di "testa vuota", dizziness, offuscamento della vista, cefalea cervicogenica e problemi cognitivi. Per questi motivi questo studio si prefigge di investigare la validità di un nuovo test nell'identificare e valutare differenze nella sensibilità kinestesica tra soggetti asintomatici e soggetti con WAD (whiplash-associated disorders) cronica eseguendo tre diversi schemi di movimento.
Per lo studio sono state reclutate 40 donne volontarie tra i 19 e i 49 anni. Sono state reclutate solo donne perché sono più inclini a sviluppare sintomi cronici dopo incidenti con veicoli a bassa velocità. Sono state divise equamente in un gruppo asintomatico e un gruppo con wiphlash cronico. Per essere incluse nel gruppo con wiphlash cronico, i sintomi dovevano essere presenti da più di 6 mesi e meno di 6 anni e dovevano

corrispondere al grado I e II della classificazione della "Quebec Task Force on Whiplash-Associated Disorders". Prima di essere inclusi nello studio tutti i soggetti hanno completato la Northwick Park Neck Pain Disability Index e i soggetti con wiphlash dovevano completare anche una VAS per il dolore. Nello studio è stato utilizzato il sistema elettromagnetico Fastrak. In questo studio un sensore era posto sulla fronte ed un altro sulla parte posteriore della testa, sullo steso piano. Il Fastrak era collegato ad un PC. Il software chiamato "fly" è stato creato appositamente per lo studio per analizzare ed elaborare i dati. In questo programma veniva calcolata la differenza tra la posizione del sensore sulla fronte e la posizione del sensore sulla parte posteriore della testa, sia orizzontalmente che verticalmente e questi dati venivano utilizzati per indicare sul monitor del computer i movimenti della testa. I dati dei movimenti bidimensionali venivano poi processati da Fly e proiettati sul monitor: la traccia blu indicava patterns di movimento imprevedibili mentre quella nera i movimenti della testa. Prima del test, un esaminatore cieco rispetto all' allocazione dei soggetti nei gruppi, spiegava ai partecipanti lo scopo dei compiti richiesti. Per familiarizzare col test tutti i partecipanti hanno eseguito per una volta uno schema di movimento che non è stato usato per la misurazione. Gli altri 3 schemi sono invece stati usati per la misurazione. Ai soggetti veniva richiesto di ripetere ogni schema di movimento 3 volte, con 10 secondi di intervallo tra ciascun trial. La durata di ogni trial era di 30, 20 e 40 secondi per schema di movimento. Il criterio usato in questo studio per misurare la sensibilità kinestesica era la grandezza dell'errore. Il valore assoluto dell'errore era calcolato in millimetri. L'errore medio dei tre trials per ogni schema di movimento è stato calcolato per ogni individuo e utilizzato come misura dell'accuratezza con la quale il soggetto poteva seguire il Fly.

I risultati di questi studi indicano che questo test è capace di discriminare tra soggetti asintomatici e soggetti con WAD di grado I e II; che la variabilità nei giorni è più grande nei soggetti con WAD cronica e questo testimonia l'instabilità dei sintomi di questi pazienti. Tutti gli schemi di movimento sono differenti nei due gruppi: i pazienti sintomatici hanno un deficit nella sensibilità kinestesica cervicale. Le performances dei pazienti sintomatici peggioravano nei tre trials mentre i soggetti asintomatici le eseguivano meglio.

Nello studio di **Morphett** l'obiettivo generale era di valutare l'utilizzo di una tecnologia di analisi elettromagnetica per misurare il ROM passive cervicale. Come sappiamo il

rom cervicale viene valutato dai terapisti manuali nell'esame clinico. La valutazione del ROM può aiutare nella diagnosi di disordini alla colonna cervicale, assistere nella decisione di un appropriato intervento terapeutico e rappresentare una valida misura di out come. Può essere valutato sia attivamente sia passivamente, quindi dal terapista che in base alle sensazioni di end-feel capisce quando può essere raggiunto il massimo range di movimento.

Il "Cervical Range of Motion device" (CROM) è uno strumento di misurazione del ROM cervical utilizzato in diversi studi ed ha dimostrato un'alta ripetibilità intra ed interesaminatore per il ROM attivo ed uno accettabile quando le misurazioni venivano effettuate da un estremo all'altro nel piano di movimento. I criteri di validità per la flessione e l'estensione sono stati stabiliti confrontando i risultati con radiografie. Il CROM può essere montato da diversi esaminatori senza bisogno di riferimenti anatomici precisi, è facile da usare e relativamente conveniente. Il CROM può misurare il ROM solo nel piano primario, non può misurare i movimenti congiunti in altri piani. Un altro strumento di misurazione del ROM cervicale è il VE (stima visiva) ma questa ha un'inaccuratezza evidente ed è praticamente impossibili avere esaminatori ciechi durante i tests per l'affidabilità interesaminatore.

