

**ANTONINO MICHELE PREVITERA**

**Il colpo di frusta cervicale**  
Diagnosi, biomeccanica e trattamento

GRAFICA MA.RO

ANTONINO MICHELE PREVITERA

**Il colpo di frusta cervicale**  
Diagnosi, biomeccanica e trattamento

GRAFICA MA.RO

**Realizzazione**

Grafica MA.RO Editrice S.r.l.  
Strada Vicinale della Pieve, 11  
27010 Copiano (PV)

**Stampa**

Ponzio – Olona Servizi Grafici  
Di Bozzato Claudio  
Strada Vicinale della Pieve, 10  
27010 Copiano (PV)

Finito di stampare nel mese di marzo 2004

© 2004 Grafica MA.RO Editrice S.r.l.

Con il termine di colpo di frusta s'intende una lesione tipica dell'infortunistica stradale determinata da una reazione iperestensoria-iperflessoria del capo, conseguente ad un traumatismo accelerativo e caratterizzata da una sintomatologia occipito-cervico-brachiale sostenuta da lesioni muscolo-legamentose e disco-articolari del collo e/o da insufficienza relativa o transitoria dell'arteria vertebrale. In verità, il colpo di frusta identifica non propriamente la lesione, ma piuttosto il meccanismo lesivo. Il termine è, però, talmente entrato nell'uso comune, che in pratica colpo di frusta e distorsione cervicale sono oggi utilizzati come sinonimi.

Questa è la lesione che si verifica con maggiore frequenza negli incidenti stradali. Secondo stime dell'ANIA (Associazione Nazionale imprese Assicuratrici), ogni 100 danni alla persona ci sono ben 66 richieste di risarcimento per colpo di frusta. E' dunque notevole il peso economico e sociale di questa lesione, in termini d'impegno sanitario, economico (costo assicurativo) e sociale (astensione dal lavoro).

Per tali motivi, sul colpo di frusta si concentra l'attenzione di assicurazioni, esperti d'infortunistica stradale, ingegneri, case automobilistiche, medici legali, ma anche di ortopedici, fisiatra, neurologi, otorinolaringoiatri, fisioterapisti, massoterapisti, ecc.

In questo lavoro si propone un approccio razionale al problema, dal punto di vista dell'ortopedico e del fisiatra, basato su una revisione della letteratura internazionale e sull'esperienza personale dell'autore maturata in circa 25 anni di attività presso l'ospedale San Paolo di Milano.

Antonino Michele Previtiera

<u>Introduzione</u> .....	7
<u>Anatomia funzionale del rachide cervicale</u> .....	10
<u>La colonna cinetica</u> .....	13
<u>I muscoli del collo</u> .....	14
<u>Flessori del capo</u> .....	14
<u>Estensori del capo</u> .....	14
<u>Flessori del collo:</u> .....	15
<u>Estensori del collo:</u> .....	15
<u>Legamenti</u> .....	16
<u>Cenni sul sistema nervoso simpatico</u> .....	18
<u>Motilità del rachide cervicale</u> .....	19
<u>Flessione della testa e del collo</u> .....	19
<u>Complesso superiore (Occipite/Atlante/Asse)</u> .....	19
<u>Complesso inferiore</u> .....	19
<u>Estensione della testa e del collo</u> .....	19
<u>Complesso superiore (Occipite/Atlante/Asse)</u> .....	19
<u>Complesso inferiore</u> .....	19
<u>Flessione laterale della testa e del collo</u> .....	20
<u>Complesso superiore</u> .....	20
<u>Complesso Inferiore</u> .....	20
<u>Rotazione</u> .....	20
<u>Complesso superiore</u> .....	20
<u>Protrusione della testa e del collo</u> .....	21
<u>Retrazione della testa e del collo</u> .....	21
<u>Lesioni del rachidee cervicale inferiore</u> .....	22
<u>Traumi in flessione</u> .....	23
<u>Traumi in estensione</u> .....	24
<u>Compressione verticale</u> .....	25
<u>Manifestazioni cliniche</u> .....	26
<u>Cause meccaniche del dolore</u> .....	28
<u>Meccanismo lesivo nel tamponamento automobilistico - Biomeccanica</u> ....	34
<u>Dinamica degli urti</u> .....	38
<u>Diagnosi e classificazione del colpo di frusta</u> .....	47
<u>Trattamento tradizionale</u> .....	51
<u>Fase acuta</u> .....	51
<u>Terapia farmacologica</u> .....	51

<u>Immobilizzazione</u> .....	51
<u>Fase subacuta</u> .....	53
<u>Fisioterapia</u> .....	53
<u>Massoterapia</u> .....	54
<u>Chinesiterapia</u> .....	54
<u>Punti trigger miofasciali</u> .....	58
<u>Linee guida di trattamento</u> .....	62
<u>Conclusioni</u> .....	66
<u>Bibliografia</u> .....	67

## Introduzione

Il termine *colpo di frusta cervicale* è stato usato per la prima volta dall'ortopedico americano H. E. Crowe nel 1928 per descrivere il modo in cui la testa si muove quando è sottoposta a forze improvvise di accelerazione/decelerazione che esercitano sul collo un effetto tipo frusta. Esso è uno degli eventi traumatici statisticamente più frequenti negli incidenti stradali. Si realizza con un meccanismo accelerativo-decelerativo di trasferimento d'energia sul collo che può dar luogo a lesioni dello scheletro o dei tessuti che a loro volta possono dar luogo a varie manifestazioni cliniche denominate Whiplash Associated Disorders.

In Italia le assicurazioni versano ogni anno, per il risarcimento del "colpo di frusta", oltre due milioni di euro, portando il nostro paese al 1° posto nel mondo nell'ambito dei risarcimenti per questa "patologia". Secondo uno studio ACI-ANIA su 100 sinistri per 18 sono richiesti risarcimenti per danni permanenti; percentuale notevolmente più elevata rispetto a Germania (11%), Spagna (10%), Francia (8.7%), Regno Unito (8%). Nel 66% dei sinistri con danni alle persone le lesioni sono ascritte al cosiddetto "colpo di frusta", con lamentate conseguenze d'invalidità permanente nella quasi totalità dei casi. In Germania questo dato è del 40%, in Olanda del 35%, Spagna 15%, Francia 6%, Norvegia 5% e Danimarca 4.8%.

La maggior parte delle lesioni è dovuta ai tamponamenti, che rappresentano il 30% degli incidenti stradali con lesioni ai conducenti nel 61% dei casi, passeggeri nel 30% e pedoni infine nel 9%. Pur essendo il sesso maschile prevalente le donne risultano maggiormente (40%) destinate a lesioni permanenti in ragione del minore sviluppo della massa muscolare del collo. Dall'esame delle certificazioni mediche e dei verbali di Pronto Soccorso si evince spesso una notevole confusione ed inesattezza nell'inquadramento diagnostico del trauma al rachide cervicale. Questo è, infatti, definito indifferentemente come colpo di frusta, cervicalgia da contraccolpo o trauma distorsivo del rachide cervicale, senza un preciso esame obiettivo che possa poi fare la differenza tra i vari quadri clinici. È necessario, invece, distinguere la *cervicalgia post-traumatica da contraccolpo* dalla *cervicalgia post-traumatica*.

Per **cervicalgia post-traumatica** s'intendono tutti i traumi del rachide cervicale conseguenti ad incidenti stradali con coinvolgimento di pedoni, motocicli o ciclomotori e vetture con collisioni frontali e/o laterali in cui

non si verifica la classica iperestensione ed iperflessione del capo. Al contrario la **cervicalgia post-traumatica da contraccolpo** occorre pressoché esclusivamente negli incidenti stradali in cui il conducente della vettura è tamponato.

Nell'ambito della cervicalgia post-traumatica da contraccolpo bisogna poi distinguere la comune **sindrome da colpo di frusta** dalla **distorsione del rachide cervicale** vera e propria, ovvero distorsione grave instabilità vertebrale. Nel colpo di frusta tipico (distorsione benigna) i reperti radiografici sono poveri e non si registrano lesioni fratturative o seriamente dislocative. Il trauma distorsivo propriamente (distorsione grave) detto ha una casistica intorno all'1-2% di tutte le cervicalgie post-traumatiche da contraccolpo con dei requisiti clinici ben definiti e specifici, ovvero deve esserci un'efficienza lesiva importante, i pazienti presentano lesioni alle strutture legamentose del collo documentate attraverso un esame ecografico e una RMN, presenza di vertigini oggettive, spesso accompagnate da ipoacusie, disturbi neurovegetativi e nistagmo, Romberg positivo, frequente positività alle prove vestibolari e dei potenziali evocati, sintomatologia algica di durata superiore a sei mesi ed un esame obiettivo positivo. Il colpo di frusta ricopre il 98% di tutte le cervicalgie post-traumatiche da contraccolpo con sintomatologia algica inferiore a sei mesi, vertigini soggettive, assenza di nistagmo, Romberg negativo, obiettività modesta. Occorre infine distinguere il vero colpo di frusta dalle sindromi da indennizzo che, peraltro, ricorrono frequentemente.

Un gruppo di lavoro canadese (Spitzer et coll., <sup>55</sup>), la Quebec Task Force on Whiplash Associated Disorders, che ha operato sotto l'egida della Société d'Assurance Automobile du Québec (SAAQ), nel 1995, dopo l'analisi di migliaia di casi e la revisione di circa 10000 lavori scientifici, ha pubblicato un rapporto che si prefiggeva di identificare delle linee guida che contribuiscano a migliorare la diagnosi, l'approccio e la cura dei disturbi relativi al colpo di frusta.

La Quebec Task Force ha definito la distorsione cervicale come *un meccanismo accelerativo-decelerativo di trasferimento d'energia a livello del collo, che può derivare da collisioni posteriori o laterali tra veicoli, ma può anche verificarsi per tuffi o altri incidenti; questo trauma può dar luogo a lesioni scheletriche o dei tessuti molli, che possono a loro volta comportare svariate manifestazioni cliniche, denominate Whiplash Associated Disorders (WAD).*

Il rapporto della QTF è certamente d'elevato valore scientifico, tuttavia sono state elevate alcune critiche soprattutto in merito al fatto che le

raccomandazioni erano basate sul consenso che non sull'evidenza, in quanto per la maggior parte erano il risultato del confronto fra pareri di esperti, e che i criteri di selezione adottati per la revisione letteraria non erano ben specificati ed inoltre perché erano stati esclusi dalla revisione tutti i lavori nei quali erano descritte gravi lesioni permanenti.

Nel 1999-2000 la MAA (Motor Accidents Authority, New South Wales, Sydney, AU) ha istituito una nuova commissione che avrebbe dovuto eseguire una revisione della letteratura pubblicata e non dal 1993 al 1999, seguendo la metodologia del National Health and Medical Research Council (NHMRC, Australia) e, quindi, secondo i principi della Evidence Based Medicine. Il rapporto della MAA, pubblicato nel 2001, riprende i principi della QTF e ne introduce dei nuovi (dialogo col paziente come parte integrante del trattamento, al fine di rassicurarlo sul trattamento stesso e sulla prognosi, fattori psicologici e psicosociali da riportare nell'anamnesi ed aggiungere ai fattori prognostici, raccomandazioni per un trattamento riabilitativo precoce).

Come si è già detto, il colpo di frusta è un evento traumatico che spesso non provoca lesioni importanti, radiologicamente apprezzabili, e gli unici rilievi possibili sono la presenza di stati contratturali della muscolatura paravertebrale, l'esistenza di punti dolenti alla pressioni o durante l'arco di movimento, o la manifestazione di sindromi neurovegetative. Le limitazioni articolari, specialmente quelle nel senso delle rotazioni, sostenute per lo più da un riflesso antalgico, completano il quadro sintomatologico di queste affezioni. Dato il carattere invalidante di queste sindromi diventa fondamentale un corretto approccio diagnostico e terapeutico. Infatti, al dolore segue fatalmente la rigidità articolare e si viene così a creare un circolo vizioso che porta alla compromissione anatomo-funzionale delle strutture articolari, legamentose e, soprattutto, muscolari.

Una soddisfacente impostazione del problema terapeutico dipende soprattutto da un'anamnesi accurata e da un esame clinico completo in grado di individuare le cause, la sede d'origine e, soprattutto, il meccanismo del dolore (sofferenze fibro-miositiche, miofascio-periostitiche, articolari, irritazioni radicolari dirette o indirette). Non va trascurata inoltre l'ansia che spesso accompagna questi soggetti. E' un aspetto spesso sottovalutato che però può aggravare sia il dolore che altri vari sintomi, complicando l'interpretazione del quadro clinico e degli stessi effetti del trattamento.

## Anatomia funzionale del rachide cervicale

Il segmento cervicale della colonna vertebrale, in virtù della posizione e dei movimenti che gli sono propri, garantisce al capo sostegno e motilità particolarmente efficaci. La sua dinamica è legata all'interazione di più elementi anatomici che ne condizionano la sua motilità e precisamente il disco, le articolazioni posteriori, l'apparato capsulo-legamentoso ed i gruppi muscolari.

La colonna cervicale è costituita da 7 vertebre disposte in lordosi e la si può considerare come un insieme di unità funzionali sovrapposte ciascuna delle quali è formata da due vertebre adiacenti e dai tessuti interposti. Le prime due unità funzionali: *occipite-atlante* ed *atlante-epistrofeo* si distinguono dalle altre in quanto costituite da segmenti anatomicamente differenti dalle restanti ultime 5 vertebre, per cui meritano un discorso a parte.

Le unità sottostanti a C2 presentano una sezione anteriore di sostegno preposto all'assorbimento del carico e degli urti, ed una sezione posteriore di guida del movimento.

La *parte anteriore* dell'unità funzionale è costituita da due corpi vertebrali separati dal disco intervertebrale. Il disco è la chiave di tutti i movimenti intervertebrali (che sono limitati e diretti dalle articolazioni posteriori), in quanto è un organo fluido-elastico autonomo che assorbe il carico e gli urti, consente la compressione transitoria e, grazie allo spostamento del liquido dell'involucro elastico, rende possibile il gioco articolare e la "distorsione" dell'unità funzionale, condizione essenziale per la motilità dell'intera colonna cervicale. La porzione esterna del disco, cioè l'anulus, è una maglia fibroelastica deformabile fittamente intrecciata che racchiude la matrice gelatinosa del disco stesso. La conformazione di questa maglia è costituita da una successione di strati concentrici con obliquità incrociata allorché si passa da uno strato all'altro, così il nucleo si trova rinchiuso in un alloggio inestensibile, incapsulato nell'anulus e tra le limitanti della vertebra sovrastante e sottostante. Imprigionato nella sua sede, il nucleo ha una grossolana forma sferica che consente uno snodo tra le due vertebre che lo contengono consentendo tre tipi di movimento:

- 1 - movimento d'inclinazione: sul piano sagittale, flessione-estensione, e sul piano frontale, flessione laterale;
- 2 - movimento di rotazione di un piatto vertebrale rispetto ad un altro;
- 3 - movimento di scivolamento o di taglio di un piatto vertebrale

sull'altro.

Tuttavia, l'elasticità del disco è da attribuire all'anulus, non già al nucleo. Il nucleo è un gel incompressibile che determina una pressione interdiscale che forza le vertebre in senso opposto e distende, rendendole più o meno rigide, le fibre dell'anulus. I movimenti nelle varie direzioni sono resi possibili dal fatto che solo una parte delle fibre si rilascia, mentre le altre rimangono tese in modo da impedire la caduta della pressione intradiscale.

Il disco inoltre contribuisce in modo determinante alla tutela degli spazi foraminali; salvaguardando il normale allineamento delle vertebre, protegge da possibili deformazioni il canale vertebrale ed il canale trasversario in cui decorrono i vasi vertebrali ed il nervo vertebrale del simpatico. Mantendendo anteriormente la normale separazione dei corpi vertebrali, garantisce posteriormente il corretto rapporto tra le faccette articolari.