Il sistema di monitoraggio elettromagnetico è un altro strumento di misurazione del ROM cervicale. Esso è uno dei pochi strumenti capaci di misurare tridimensionalmente ed è adatto per lo studio della cinematica della colonna cervicale. Questo studio analizza il ROM passivo cervicale utilizzando i tre strumenti di valutazione descritti precedentemente.

Il sistema di monitoraggio elettromagnetico è costituito da una scheda elettronica che comanda un trasmettitore, ed un sensore. Tre bobine ortogonali sono contenute sia nel trasmettitore che nel sensore. Il trasmettitore, controllato dalla scheda elettronica, genera un campo elettromagnetico che viene rilevato dal sensore. Il segnale dal sensore viene elaborato dalla scheda elettronica e vengono così determinate la posizione e l'orientamento del sensore relativo al trasmettitore. Il sistema di monitoraggio elettromagnetico era collegato ad un PC che non aveva un display in maniera tale che l'esaminatore non sapesse i risultati durante il test. Il sensore era saldamente fissato sulla parte superiore di un casco di plastica progettato e regolato per essere posto in maniera sicura e comodamente sulla testa di un soggetto. Il sensore era posto orizzontalmente e rivolto in avanti. Il trasmettitore era posizionato di fronte al soggetto seduto, su una trave di legno orizzontale sopra l'altezza della testa del soggetto.

Il CROM è costituito da una struttura di plastica che viene montato sulla testa del soggetto in maniera simile a come si indossano gli occhiali. Una sezione a V rovesciata è supportato dal naso ed imbottita di morbida gomma flessibile. Due braccia si estendono posteriormente e sono unite da un cinturino in velcro e supportate dalle orecchie chi li indossa. Il CROM è composto da 3 misuratori ad angolo ortogonali. Due esaminatori con un'esperienza clinica di 18 anni hanno eseguito le misurazione, un terzo esaminatore inesperto ripeteva le misurazioni. Sono stati esclusi dallo studio i portatoti di dispositivi metallici e elettronici nel corpo. Tre soggetti hanno manifestato la presenza di dolore al collo prima del test, mentre gli altri non avevano storia di dolore al collo. Alcuni soggetti si sono resi disponibili per tutte le misurazioni, altri no. Sono stati tolti tutti i gioielli per eliminare qualsiasi possibile interferenza con la misurazione. I soggetti sono stati valutati con sistema elettromagnetico (ETS), VE e CROM. I soggetti sono stati assegnati agli esaminatori esperti o all'esaminatore inesperto in maniera randomizzata. Tutti gli esaminatori erano all'oscuro delle misurazioni con ETS e dei risultati ottenuti dall'altro esaminatore. Le misurazioni dai due esaminatori esperti sono state completate in meno di 10 minuti e così è stata determinata l'affidabilità intra ed inter strumento. I soggetti sono stati poi valutati contemporaneamente con ETS e CROM grazie alle dimensioni ridotte del sensore per ETS e al casco per il CROM. Il morsetto elettromagnetico del CROM è stato rimosso in quanto interferiva con l'ETS. È stata così valutata l'affidabilità inter-strumento. È stata poi valutata solo la ripetibilità inter esaminatore dell'ETS in ordine non randomizzato: l'esaminatore 1 ha misurato il ROM passivo seguito circa 30 secondi dopo dall'esaminatore 2. È stata valutata anche l'affidabilità della misurazione del ROM con ETS su un periodo di 24 ore. Sono state determinate la differenza media e la deviazione standard tra i tempi. L'esaminatore 1 ha compiuto tutte le misurazioni. Nell'affidabilità intrastrumento l'ETS si è dimostrato migliore mentre nell'affidabilità interstrumento i dati non sono significativi. L'affidabilità interstrumento tra CROM e ETS si è dimostrata valida per la rotazione e flessione o estensione ma non per la flessione laterale. L'affidabilità interesaminatore dell'ETS nella rotazione è alta, buona per la flessione laterale ma non per la flessione o estensione; l'affidabilità intraesaminatore era invece buona in tutti i piani di movimento. anche l'affidabilità della misurazione del ROM con ETS su un periodo di 24 ore è stata buona per la rotazione e flessione laterale e meno per la flessione o estensione.

4.2 JOINT POSITION ERROR

Nello studio di **Robert Hill** l'obiettivo era di esaminare quattro diversi metodi matematici di misurazione dell' errore per determinare se vi sono differenze nella loro capacità di discriminare tra un gruppo di controllo e soggetti con disturbi associati colpo di frusta. Come sappiamo pazienti con dolore al collo ad esordio insidioso e traumatico hanno deficit nel JPE cervicale (joint position error cervicale) o nella capacità di riposizionamento della testa. Il riposizionamento della testa in posizione neutra è molto comunemente usato e si pensa sia il test più affidabili nel trovare differenze tra soggetti con neck pain e soggetti asintomatici. Tuttavia mentre disturbi nel riposizionamento della testa in posizione neutrale sono stati riscontrati con coerenza in soggetti con colpo di frusta, i risultati sono più discordanti in soggetti con dolore al collo ad esorsio insidioso.

Il confronto tra gli studi per capire queste differenze è difficile a causa dell'utilizzo di diversi strumenti di misurazione, metodologie e i tipi di errori utilizzati. L'interesse in questo studio è stato focalizzato proprio sull'errore. Alcuni studi hanno utilizzato infatti l'errore assoluto, altri l'errore costante, altri l'errore variabile, l'errore quadratico medio. L'errore assoluto descrive l'errore medio assoluto; l'errore costante comprende una sotto e una sopravvalutazione della posizione del target e rappresenta la media della grandezza e della direzione degli errori; l'errore variabile misura la variabilità dei risultati; l'errore quadratico medio rappresenta invece una misurazione globale di quanto successo ha avuto il soggetto nel raggiungimento del target. Recentemente è stato pensato che l'errore variabile e/o l'errore costante possano essere più adatti dell'errore costante nella valutazione dell'errore quadratico medio. Nessuno studio aveva mai messo a confronto questi differenti tipi di misurazione del riposizionamento della testa per valutare quale fosse più adatto nel discriminare tra un soggetto asintomatico ed uno sintomatico. Questo studio ha invece confrontato le quattro misurazioni dell'errore tra un gruppo di controllo con soggetti asintomatici ed un gruppo con soggetti con wiphlash con o senza dizziness.

I dati sono stati presi da un precedente studio di Treleaven del 2006 e consistono in 100 soggetti con wiphlash con dolore persistente ad almeno tre mesi dall'evento traumatico.

50 soggetti riportavano sintomi di dizziness o instabilità almeno una volta a settimana; gli altri 50 no. Sono stati inoltre presi i dati di 50 soggetti del gruppo di controllo asintomatici (40 dallo studio di Treleaven a cui ne sono stati aggiunti 10). I soggetti del gruppo di controllo non avevano storia di wiphlash, dolore al collo, dizziness o instabilità. Il riposizionamento delle testa in posizione neutra è stato testato dopo rotazione cervicale attiva a sinistra e a destra e dopo l'estensione. Il sistema elettromagnetico di misurazione (Fastrak, Polhemus) ha misurato la posizione dei due sensori, uno sulla fronte e uno su C7 e la differenza tra la posizione di partenza (zero) e quella di arrivo è stata calcolata in gradi.

La posizione di partenza per il testi di riposizionamento della testa era in posizione seduta, con la testa in posizione neutra. I soggetti sono stati bendati ed è stato chiesto loro di compiere il movimento del collo prestabiliti fino al limite senza andare oltre e di tornare poi il più possibile in posizione di partenza. I soggetti indicavano verbalmente quando erano tornati, a loro avviso, nella posizione di partenza e questo punto veniva segnato elettronicamente. L'esaminatore, guidato da un display in tempo reale, riposizionava manualmente la testa del soggetto in posizione di partenza prima di iniziare il nuovo trial. Sono stati eseguiti tre trials per ogni movimento. I soggetti potevano visualizzare nuovamente la posizione di partenza esatta prima di iniziare i trials del nuovo movimento.

I quattro differenti metodi di misurazione del riposizionamento della testa per ogni direzione di movimento sono stati calcolati come segue:

L'errore assoluto era calcolato come la media della deviazione totale dal punto di partenza nel corso dei tre trials, ignorando valori positivo (superamento) e valori negativi; quindi EA= (errore assoluto grezzo del trial 1) + (errore assoluto grezzo del trial 2) +(errore assoluto grezzo del trial 3)/3.