Le strutture della sezione anteriore condizionano sia il meccanismo del movimento, che la stabilità del segmento, sia infine le stesse menomazioni funzionali che possono conseguire ad un trauma.

A livello cervicale le limitanti sono concavo-convexe ed il nucleo ha sede nella parte anteriore del disco. La reciproca configurazione delle limitanti e la posizione del nucleo consentono un movimento "a scivolo" in avanti ed indietro di una vertebra sull'altra. Il disco ha uno spessore maggiore davanti che dietro (di oltre il doppio), per cui la sua sezione sagittale si presenta cuneiforme. Questa conformazione concorre a determinare la curvatura globale del segmento cervicale.

L'anulus appare nettamente più ampio nella parte posteriore, ciò corrisponde all'esigenza di una maggior tenuta del disco a livelli d'importanza vitale, per una più sicura protezione delle radici dei nervi spinali, dei vasi sanguigni e del midollo spinale.

A differenza degli altri segmenti vertebrali, a livello cervicale, tra due corpi vertebrali, si hanno due giunzioni in più situate lungo il margine dorso-laterale delle limitanti vertebrali: le articolazioni uncovertebrali, intersomatiche laterali di von Luschka. Sebbene definite "articolazioni", si tratta in realtà di semplici proiezioni ossee, senza quindi membrana sinoviale e capsula articolare, che si adattano a vicenda; esse costituiscono un ulteriore rinforzo all'azione del legamento longitudinale posteriore e cioè si oppongono all'erniazione del disco costituendo così una sorta di parete protettiva tra l'anulus discale e le strutture decorrenti nel forame vertebrale e trasversario.

La *parte posteriore* dell'unità funzionale è costituita dagli archi (peduncoli e lamine), dai processi trasversi e dai processi spinosi di due vertebre cervicali contigue, nonché dalla coppia di articolazioni posteriori che le pone in reciproca connessione. I processi trasversi e spinosi offrono inserzione ai muscoli ed ai legamenti che presiedono ai movimenti del segmento cervicale e formano un valido "supporto" per il collo ed il capo.

Le articolazioni posteriori sono vere e proprie articolazioni (fornite di cartilagine articolare, membrana sinoviale e capsula articolare) per cui soggette ad alterazioni degenerative di tipo osteoartrosico. Le faccette sono in opposizione, reciprocamente disposte con orientamento ed inclinazione tali da permettere e guidare il movimento delle due vertebre adiacenti (in particolare il movimento di traslazione in senso antero-posteriore maggiore rispetto a quelli nei restanti segmenti vertebrali).

La sovrapposizione di due vertebre, tra corpo vertebrale e massiccio articolare e peduncolo sovrastante e sottostante, determina il forame intervertebrale attraverso il quale il nervo corrispondente alla vertebra sottostante fuoriesce dal canale vertebrale.

E' importante ricordare che tutte le vertebre cervicali, e solo queste, presentano un foro, il foro trasversario, all'altezza di ogni apofisi trasversa per il passaggio dell'arteria e la vena vertebrale.

C1 e C2 sono due vertebre atipiche e come tali presentano caratteristiche anatomo-funzionali completamente differenti dalle restanti cinque vertebre cervicali.

L'*atlante*, mancante del corpo si presenta come un anello più largo in senso trasversale che sagittale; comprende due massicci laterali ovalari a grande asse obliquo in dentro ed in avanti, portanti una faccetta articolare superiore che guarda in alto ed in dentro, concava nei due sensi, articolata con i condili occipitali, e una faccetta articolare inferiore che guarda in basso ed in dentro, convessa nel senso antero-posteriore, ed articolata con la faccetta superiore dell'epistrofeo. L'arco anteriore presenta sulla sua faccia posteriore una faccetta articolare cartilaginea ovalare che si articola con l'apofisi odontoide dell'epistrofe. L'arco posteriore si allarga posteriormente sulla linea mediana dove non esiste un'apofisi spinosa, ma una semplice cresta verticale. Le apofisi trasverse, brevi e tozze, portano un foro per il passaggio dell'arteria vertebrale che traccia una doccia profonda dietro alle masse laterali. Mancano quindi, rispetto alle altre vertebre, le faccette articolari posteriori ed il disco intervertebrale sia tra occipite ed atlante che tra atlante ed epistrofeo; inoltre il primo ed il secondo nervo cervicale non emergono dai fori di coniugazione.

L'articolazione tra occipite e atlante può essere considerata come l'equivalente di una enartrosi cioè una articolazione a superficie sferica provvista di tre assi, e quindi di tre gradi di libertà: rotazione assiale attorno ad un'asse verticale, flessione-estensione intorno ad un asse trasversale ed inclinazione laterale intorno ad un asse antero-posteriore.

L'*epistrofeo* è formato da un corpo vertebrale dalla cui faccia superiore, al centro, prende origine l'apofisi odontoide o dente dell'epistrofeo che serve da perno all'articolazione atlo-ossoidea e si articola con l'arco anteriore dell'atlante. In questa faccia superiore si trovano anche due faccette articolari che debordano lateralmente al di fuori del corpo vertebrale: guardano in alto ed in fuori, sono convesse nel senso antero-posteriore e piane in quello trasverso, per potersi articolare con le faccette articolari inferiori dell'atlante. L'arco posteriore è formato da due lamine con al centro un processo spinoso corto e bifido; le apofisi spinose si allungano progressivamente nelle vertebre successive: la settima vertebra cervicale viene detta vertebra prominente in quanto il suo processo spinoso si fa particolarmente sporgente alla base del collo.

Tra atlante ed epistrofeo vi sono tre articolazioni: due articolazioni laterali che mettono in rapporto la faccia inferiore delle masse laterali dell'atlante con le superfici articolari superiori dell'epistrofeo, ed una articolazione assiale tra l'apofisi odontoide e l'arco anteriore di C1, nella quale l'apofisi odontoide funge da centro di rotazione in quanto rappresenta la superficie cilindrica di una articolazione definita ginglimo trocoide mentre l'arco anteriore dell'atlante il cilindro cavo.

### **La colonna cinetica**

Il rachide cervicale compie i movimenti necessari alla funzione di sostegno del capo ed all'utilizzo degli organi sensoriali cefalici. Il movimento del collo intero risulta dalla combinazione di tutta una serie di movimenti segmentari, più o meno differenziati. Tutte le unità cervicali si muovono in sincronia, ma la direzione e l'ampiezza del movimento variano ai diversi livelli. La massima mobilità, sia per varietà di posizioni che per ampiezza, compete alla parte superiore della colonna cervicale, fra l'occipite e C3. La flessione, l'estensione, l'inclinazione laterale e la rotazione del capo dipendono prevalentemente dalle articolazioni atlanto-occipitali ed atlanto-epistrofica. Sotto l'epistrofeo, l'ampiezza delle escursioni varia soprattutto in base allo stato dei legamenti e dalla distorsibilità dei dischi intervertebrali.

Tra occipite e atlante l'ampiezza totale della flessione-estensione è di circa 15°; di tutto il segmento cervicale superiore invece è di circa 30°. Per quanto riguarda invece il segmento cervicale inferiore l'ampiezza totale è invece di circa 100°-110°. L'ampiezza totale dell'inclinazione è approssimativamente di 45° tra i quali 8° sono dati dall'articolazione atlanto-occipitale. La rotazione totale della testa è di 80°-90°. Di questo movimento si possono attribuire 12° all'articolazione occipito-atlantoidea e 12° all'articolazione atlanto-assoidea.

### **I muscoli del collo**

Dal punto di vista funzionale i muscoli di questa regione anatomica possono essere distinti in:

#### **Flessori del capo**

*Piccolo retto anteriore:* flette a livello dell'articolazione occipito-temporale, ha una direzione obliqua in basso ed in fuori; se agisce unilateralmente provoca una flessione, rotazione, inclinazione dallo stesso lato della contrazione.