L'errore sostante era calcolato come la media degli errori totali nei tre trials incorporando i valori positivi e i valori negativi in ogni trial.; quindi EC=(errore grezzo trial 1)+(errore grezzo trial 2)+(errore grezzo trial 3)/3.

L'errore variabile era calcolato come la radice quadrata della media della differenza tra l'errore grezzo e il quadrato dell'errore costante calcolato come sopra; quindi√(errore grezzo trial 1- CE)al quadrato-+(errore grezzo trial 2 – CE)al quadrato+(errore grezzo trial 3 – CE)al quadrato/3.

L'errore quadratico medio era calcolato come la radice quadrata della somma del quadrato dell'errore costante più il quadrato dell'errore variabile; quindi √(CE al quadrato + VE al quadrato).
Nell'estensione l'errore costate si è dimostrato significativamente maggiore tra i soggetti con WAD e dizziness e i soggetti di controllo e tra i soggetti con WAD senza dizziness e i soggetti di controllo. In rotazione sinistra l'errore costato si è dimostrato significativamente differente tra i soggetti con WAD e dizziness e il gruppo di controllo e tra i soggetti con WAD e dizziness e i soggetti con WAD senza dizziness. In rotazione sinistra trovate anche differenze nell'errore assoluto e nell'errore quadratico medio tra i soggetti con WAD e dizziness e il gruppo di controllo.
In rotazione destra sia l'errore assoluto che l'errore quadratico medio mostravano differenze tra i due gruppi con WAD e tra i soggetti con WAD e dizziness e il gruppo di controllo. I risultati dello studio indicano che un solo metodo di misurazione del riposizionamento non è sufficiente da solo per individuare o definire differenze tra un gruppo di controllo e un gruppo di soggetti con WAD. I risultati suggeriscono invece come probabilmente la combinazione dell'errore assoluto e dell'errore costante siano la più affidabile misura per l'analisi del riposizionamento nella valutazione di soggetti con wiphlash.

Nello studio di **Swait**, l'obiettivo era di creare un protocollo di tests per il Joint position error cervicale e per la kinestesia cervicale e di investigare sulle associazioni dei risultati dei vari tests. Come sappiamo le informazioni afferenti propriocettive sono importanti per il controllo della postura e dei movimenti e quando vi è un'alterata funzione propriocettiva vi sono deficit a livello articolare o comunque muscolo scheletrico. Una misurazione ampiamente usata per la propriocezione cervicale è il Joint position error test nel quale deficit nella capacità di riposizionare la testa in posizione neutrale sono stati riscontrati i pazienti con wiphlash acuto e cronico, ma anche in pazienti con doloro al collo ad insorgenza non traumatica. Questo test però dà una misura incompleta del contributo propriocettivo al controllo motorio; inoltre viene valutata solo una posizione neutra statica e non è chiaro come la propriocezione sia collegata continuamente al controllo durante il riposizionamento. Sedici soggetti sani con un'età media di 29,5 anni hanno dato il loro consenso informato e hanno partecipato allo studio. Ogni soggetto è stato valutato in tre occasioni. Le prime due valutazioni

hanno avuto luogo lo stesso giorno, mentre la terza, dai 5 ai 7 giorni dopo allo stesso orario del giorno per mantenere le stesse condizioni. Tutti i tests sono stati eseguiti dallo stesso esaminatore. Il riposizionamento e il monitoraggio della testa sono stati valutati con il sistema elettromagnetico Fastak Polhemus. I pazienti erano seduti ad 80 cm dal display di un pc. Un sensore è stato posizionato sulla testa, fissato al vertice tramite un cinturino di plastica; un secondo sensore è stato invece posizionato sopra il processo spinoso di T12 per monitorare i movimento del tronco. Nel test per la kinesthesia cervicocefalica il sensore posizionato sulla testa era rappresentato sul display con un cursore. Il movimento orizzontale e verticale di quest'ultimo rappresentava le rotazioni mantenendo un rapporto di 1:1 tra movimento angolare della testa e deviazione del cursore. Un secondo cursore forniva gli obiettivi visivi per il movimento JPE cervicale è stato effettuato prima, seguito poi dal test per la kinestesia cervicocefalica. Un breve protocollo di allenamento precedeva entrambi. Tutte le prove iniziavano con un avviso acustico di 2 secondi dopo il quale iniziava la registrazione. Nel test di JPE cervicale i soggetti si posizionavano con la testa in posizione neutra e poi eseguivano attivamente rotazione sinistra, destra, flessione o estensione, con direzione che veniva comunicata verbalmente prima di ogni trial. Subito dopo i soggetti dovevano tornare in quella che supponevano essere la posizione neutra senza l'aiuto della vista. La posizione di partenza e di arrivo erano registrate. Ai soggetti è stato permesso di muovere e spostare la testa prima di ogni trial. È stato calcolato l'errore quadratico medio (in gradi) per il principale piano di movimento come la differenza tra la posizione del sensore sulla testa in posizione di partenza e quella di arrivo.

Prima del test per la kinestesia cervicocefalica, i target visivi stazionari erano visibili per 2 secondo e i soggetti dovevano muovere la loro testa affinchè il cursore arrivasse sopra il target. Ogni trial è durato 15 secondi durante i quali i soggetti hanno mosso la loro testa per arrivare col cursore sui target. Nella sequenza randomizzata erano presenti due possibili traiettorie di raggiungimento dei targets. Infatti in accordo con lo studio di Kristjansson sono state elaborate sei traiettorie curve, imprevedibili con velocità costante di cui tre presentate durante l'allenamento pretest e altre tre erano incluse nei trials. Per valutare se le prove potessero essere effettuate senza una preselezione e ripetizione di traiettorie, un'unica traiettoria è stata generata per ogni trial ed aveva una velocità variabile. In ogni trial è stata calcolata la media dell'errore quadratico medio come la differenza tra il target visivo e la posizione del cursore della testa. I dati sono stati inseriti in Matlab per calcolare gli errori per ogni trial di riposizionamento e di

raggiungimento del target. Dai risultati emerge che per la maggior parte dei soggetti è possibile ottenere una stima sulle performance che abbia un'elevata accuratezza e precisione quando vengono eseguiti 6 o più trials. Non sono emerse correlazioni tra le performances dei due tests. Inoltre il test del JPE cervicale e il test per la kinestesia cervicale non possono essere misure comparabili del contributo propriocettivo al controllo del capo.

Nello studio di **Michael Kramer**, gli obiettivi erano di investigare sulla kinestesia cervicocefalica in soggetti sani per età e sesso e di valutare la validità di un nuovo test basato sulla realtà virtuale per studiare appunto la kinestesia cervicocefalica. Accanto ai movimenti attivi, la funzione principale della colonna cervicale è la stabilizzazione statica
e dinamica della testa nello spazio e questo è fondamentale per consentire la funzione ottimale degli organi di senso situati nella testa. L'equilibrio della testa è assicurato da complessi meccanismi neurofisiologici di regolazione e di controllo tra gli organi di senso della testa e i muscoli del collo. In particolare, effetti propriocettivi, visivi e vestibolare sembrano svolgere un importante ruolo. Per quanto riguarda gli effetti visivi, sono stati dimostrati movimenti oculari come una risposta alle informazioni afferenti dai muscoli del collo, così come le reazioni muscolari agli stimoli visivi. Quindi l'obiettivo di questu studio era di sviluppare un nuovo strumento per la valutazione dell Kinestasia cervicocefalica (CK) che fosse indipendente dall'esaminatore e che consentisse l'esame della CK nell'intero range di movimento. Sono stati arruolati 57 soggetti volontari, 30 uomini e 27 donne di età compresa tra i 18 e i 64 anni che no avessero dolore o restrizione della mobilità a livello della colonna cervivìcale. I partecipanti sono stati istruiti a non esercitare una qualsiasi attività fisica intensa da due giorni prima della misurazione iniziale fino all'ultima misurazione, al fine di escludere una possibile influenza della fatica muscolare. L'età media degli uomini era di 27,5 anni, quella delle donne di 25 anni. Ogni soggetto ha partecipato a tre misurazioni al tempo iniziale (T0), al tempo T1 (T0 + 10') e al tempo T2 (T0 + 24h).
Ciascun soggetto era seduto su una sedia in una camera oscurata e camera insonorizzata. Durante il test, ai soggetti è stato chiesto di seguire un bersaglio visivo in una scena virtuale. I soggetti sono stati immerso nell'ambiente virtuale attraverso un Display montato sulla testa (HMD) dotato di un sistema di tracciamento. I soggetti sono stati poi invitati a seguire i percorsi di un pianeta virtuale in questo ambiente virtuale.Per questo

compito, il soggetto doveva provarea seguire il movimento del pianeta virtuale il più vicino possibile attraverso diamante bianco la cui posizione nella scena virtuale corrispondeva alla posizione della testa. La posizione degli occhi è stata mantenuta fissa grazie alla breve distanza tra il e il monitor, quindi questo compito poteva essere realizzata solo con movimenti della testa. Per il monitoraggio del movimento della testa è stato utilizzato il sistema 3D Fastrak (Polhemus). L'accuratezza di questo sistema per la misurazione dell'orientamento era di 0,2°.