*Grande retto anteriore:* oltre a flettere determina un appiattimento della lordosi cervicale; se agisce omolateralmente flette ed inclina lateralmente dallo stesso lato della contrazione.

*Piccolo retto laterale:* agisce sempre a livello occipite-C1, se agisce singolarmente determina una leggera inclinazione laterale dalla stessa parte.

#### **Estensori del capo**

Sono quattro corti e robusti muscoli definiti anche muscoli sottoccipitali, che vanno dalla base del cranio a C1 e C2.

*Grande retto posteriore:* dal processo spinoso di C2 alla linea nucale inferiore.

*Piccolo retto posteriore:* più mediale rispetto il precedente va dal tubercolo posteriore di C1 alla parte mediale della linea nucale inferiore.

*Obliquo inferiore:* dal processo spinoso di C2 a quello trasverso di C1.

*Obliquo superiore:* dal processo trasverso di C1 a sopra la linea nucale inferiore, lateralmente.

*Splenio del capo:* dalla linea nucale inferiore e dal processo mastoideo ai processi trasversi delle prime cinque vertebre toraciche.

*Semispinale del capo:* dai processi trasversi di C7 fino a T6, T7 alla porzione inferiore dell'osso occipitale.

#### **Flessori del collo:**

*Sternocleidomastoideo:* la contrazione unilaterale determina un triplice movimento, rotazione della testa dalla parte opposta della contrazione, inclinazione e flessione dalla stessa parte della contrazione.

*Scaleno medio e anteriore:* tesi sulla faccia antero-laterale del rachide cervicale originano dai processi trasversi delle vertebre cervicali e si inseriscono sulle prime due coste.

*Lungo del collo:* dall'arco anteriore dell'atlante a T3, anteriormente al rachide. Unilateralmente flette ed inclina dalla stessa parte della contrazione, bilateralmente invece determina, oltre alla flessione, l'appiattimento della lordosi cervicale.

#### **Estensori del collo:**

*Splenio del collo:* dai tubercoli posteriori di C2 e C3 si va ad inserire sui processi spinosi delle prime vertebre toraciche.

*Trapezio:* quando lavora unilateralmente determina l'estensione e l'inclinazione omolaterale e una rotazione opposta.

In sintesi l'asse cervico-cefalico è stabilizzato e mobilizzato da un ricco dispositivo muscolare la cui fisiologia può essere schematizzata in tre livelli funzionali:

- adattamento dinamico multidirezionale delle differenti unità contrattili per aggiustare la motilità in tutti i piani con un massimo d'economia articolare. Si può sottolineare la necessaria partecipazione del piano atlanto-odontoideo ai movimenti di rotazione per limitare la "torsione" del rachide cervicale inferiore;

- aggiustamento del tono posturale grazie ai circuiti sensitivo-motori nei quali intervengono principalmente dei punti di riferimento visivi e proprioceettivi;

- capacità di mantenere una contrazione statica prolungata, quindi di possedere delle proprietà di potenza e resistenza.

## Legamenti

*Legamenti cranio-cervicali superficiali:* uniscono il cranio all'atlante ed all'epistrofeo consentono ampi e sicuri movimenti alla testa ed un'ulteriore sicurezza è fornita dall'azione legamentosa dei muscoli circostanti.

*Membrana atlanto-occipitale anteriore:* è una lamina fibroelastica, spessa e resistente, che si estende dal margine anteriore del foro occipitale ed il margine superiore dell'arco anteriore dell'atlante. Lateralmente essa si continua con le capsule articolari delle articolazioni atlanto-occipitali. A livello della linea mediana, essa appare rinforzata dalla continuazione verso l'alto del legamento longitudinale anteriore.

*Membrana atlanto-occipitale posteriore:* è più larga e più spessa di quella anteriore e connette il margine posteriore del foro occipitale con il margine superiore dell'arco posteriore dell'atlante. In entrambi i lati essa passa a ponte sopra il solco per l'arteria vertebrale, lasciando così un'apertura per la fuoriuscita verso l'alto dell'arteria e per il passaggio verso il basso del primo nervo cervicale.

*Capsule articolari:* circondano l'articolazione tra i condili dell'osso occipitale e le faccette articolari superiori dell'atlante. Sono piuttosto lasse permettendo così i movimenti di rotazione della testa, sono sottili medialmente, mentre lateralmente sono ispessite e formano i legamenti atlanto-occipitali laterali che limitano l'inclinazione laterale della testa.

*Legamento longitudinale anteriore:* si estende dalla base del cranio al sacro. La sua porzione più alta rinforza la membrana atlanto-occipitale anteriore lungo la linea mediana. La parte posta fra il tubercolo anteriore dell'atlante ed il rilievo mediano anteriore dell'epistrofeo può presentare delle espansioni laterali: i *legamenti atlanto-epistrotfici*.

*Legamento nucale:* spessa membrana fibroelastica che si stende dalla protuberanza e dalla cresta occipitale esterna fino al tubercolo posteriore dell'atlante e ai processi spinosi di tutte le altre vertebre cervicali. Esso fornisce una superficie d'attacco ai muscoli e forma, lungo la linea mediana, un setto tra i muscoli cervicali posteriori.

*Legamenti gialli:* contengono un'elevata quantità di fibre elastiche gialle e connettono le lamine delle vertebre adiacenti. Sono presenti fra l'arco posteriore dell'atlante e le lamine dell'epistrofeo, mentre sono assenti tra atlante e cranio.

*Legamenti cranio-cervicali profondi:* posti sulla faccia posteriore dei corpi vertebrali contribuiscono ad aumentare la resistenza della regione

cranio-cervicale; alcuni poi sono specificatamente deputati a limitare movimenti eccessivi.

*Membrana tectoria:* larga e resistente si estende all'interno del canale vertebrale. Essa prolunga superiormente il legamento longitudinale posteriore dalla faccia posteriore del corpo dell'epistrofeo al margine anteriore e antero-laterale del foro occipitale, dove si fonde con la dura madre. La membrana ricopre il dente dell'epistrofeo ed i suoi legamenti e fornisce un'ulteriore protezione al punto in cui il midollo allungato si continua con il midollo spinale.

*Legamento trasverso dell'atlante:* è un robusto fascio che decorre orizzontalmente dietro il dente dell'epistrofeo e si attacca su ciascun lato ad un tubercolo sul contorno mediale della massa laterale dell'atlante. Dalla sua parte media alcuni fascetti si portano verticalmente sia verso l'alto che verso il basso per fissarsi rispettivamente sulla parte basilare dell'osso occipitale, tra la membrana tectoria ed il legamento apicale del dente, e sulla faccia posteriore del corpo dell'epistrofeo: essi sono i *fascicoli longitudinali superiore ed inferiore*. Il legamento trasverso ed i due fascicoli longitudinali uniti formano il *legamento crociato*.

*Legamento apicale del dente:* sottile tratto che collega l'apice del dente dell'epistrofeo alla parte media inferiore del foro occipitale, decorrendo tra la membrana atlanto-occipitale anteriore e l'espansione superiore del legamento crociato.

*Legamenti alari:* due fasci fibrosi che si estendono verso l'alto e lateralmente, dai contorni supero-laterali del dente dell'epistrofeo alle facce mediali dei condili dell'osso occipitale. Essi impediscono un'eccessiva rotazione a livello dell'articolazione atlanto-occipitale mediana.

*Legamento accessorio:* si estende dalla base del dente alla massa laterale dell'atlante in stretta prossimità dell'inserzione del legamento trasverso dell'atlante. Esso coordina i legamenti alari nel limitare la rotazione atlanto-epistrotfica.

*Legamenti interspinosi:* uniscono le apofisi spinose tra loro, prolungamenti del *legamento sovraspinoso* che dà inserzione con le sue due facce al trapezio e allo splenio.

*Legamenti intertrasversari:* collegano tra loro le apofisi trasverse col loro tubercolo anteriore e posteriore.