Prima di ogni misurazione, è stato determinato il campo visivo del soggetto in flessione, estensione, rotazione a destra e sinistra, e le posizioni a metà strada tra ciascuna di queste direzioni e la successiva. Il campo di visibilità dell' HMD è stata suddiviso in otto settori, uno tra ogni coppia di direzioni adiacenti. Ogni soggetto ha completato una prova generale prima che i dati di ogni prova venissero registrati. Sono stati eseguiti due diversi test: uno statico per valutare il senso di posizione ed uno dinamico per valutare il senso di movimeto.

Nel test statico, all'inizio della prova, la testa era in posizione neutra. Il pianeta virtuale è partito da questa posizione e ha portato la testa del soggetto in una posizione specifica nel settore 1. Il software selezionava una posizione costante e predefinita in una posizione arbitraria tra 50% e 80% del campo visivo. Il target era lo stesso, per tutte le misurazioni (T0, T1, T2) per ciascun soggetto. Il pianeta rimaneva nella posizione finale per tre secondi, dopo di che riportava la testa del soggetto in posizione neutra. Il pianeta poi scompariva e al soggetto veniva chiesto di trovare la posizione finale senza una guida visiva. Veniva così determinata la differenza tra la posizione effettiva e quella richiesta. E 'stata rappresentata come angoli e chiamata"errore statico di riposizionamento comune "(SJRE). Questo processo è stato ripetuto una sola volta per ciascuno degli otto settori ed è stato calcolata la media degli SJREs per tutti gli otto settori (SJREMed).

Nel test dinamico, il pianeta viruale viaggiava lungo un percorso a forma di "8" su un fianco. Per rendere il test meno prevedibile, sono stati inclusi quattro cambi di velocità standardizzati. Mentre il soggetto seguiva la destinazione specificata, veniva determinato l'angolo tra la posizione della testa effettivo e quella richiesto è stato determinato ogni 1 / 100 s per tutto il ciclo di movimento. Questo angolo è stato chiamato "errore di riposizionamento dinamico comune" (DJRE). Sono stati determinati per ciascun soggetto la media (DJREMed) e il 5% (DJRE5%) e il 95% (DJRE95%) dei circa 700 DJRE. Gli autori

considerano la DJRE come misura di CK. Questo parametro è stato probabilmente influenzato dalle afferenze visive, propriocettive e vestibolari.
I parametri sono stati studiati per gli effetti riguardo al genere e all'età e a tal fine, i soggetti sono stati divisi in tre categorie di età: 18-29 anni = categoria di età I (n = 38), 30-45 anni di età = categoria di età II (n = 9), e 46-64 = categoria di età III (n = 10).
L'affidabilità intrasessione è stata descritta confrontando i valori ai tempi T0 e T1, e l'affidabilità intersessione è stata descritta confrontando i tempi T0 e T2.
Nessun soggetto ha avuto inconvenienti. Le medie della SJREMed,% DJREMed ,DJRE5 e
DJRE95% di tutti i soggetti non differiva significativamente tra T0, T1 e T2. Non è stato trovato nessuno effetto dovuto al genere o all'età sulla SJRE e DJRE. L'affidabilità del test statico è stata superiore a quella della prova dinamica. La differenza intratest nel test statico era 0,16° mentre la differenza intertest era 0,47°. La differenza intratest nel test dinamico era 0,42° mentre la differenza intertest era 0,37° Le piccole differenze interindividuali nella prova dinamica potrebbero essere utili nel confronto tra individui sani e individui con disturbi del rachide cervicale.

Lo studio di **Jull** ha comparato gli effetti di un protocollo riabilitativo basato su un allenamento propriocettivo convenzionale e un protocollo basato su esercizi di flessione cranio cervicale sul JPE in soggetti con dolore cervicale persistente. L'obiettivo era di valutare se un training propriocettivo sia più efficace nel migliorare l'abilità propriocettiva rispetto ad un altro tipo di training che ha dimostrato di essere efficace nel ridurre il dolore al collo. In pazienti con dolore al collo è stato riscontrato un JPE anomalo e queste alterazioni del controllo posturale sono stati attribuite ad alterazioni nelle afferenze cervicali. Sessantaquattro soggetti di sesso femminile con una storia di dolore cronico al collo di origine idiopatica (n = 39) o traumatica (n = 25), di durata superiore a 3 mesi con JPS alterato. Un deficit JPE doveva essere presente in due su di tre dell direzioni di movimento. I pazienti inseriti nel training propriocettivo hanno seguito un allenamento basato su quello descritto da Revel e colleghi costituito da 19 esercizi inclusi la pratica del riposizionamento della testa, inseguimento dello sguardo, esercizi di coordinazione testa - occhi.
L'allenamento a basso carico dei muscoli flessori cranio cervicali ha seguito il protocollo descritto da Jull et al. L'obiettivo era l'allenamento dei flessori profondi della