## **Cenni sul sistema nervoso simpatico**

A livello del segmento cervicale la catena dell'ortosimpatico comprende tre gangli:

- *ganglio cervicale superiore*, posto anteriormente ai processi trasversi della seconda e terza vertebra cervicale;
- *ganglio cervicale medio*, davanti al processo trasverso C5;
- *ganglio cervicale inferiore*, spesso fuso con il primo toracico a formare il *ganglio stellato* davanti al processo trasverso di C7.

I rami principali dei tre gangli sono diretti ai vasi (rami vascolari) e ai visceri del collo e della testa (rami viscerali). Tra i rami più significativi ricordiamo:

- *nervo carotideo interno*, che origina dal ganglio cervicale superiore e forma plessi lungo il decorso dell'arteria carotidea interna e dei suoi rami intracranici;

- rami che decorrono collateralmente al VII nervo cranico destinati al cavo timpanico, al III, IV, V, VI nervo destinati ai muscoli intrinseci dell'occhio (muscolo dilatatore della pupilla: le fibre ortosimpatiche determinano la midriasi), alla ghiandola lacrimale e alle ghiandole salivari;

- dal ganglio cervicale superiore, i *nervi carotidei esterni* che formano plessi intorno all'arteria carotidea esterna ed ai suoi rami;

- i nervi del *plesso succlavio*, dal ganglio superiore inferiore destinati all'arteria succlavia ed ai suoi collaterali tra cui l'arteria vertebrale sia extra che intracranica;

- rami viscerali dal ganglio cervicale medio, destinati a faringe, laringe ed esofago;

- rami per il polmone dal ganglio cervicale inferiore;

- rami che partecipano alla formazione del plesso cardiaco, da tutti e tre i gangli partono.

Il sistema nervoso ortosimpatico accelera il battito cardiaco e stimola la secrezione mucosa delle ghiandole salivari miste. E' un sistema "ergotropo", cioè stimolante le funzioni e lo sviluppo di energia. Questo sistema è attivo soprattutto negli stati di difesa o d'emergenza (stress) e determina tachicardia, ipertensione, midriasi, broncodilatazione, iperglicemia, vasodilatazione: situazioni indicative di un organismo sottoposto ad una violenta stimolazione.

## **Motilità del rachide cervicale**

### ***Flessione della testa e del collo***

#### **Complesso superiore (Occipite/Atlante/Asse)**

I condili dell'occipite slittano posteriormente sulla superficie articolare superiore dell'atlante. C'è un aumento nello spazio tra l'occipite e l'arco posteriore dell'atlante.

#### **Complesso inferiore**

Le capsule delle articolazioni apofisarie si stirano, mentre i processi articolari inferiori della vertebra superiori slittano in alto ed in avanti sulle superfici articolari superiori delle vertebre inferiori. Il carico anteriore sui dischi intervertebrali causa un rilassamento dell'anulus anteriore e del legamento longitudinale anteriore, ed un aumento della pressione interdiscale.

Il legamento longitudinale posteriore e l'anulus sono stirati, come anche il midollo, la dura e le radici dei nervi spinali. I contenuti del nucleo sono deformati, e c'è un movimento netto in senso posteriore, i volumi dei forami intervertebrali aumentano. La lordosi è appiattita ed il legamento nucale è stirato, ed in alcuni soggetti può essere il fattore che maggiormente limita la flessione.

### ***Estensione della testa e del collo***

#### **Complesso superiore (Occipite/Atlante/Asse)**

I condili dell'occipite scivolano anteriormente sulla superficie articolare superiore dell'atlante. C'è una diminuzione dello spazio tra l'occipite e l'arco posteriore dell'atlante. Le articolazioni apofisarie tra l'atlante e l'asse sono biconvesse, e le superfici dell'atlante slittano posteriormente sulle superfici dell'asse.

#### **Complesso inferiore**

Le articolazioni apofisarie si accostano, quando i processi articolari

inferiori delle vertebre superiori scivolano inferiormente e posteriormente sulle superfici articolari superiori delle vertebre inferiori. C'è un carico posteriore dei dischi intervertebrali, che causa rilassamento dell'anulus posteriore e del legamento posteriore, ed una diminuzione della pressione interdiscale. I legamenti anteriori e l'anulus sono stirati. La tensione si riduce a livello del midollo, dalla dura e dalle radici dei nervi spinali. I contenuti del nucleo sono deformati e c'è un movimento netto in senso anteriore. Si riducono i volumi dei forami intervertebrali.

### ***Flessione laterale della testa e del collo***

#### **Complesso superiore**

I condili dell'occipite scivolano controlateralmente sulle superfici articolari superiori dell'atlante.

#### **Complesso Inferiore**

C'è estensione delle articolazioni apofisarie omolaterali e flessione delle articolazioni apofisarie controlaterali. L'anulus postero/laterale omolaterale è rilassato o compresso, e l'anulus controlaterale è stirato. Probabilmente c'è qualche grado di traslazione orizzontale del corpo vertebrale superiore rispetto al corpo inferiore. Il contenuto del nucleo sarà alterato producendo un movimento netto in senso controlaterale al movimento. Le radici dei nervi spinali omolaterali ed il plesso branchiale sono rilassati, ed i volumi dei forami intervertebrali omolaterali sono diminuiti. Le radici dei nervi spinali controlaterali ed il plesso branchiale sono stirati ed i volumi dei forami sono aumentati.

### ***Rotazione***

#### **Complesso superiore**

L'atlante ruota sull'asse intorno ad un asse verticale corrispondente al processo odontoideo. Il 50% di tutta la rotazione cervicale avviene all'articolazione atlanto-assiale, ed è l'unica rotazione pura. In piena rotazione avviene un accostamento di 2-5 mm dell'atlante verso l'asse,

dovuto alla biconvessità delle superfici delle articolazioni apofisarie atlanto-assiale. L'arteria vertebrale controlaterale è attorcigliata in rotazione nel punto in cui passa nel forame trasversale dell'asse. I movimenti nella rotazione sono gli stessi della flessione laterale. Il piano di movimento va da una direzione antero-superiore ad una postero-inferiore.

### ***Protrusione della testa e del collo***

Questa posizione comunemente assunta consiste nell'estensione del complesso superiore e nella flessione del complesso inferiore. Quando i movimenti di estensione, rotazione o flessione laterale partono da questa posizione hanno un effetto completamente diverso rispetto a quelli iniziati dalla posizione retratta.

### ***Retrazione della testa e del collo***

E' chiaro che in questa posizione di retrazione massimale, il complesso superiore è in flessione, mentre il complesso inferiore è in estensione. I movimenti di prova per l'estensione, la rotazione e la flessione devono iniziare da questa posizione.

## Lesioni del rachidee cervicale inferiore

Per *distorsione* s'intende l'insieme delle lesioni capsulo-legamentose, per lo più incomplete, che s'instaurano in seguito ad un'azione traumatica che ipersolleciti il distretto articolare in modo tale da determinare un'escursione articolare abnorme, superiore ai limiti fisiologici. L'azione traumatica è per lo più indiretta piuttosto che diretta, può estrinsecarsi secondo il verso delle normali escursioni articolari, ma può anche determinare movimenti articolari "normali" secondo piani non fisiologici: è in ogni caso presente il momentaneo allontanamento dei capi articolari.

Nelle distorsioni lievi il danno articolare può limitarsi alla sola contusione della capsula e della sinovia, nelle forme più gravi si possono verificare delle lacerazioni capsulari, nonché delle lesioni legamentose. Queste ultime si distinguono in:

- *Distensione*: i legamenti sono stirati, ma non oltre il loro punto di rottura, la stabilità articolare è mantenuta.

- *Distrazione*: sono presenti lacerazioni parziali, che non interrompono la continuità delle strutture legamentose, ma ne riducono l'efficienza stabilizzatrice.

- *Rotture*: la funzione stabilizzatrice è completamente compromessa (la soluzione di continuo è totale). La rottura si può verificare nel corpo del legamento o in corrispondenza delle sue inserzioni ossee, in tal caso si parla di disinserzione, a volte accompagnata dall'avulsione di una brattea ossea.