regione cervicale superiore piuttosto che i flessori superficiali. L'indicazione era quindi di flettere il collo ma non la testa. Al paziente veniva chiesto di eseguire e mantenere progressivamente C-CF maggiori, cercando di mantenere i flessori superficiali rilassati. Ai pazienti è stato prima insegnato come eseguire un movimento lento e controllato di C-CF. I soggetti avevano un feedback costituito dallo Stabilizer tro il collo che consentiva di verificare la C-CF.

Il JPE è stato valutato utilizzando il metodo descritto da Revel et al.3 e cioè è stata valutata la capacità del soggetto di riportare la testa in posizione neutra dopo i principali movimenti attivi del collo in rotazione a destra e a sinistra ed estensione. Il movimento della testa è stata misurata con il sistema di monitoraggio 3d Fastrak.

I risultati di questo studio dimostrano che sia un protocollo convenzionale di allenamento propriocettivo che un programma di allenamento dei muscoli flessori craniocervicali porta ad un miglioramento del JPE, dopo un periodo di allenamento di 6 settimane. Il miglioramento in JPE è stata simile tra i due gruppi per le direzioni di rotazione sinistra ed estensione.

Sebbene entrambi i tipi di allenamento hanno migliorato il JPE in rotazione destra, il protocollo di allenamento propriocettivo ha dato un beneficio più grande rispetto all'allenamento di C-CF. Inoltre, la differenza tra il JPE iniziale e il JPE per tutte e tre le direzioni di movimento che seguiva l'allenamento era maggiore nei soggetti che hanno seguito l'allenamento propriocettivo.

5. DISCUSSIONE

In base ai risultati emersi in questa revisione sistematica, si evince che in letteratura sono presenti scarse evidenze sulla valutazione del JPE mediante strumenti di RV.
Dallo studio di Hilla Sarig-Bahat emerge come in soggetti asintomatici l'affidabilità intra ed interesaminatore è maggiore nella valutazione basata sulla RV rispetto alla valutazione convenzionale e che una singola seduta di RV si è dimostrata essere sufficiente per incrementare la mobilità cervicale, soprattutto nella rotazione. Da ciò si deduce che sicuramente la valutazione della motilità e dell'abilità di riposizionamento della testa tramite apparecchiature di realtà virtuale ha un alto grado di ripetibilità inter ed intraesaminatore. Inoltre lo studio di Hiil dimostra come un solo metodo di misurazione del riposizionamento non è sufficiente da solo per individuare o definire differenze tra un gruppo di controllo e un gruppo di soggetti con WAD. I risultati suggeriscono invece come, probabilmente, la combinazione dell'errore assoluto e dell'errore costante siano la più affidabile misura per l'analisi del riposizionamento nella valutazione di soggetti con wiphlash.
Appare evidente dallo studio di Kristjansson come la valutazione del ROM cervicale tramite strumenti di motion tracking elettromagnetico è in grado di discriminare tra soggetti con WAD cronica di grado I e II da soggetti asintomatici. Dallo studio di Swait emerge che per la maggior parte dei soggetti è possibile ottenere una stima sulle performance prpriocettive cervicali che abbia un'elevata accuratezza e precisione quando vengono eseguiti 6 o più trials. Inoltre il test del JPE cervicale e il test per la kinestesia cervicale non possono essere misure comparabili del contributo propriocettivo al controllo del capo.
Per quanto concerne il trattamento delle alterazioni propriocettive cervicali, i risultati dello studio di Jull dimostrano che sia un protocollo convenzionale di allenamento propriocettivo che un programma di allenamento dei muscoli flessori craniocervicali porta ad un miglioramento del JPE, dopo un periodo di allenamento di 6 settimane. Il miglioramento
in JPE è stata simile tra i due gruppi per le direzioni di rotazione sinistra ed estensione.
Sebbene entrambi i tipi di allenamento hanno migliorato il JPE in rotazione destra, il protocollo di allenamento propriocettivo ha dato un beneficio più grande rispetto all'allenamento di C-CF. Inoltre, la differenza tra il JPE iniziale e il JPE per tutte e tre

le direzioni di movimento che seguiva l'allenamento era maggiore nei soggetti che hanno seguito l'allenamento propriocettivo.

La realtà virtuale consente di calibrare la difficoltà delle attività proposte sulla base delle reali capacità e potenzialità della persona presa in carico. Rende inoltre possibile misurare e monitorare costantemente le prestazioni e di fornire un ampio range di feedback.

Il feedback visivo, insieme a quello acustico, è il più utilizzato.

La realtà virtuale è una tecnologia relativamente recente il cui utilizzo si sta rivelando potenzialmente molto promettente negli interventi a favore di persone con disabilità motoria.
Nei percorsi di fisioterapia così come in quelli di terapia occupazionale e nell'addestramento all'uso degli ausili si moltiplicano le esperienze di introduzione della realtà virtuale, testimoniate da una ricca produzione scientifica su questo tema.
L'alto grado di motivazione e di coinvolgimento ottenibile attraverso queste tecnologie è ampiamente testimoniato dalla letteratura.

A tutt'oggi non si conoscono però ancora tutti i possibili benefici della VR nella riabilitazione di adulti e bambini con patologie motorie; analogamente non tutte le aree critiche sono state opportunamente evidenziate.

6 BIBLIOGRAFIA

1. Hill R, Jensen P, Baardsen T, Kulvik K, Jull G, Treleaven J.
Head repositioning accuracy to neutral a comparative study of error calculation.
Man Ther. 2009 Feb;14(1):110-4. Epub 2008 May 27.

2. Gwendolen Jull, Deborah Falla, Julia Treleaven, Paul Hodges, Bill Vicenzino
Retraining cervical joint position sense: the effect of two exercise regimes
J Orthop Res. 2007 Mar;25(3):404-12.

3. Kristjansson E, Hardardottir L, Asmundardottir M, Gudmundsson K.
A New Clinical Test for Cervicocephalic Kinesthetic Sensibility: “The Fly”
Arch Phys Med Rehabil. 2004 Mar;85(3):490-5

4. Gabrielle Swait BA,* Alison Beverley Rushton, EdD,† R. Christopher Miall, PhD,†
and David Newell, PhD
Evaluation of cervical proprioceptive function: optimizing protocols and comparison between tests in normal subjects
Spine (Phila Pa 1976). 2007 Nov 15;32(24):E692-701.

5. Hilla Sarig-Bahat, PT, MPhys,* Patrice L. Weiss, PhD, OT,† and Yocheved Laufer, PT, DSc*
Cervical Motion Assessment Using a Virtual Environment
Spine (Phila Pa 1976). 2009 May 1;34(10):1018-24

6. Kramer M, Honold M, Hohl K, Bockholt U, Rettig A, Elbel M, Dehner C.
Reliability of a new virtual reality test to measure cervicocephalic kinaesthesia
J Electromyogr Kinesiol. 2009 Oct;19(5):e353-61. Epub 2008 Aug 5.

7. Adrian Lindsay Morphett,a Colin M. Crawford, BappSc (Chiro),b and Don Leec

The use of electromagnetic tracking technolohy for measurement of passive cervical range of motion: a pilot study
J Manipulative Physiol Ther. 2003 Mar-Apr;26(3):152-9

8. Assink N, Bergman GJ, Knoester B, Winters JC, Dijkstra PU.
Assessment of the cervical range of motion over time, differences between results of the Flock of Birds and the EDI-320: a comparison between an electromagnetic tracking system and an electronic inclinometer.
Man Ther. 2008 Oct;13(5):450-5. Epub 2007 Aug 2

9. Koerhuis CL, Winters JC, van der Helm FC, Hof AL.

Neck mobility measurement by means of the 'Flock of Birds' electromagnetic tracking system.

Clin Biomech (Bristol, Avon). 2003 Jan;18(1):14-8.

10. Assink N, Bergman GJ, Knoester B, Winters JC, Dijkstra PU, Postema K.

Interobserver reliability of neck-mobility measurement by means of the flock-of-birds electromagnetic tracking system.

J Manipulative Physiol Ther. 2005 Jul-Aug;28(6):408-13.

11. Jordan K, Dziedzic K, Jones PW, Ong BN, Dawes PT.

The reliability of the three-dimensional FASTRAK measurement system in measuring cervical spine and shoulder range of motion in healthy subjects.

Rheumatology (Oxford). 2000 Apr;39(4):382-8.