Clinicamente una distorsione si manifesta con:

- Intenso dolore spontaneo, esacerbato dall'escursione articolare.

- Spiccata dolorabilità delle strutture legamentose colpite.

- Tumefazione articolare, spesso si ha versamento articolare sieroso (*idrartrite*) a lenta formazione o ematico (*emartro*) a rapida formazione, molto dolente.

- Ecchimosi, incostante, che, in genere, si manifesta con un certo ritardo dal trauma.

- Instabilità articolare, verificabile con determinate manovre semeiologiche.

- Impotenza funzionale.

Sono descritte complicazioni come:

- Calcificazioni periarticolari per metaplasia ossea.

- Amiotrofia: precoce, per un meccanismo riflesso, o tardiva da non uso.

- Lassità legamentosa inveterata: tipica delle lesioni non trattate adeguatamente.

- Rigidità articolare: per metaplasia fibrosa e retrazione delle parti molli.

In un soggetto traumatizzato in un tamponamento automobilistico o in altri incidenti che comportino lo stesso tipo di lesione, la gravità e l'estensione dell'effetto traumatico sui tessuti dipendono dalla forza d'urto, dall'esatta posizione del capo al momento dell'impatto, dal fatto che il soggetto abbia previsto o meno l'imminente trauma (per cui la muscolatura è più o meno "preparata" a sopportarlo) ed, infine, dallo stato di tutti i tessuti cervicali. I legamenti ed i tessuti capsulari del segmento cervicale consentono al collo escursioni massime che impegnano l'articolazione "al limite della lussazione", ma nel caso che questo limite sia superato si può realizzare una lesione più o meno importante.

Nella colonna normale durante le sue escursioni articolari, anche massime, il grado di restringimento dei forami di coniugazione non è tale da implicare la compressione di alcuna delle formazioni che essi ospitano. Se il capo è rivolto in avanti le dimensioni dei forami vertebrali sono massime ed identiche da ambo i lati, mentre se il capo è ruotato e/o flesso lateralmente, risultano ridotti dal lato verso il quale è avvenuto il movimento. Ciò premesso, è evidente che una qualsiasi deviazione laterale delle vertebre rispetto alla direzione della forza d'impatto, comporterà il sommarsi degli effetti della latero-flessione e della rotazione e quelli della flessione-estensione con conseguenze notevolmente più gravi. Infatti, non solo risulterà più marcata la costrizione dei forami, ma si avrà un più violento effetto di torsione sulle faccette, sulle relative capsule e sui legamenti.

## Traumi in flessione

Tipici degli incidenti automobilistici frontali: collisione frontale con ostacoli immobili o con veicoli procedenti in senso contrario. Il capo del guidatore o dei passeggeri è violentemente proiettato in avanti per inerzia. Il collo viene perciò iperflesso.

Un'altra lesione simile in flessione può derivare dalla caduta all'indietro sul dorso o sul capo (trauma diretto alla testa o al collo in posizione già flessa).

Le lesioni flessorie sono il risultato della simultanea compressione della colonna anteriore, cioè corpi vertebrali e dischi intervertebrali, e

distrazione della colonna posteriore del rachide cervicale. Gli insulti di questo genere possono interessare puramente i tessuti molli, il tessuto scheletrico o entrambi.

I traumi minori in flessione accadono quando la colonna è per lo più in posizione neutra e viene proiettata in avanti dal vettore di forza. In questo modo la flessione pura e semplice raramente provoca la rottura delle strutture legamentose posteriori (legamento longitudinale posteriore, interspinoso, sovraspinoso), in quanto il mento trova un ostacolo all'iperflessione nel giugulo. Questa, però, risulta possibile quando è presente una componente rotatoria della testa, o quando il vettore di forza non giace proprio sul piano sagittale ma è leggermente inclinato rispetto ad esso. In questo caso, la rottura del complesso legamentoso posteriore comporterà una sublussazione o, ancor più grave, una lussazione del segmento cervicale.

La *sublussazione anteriore* è caratterizzata, in proiezione laterale, da un'ipercifosi all'altezza del segmento dislocato cioè a livello dell'interruzione legamentosa. Questa situazione ha un'incidenza dal 30% al 50% di "instabilità ritardata" conseguente alla mancata cicatrizzazione legamentosa.

La *lussazione bilaterale anteriore* può avvenire in ogni punto del segmento cervicale inferiore. Con l'iperflessione, tutte le strutture capsulo-legamentose a livello dell'insulto sono lese permettendo lo spostamento anteriore della vertebra coinvolta al punto che i massicci articolari della vertebra dislocata passano superiormente e anteriormente ai massicci articolari sottostanti andandosi a collocare nella porzione inferiore del corrispondente forame intervertebrale.

Nella flessione il canale vertebrale si allunga e la lunghezza della sua parte posteriore eccede quella della parte anteriore. I forami vertebrali invece si allargano, e le radici si tendono insieme alla guaina durale.

### **Traumi in estensione**

E' il tipico caso dell'auto ferma o in movimento, tamponata da tergo da un veicolo che si muove velocemente. L'auto è spinta bruscamente in avanti e la testa del guidatore o dei passeggeri è violentemente proiettata all'indietro determinando un'improvvisa e fortissima iperestensione. La flessione di rimbalzo è meno intensa. Le lesioni si osservano a carico delle strutture anteriori e laterali del collo durante la fase d'estensione anche se in

seguito si genereranno contratture antalgiche posteriori cervico-toraciche. E' questa la comune lesione da "colpo di frusta".

Una condizione di trauma diretto in estensione occorre quando, un individuo, spesso anziano o bambino, cade in avanti e picchia il mento o la faccia al suolo, o su un rialzo, come potrebbe essere un sasso, un muretto o la vasca da bagno, causando un'iperestensione forzata e una spinta all'indietro del collo.

Queste lesioni sono il risultato di una pura, o predominante, forza posteriore sul dorso o anteriore alla mandibola, alla fronte, alla faccia, o il risultato di un'improvvisa accelerazione. L'impatto della forza guida la testa o il segmento cervicale superiore in iperestensione e la colonna anteriore del rachide ruota verso l'alto e indietro reciprocamente, comprimendo la colonna posteriore che funge da fulcro. Si ha di conseguenza la rotazione e la traslazione posteriore del segmento colpito. Con la persistenza della forza, il legamento longitudinale anteriore si rompe e il disco si stacca dal piatto inferiore del corpo vertebrale dislocato. Negli incidenti d'auto la dislocazione anteriore è una lesione poco conosciuta tra gli insulti iperestensori perché, sebbene la dislocazione avvenga al momento dell'insulto, essa si riduce spontaneamente in seguito alla dissipazione della forza lesiva e alla flessione conseguente. Risulta così una situazione paradossa, in quanto la dislocazione non è visibile radiologicamente.

### **Compressione verticale**

E' il caso di tuffi, surf, sport da contatto (lotta, karate, ecc.), incidenti automobilistici o caduta all'indietro da un rialzo elevato quando il corpo viene proiettato fuori dall'abitacolo e, come primo impatto, si ha la collisione del capo con il suolo.

Nel caso specifico dei tuffi le lesioni cervicali sono causate sia dalla compressione della testa che colpisce il fondo, che dal momento inerziale del corpo. Entrambi tendono a comprimere e flettere il tratto cervicale. Dagli studi emerge che il tratto cervicale C4-C6 è quello maggiormente interessato in questo tipo di traumatismo. Vari autori hanno identificato la compressione assiale o verticale come la maggior componente nel determinismo della lesione durante molte delle attività sportive da contatto. Durante il tuffo, una lieve posizione flessoria della colonna cervicale corregge la fisiologica lordosi cervicale in un segmento dritto. In questo modo un impatto diretto al vertice del cranio trasmette la forza alla colonna

cervicale che, congiuntamente al vettore continuato del corpo, tende a produrre una flessione forzata. Forze biomeccanicamente simili tendono a riprodurre simili lesioni, variabili solo a seconda dell'intensità della forza.

La compressione verticale e la flessione-distrazione sono i meccanismi implicabili nella lesione da tuffo. (Le forze richieste a produrre un cedimento in compressione assiale sono maggiori di quelle necessarie per la flessione-estensione). Tant'è che possiamo, in questo caso, avere, con forze progressivamente maggiori: da forze compressivo-flessorie distorsioni, fratture a cuneo o fratture a goccia di lacrima; da forze flessione-distorsive distorsioni, lussazioni unilaterali o bilaterali.

### **Manifestazioni cliniche**

Tra i possibili sintomi delle lesioni distorsive cervicali i meno chiari sono quelli riferibili al simpatico. L'interessamento di questo sistema può avvenire per:

- stimolazione della catena ganglionare e dei rami che emana;
- stimolazione di elementi sensitivi di C1 e C2 ;
- stimolazione delle fibre simpatiche ricorrenti che accompagnano le radici attraverso il forame di coniugazione;
- compressione o irritazione dell'arteria vertebrale;
- abnormi sollecitazioni a carico delle vene basilari.

Purtroppo una verifica delle manifestazioni da irritazione del sistema simpatico cervicale non è possibile in quanto gran parte di esse sono puramente soggettive. La più frequente tra le manifestazioni riferite è la così-detta *sindrome di Neri-Barrè-Lieou*. E' una sindrome molto frequente, di origine incerta, probabilmente dovuta ad una "irritazione" del sistema neurovegetativo cervicale che innerva l'arteria vertebrale. Dal punto di vista clinico essa presenta sintomi e segni cervicali:

- cefalee: favorite da posizioni viziose, affaticamento eccessivo o altre volte possono avere rapporto con fattori ambientali come raffreddamenti improvvisi, umidità o affaticamento eccessivo. Caratteristica di queste cefalee ad origine cervicale è la fissità della sede del dolore ad esempio occipitale, sopra orbitale;

- turbe labirintiche: l'equilibrio è instabile ed il paziente ha l'impressione di essere come ubriaco. Più spesso sono lamentati veri e propri stati vertiginosi, generalmente conseguenti a movimenti forzati di rotazione ed estensione (le prove labirintiche risultano di solito negative);

- turbe uditive: acufeni occasionalmente accompagnati da ipoacusia;
- turbe visive: annebbiamenti di vista, dolori retrobulbari, midriasi dal lato colpito che compare quando il capo è ruotato e scompare quando il capo torna in posizione neutra;
- turbe vasomotorie e secretive: si manifestano con vampate di calore al capo, alterazione di sudorazione, alternarsi di pallore con stati di congestione facciale;
- turbe psichiche: senso di tensione endocranica, senso "di testa vuota", perdita della memoria.

I risultati più attendibili possono essere ottenuti con la nistagmometria e con la cupulografia che consistono nel registrare le differenze di potenziale che si verificano a livello del globo oculare durante i movimenti degli occhi. In questo modo è possibile distinguere gli stati vertiginosi dovuti a malattie labirintiche intrinseche da quelle attribuite ad un'insufficienza dell'arteria vertebrale.

Raramente questa sintomatologia si presenta al completo e deve essere necessariamente differenziata dalle affezioni neurologiche aventi un quadro simile (in particolare da un'insufficienza vertebrale basilare).

Altri sintomi possono derivare da:

- Insufficienza vertebro-basilare. Le arterie vertebrali entrano nella colonna vertebrale all'altezza della VI cervicale e salgono fino alla congiunzione occipito-atlantoidea nei forami trasversali. Dopo che l'arteria penetra nel forame trasversario dell'asse, gira posteriormente e medialmente nel solco nell'arco posteriore dell'atlante, poi cranialmente e centralmente entra nel gran forame occipitale dove si unisce alla controlaterale e forma l'arteria basilare. I movimenti cervicali influiscono sul flusso sanguigno nell'arteria vertebrale, specialmente se le vertebre cervicali sono in massima rotazione alla fine dell'arco di movimento d'estensione. La massima rotazione potrebbe essere sufficiente a restringere il lume dell'arteria vertebrale omolaterale a livello dell'articolazione atlanto-assiale.

- Ritenzione venosa indotta da postura. La circolazione venosa della cavità craniale non ha delle valvole per la prevenzione della ritenzione indotta dalla gravità, al contrario del corpo al di sotto del cuore. Quando il corpo è in una postura contraria, come in piedi sulle mani o sulla testa è inevitabile una certa ritenzione. In persone giovani non causa grossi problemi, ma negli adulti o negli anziani potrebbe causare aumenti di pressione dietro gli occhi o nella testa, mal di testa, sensazioni di svenimento o nausea. L'estensione cervicale mentre si è in piedi o seduti potrebbe provocare sintomi leggeri di ritenzione venosa; comunque,

l'estensione nella posizione supina sarà causa più frequente di questi sintomi.

- La sindrome disfunzionale. Un tessuto accorciato, cicatrizzato o fibrotico (in seguito ad una riparazione) viene stirato prematuramente ricercando l'articolazione completa. I movimenti ripetuti provocano un dolore a fine corsa articolare che si localizza a livello della colonna (eccetto quando esiste una aderenza radicolare). Il dolore non cambia localizzazione e non si ha di conseguenza né miglioramento, né peggioramento della sintomatologia. Il tessuto accorciato potrebbe essere uno qualsiasi dei tessuti che normalmente vengono sottoposti a sforzi in trazione-compressione nel movimento o in una postura. E' il caso di una cicatrice, che può essere dolente di per sé o solo presente a fine corsa articolare in una certa direzione (quella in cui la cicatrice viene stirata), sarà locale perché non c'è una lesione che si sposta (escluso nel caso di interessamento della radice nervosa, in cui ci sarà irradiazione del dolore, ma non una sua variazione di localizzazione) e comparirà immediatamente al raggiungimento della massima articolazione.

### Cause meccaniche del dolore

Il dolore, sia che derivi dal muscolo, dall'articolazione o dal nervo, è una risposta determinata dal nervo stesso. Qualunque sia il punto di origine dello stimolo, la sensazione dolorosa viene condotta dalle fibre sensitive. I fattori meccanici alla base del dolore, quindi, si ripercuotono direttamente sulle fibre nervose.

I nervi periferici sono soggetti ad eventi traumatici in molti distretti del corpo e per opera di diversi agenti causali. Alcuni di questi traumi possono essere di natura invasiva (lacerazioni, ferite penetranti, taglio o lesioni di nervi in corso d'interventi...), ma numerosi problemi neurologici insorgono per traumi non invasivi che possono causare compressione o trazione a carico di un nervo. Il trauma può essere improvviso o graduale, il coinvolgimento può essere esteso ed interessare per intero un arto o essere limitato ad una singola branca nervosa; può essere transitorio o esitare in un danno permanente. Il trauma può essere il risultato di una forza esterna che provoca una compressione sul nervo, ad esempio plesso brachiale per una cinghia sulla spalla, o causato da una forza esterna producente trazione sui nervi, ad esempio a carico del plesso brachiale come risultato di un fatto causale o di una manipolazione che ponga in trazione eccessive il plesso

stesso.

La compressione o trazione interna dei nervi interessano in genere zone del corpo dove il nervo è vulnerabile a causa della stretta vicinanza a strutture scheletriche fisse. In condizioni abituali, un solco o un tunnel, possono essere strutture protettive ma se è presente una lesione o un'infiammazione con tessuto edematoso o cicatriziale, allora lo spazio ristretto diventa una fonte d'intrappolamento ad esempio pressione delle radici dei nervi spinali a causa di depositi di calcio nei forami di coniugazione.

Tra i problemi di un difettosa meccanica del corpo vi sono due fattori da considerare:

- La pressione sulla radice, sul tronco, sulle ramificazioni o sulle terminazioni nervose può essere determinata da strutture adiacenti di tipo solido: ossa, cartilagini, fascia, tessuto cicatriziale o un muscolo teso. Il dolore che deriva dall'ispessimento del *legamento giallo* o per una protusione discale, è esemplificativo di una compressione radicolare.

- La tensione sulle strutture che ospitano terminazioni nervose sensibili alla deformazione, come nello stiramento o nella contrattura muscolare, tendini o legamenti possono provocare un dolore da lieve ad acuto secondo la gravità della contrattura. Le forze all'interno del corpo che esercitano la tensione nociva che si traduce nella contrattura del tessuto molle, hanno generalmente origine da una distorsione prolungata dell'allineamento osseo o da una brusca trazione muscolare. Ad esempio, il ramo posteriore del nervo spinale è un nervo misto che si distribuisce alle strutture costituenti l'arco vertebrale posteriore, ai muscoli spinali e alle aree cutanee paravertebrali che a livello cervicale comprende la parte del cuoio capelluto. Per la sua decorrenza si trova direttamente coinvolto nelle alterazioni delle strutture articolari posteriori sia croniche, che acute. Negli eventi di natura traumatica il ramo può essere contuso, distratto oppure compresso dal tessuto muscolare contratto. Il più eclatante esempio è rappresentato dall'irritazione del *grande nervo occipitale* ad opera del muscolo trapezio che si manifesta con l'insorgenza della cosiddetta *cefalea occipitale (di Arnold)*, sintomo frequentissimo nei traumi da distorsione cervicale.

Si tratta di un nervo misto in quanto le fibre sensitive raggiungono il cuoio capelluto, posteriormente, fino alla parte più alta della testa, mentre le fibre motorie servono il *semispinale* e lo *splenio del capo*. Nel suo decorso, attraversa il *semispinale del capo* ed il *trapezio*, vicino alle loro inserzioni sull'osso occipitale, e comunica con il *piccolo nervo occipitale*, solo

sensitivo, che a sua volta innerva la cute del lato della testa dietro l'orecchio. In condizioni normali ed attraverso un normale range di movimento, si presume che un muscolo non possa causare l'irritazione di un nervo che giaccia in stretta vicinanza con esso o lo attraversi. Comunque, un muscolo che è stirato, diviene rigido e potenzialmente può esercitare una forza di compressione o frizione. In casi di modesta gravità i sintomi possono essere limitati a fastidio o dolore sordo, piuttosto che vivo dolore, quando i muscoli si contraggono o sono allungati. Dolore acuto può essere evocato da movimenti vigorosi, ma tende a essere intermittente a causa dei tentativi del soggetto di evitare tali movimenti dolorosi.

Altrettanto interessato può essere il *nervo meningeo ricorrente*, o *seno-vertebrale di Von Luschka*, che origina dal tronco del nervo spinale e va ad innervare la dura madre, il legamento longitudinale posteriore e forse le fibre dell'anulus discale. L'irritazione delle sue fibre comporta l'attivazione di un arco riflesso con spasmo doloroso di uno o più muscoli. Spesso è l'origine di molti dolori inspiegabili.

Il dolore di origine muscolare quindi può derivare da:

- compressione radicolare per cui si ha spasmo muscolare;
- ischemia muscolare da contrazione eccessivamente protratta per accumulo di cataboliti tossici "da fatica" del tessuto muscolare e quindi una prolungata costrizione del circolo locale;
- ischemia muscolare da contrazione muscolare troppo energica o prolungata nel tempo che esercita un'eccessiva trazione sulla giunzione miofasciale-periosteale. La conseguente irritazione del periostio si manifesta con dolore e iperalgesia locale e ad ogni sollecitazione attiva (contrazione) o passiva (distensione) del muscolo si traduce in dolore. Lo stesso effetto si ha per lacerazioni parcellari di tessuto muscolare o di componenti connettivali del muscolo.

La distribuzione del dolore lungo il percorso del nervo coinvolto e delle aree cutanee di disturbo sensoriale aiutano nella determinazione della sede della lesione. Il dolore si può localizzare sotto il livello direttamente interessato o può essere diffuso a causa del dolore riflesso o riferito. Se la radice è lesa, il dolore tende a distendersi dall'origine del nervo sino alla sua area periferica ed il coinvolgimento sensoriale cutaneo avviene in base al rispettivo dermatomero. Spesso il coinvolgimento nervoso periferico è individuabile dalla presenza di dolore sotto il livello della lesione. La maggioranza dei nervi periferici contiene sia fibre sensoriali, che motorie. I sintomi dolorosi od il formicolio, di solito, si manifestano sulle aree cutanee raggiunte dal nervo prima che si evidenzino indolenzimento o debolezza. Vi

sono numerosi muscoli, per altro, innervati da terminazioni esclusivamente motorie, ed il sintomo di debolezza si manifesta senza essere preceduto od accompagnato dal sintomo doloroso o da formicolio.

L'interessamento diretto della radice sensitiva determina turbe della sensibilità, per lo più ipoestesia più o meno intensa ed estesa. Raramente si arriva all'anestesia completa in quanto in uno stesso territorio si sovrappongono innervazioni d'origine differente.

Le turbe motorie determinate da interessamento della radice anteriore raramente danno luogo a fenomeni marcati di sofferenza muscolare in quanto ciascun muscolo ha un'innervazione pluriradicolare (almeno 3 radici). Si avranno invece amiotrofie più o meno evidenti ed un indebolimento di una funzione muscolare più o meno spiccata. L'interessamento della radice motoria comporta una sintomatologia dolorosa a carattere profondo e mialgico, mentre della radice sensitiva è più superficiale, cutaneo.

Lo *spasmo muscolare* è una contrazione involontaria del muscolo, o di un contingente di fibre del muscolo, che si produce in seguito ad una stimolazione dolorosa del nervo. L'irritazione che parte a livello della radice del plesso o della ramificazione periferica del nervo tenderà a provocare lo spasmo di un certo numero di muscoli, mentre lo spasmo indotto da irritazione delle terminazioni contenute all'interno del muscolo può circoscriversi al muscolo circondato o diffondersi a causa di meccanismi riflessi dolorosi. Il trattamento dello spasmo muscolare dipende dalle caratteristiche dello spasmo stesso. La riduzione dello spasmo causato da un'irritazione nervosa primaria della radice, del tronco o del ramo periferico dipende obbligatoriamente dalla riduzione dell'irritazione che ne è alla base. *Il trattamento aggressivo del muscolo o dei muscoli interessati dallo spasmo tenderà ad aggravarne i sintomi.*

Lo *spasmo protettivo* può svilupparsi in seguito a lesione di strutture sottostanti, quali un legamento o un osso. Questo "blocco" protettivo, come quello che si osserva dopo un trauma alla schiena, impedisce il movimento, ed un'ulteriore irritazione della struttura colpita. Lo spasmo protettivo si dovrebbe trattare con l'applicazione di un supporto protettivo in modo da evitare al muscolo questa funzione straordinaria. Lo spasmo muscolare tende ad alleviarsi rapidamente ed il dolore si attenua con l'impiego del supporto. Quando il muscolo si rilassa il supporto mantiene la sua funzione di protezione per consentire la guarigione della lesione sottostante, quale essa sia, che ha scatenato la risposta protettiva del muscolo. Oltre al sollievo proveniente dalla limitazione del movimento il supporto fornisce ulteriore

sollievo esercitando pressione sui muscoli interessati dallo spasmo. La risposta positiva alla pressione esercitata direttamente sul muscolo distingue questo tipo di spasmo da quello evocato da irritazione nervosa primaria.

Lo spasmo muscolare segmentale è una contrazione involontaria della porzione non lesa del muscolo in seguito ad un insulto allo stesso. La contrazione di tale segmento causa una tensione sulla zona lesa ed è presente una condizione di una contrattura. Il dolore associato alla tensione a livello muscolare, può essere limitato dai margini del muscolo o essere diffuso per meccanismi di dolore riflesso o riferito. Il trattamento richiede l'immobilizzazione in una posizione che riduca la tensione sul muscolo coinvolto.

Lo *spasmo muscolare associato a lesione tendinea* differisce da quanto sopra descritto quando la tensione è esercitata sul tendine, più che su una parte del muscolo. I tendini ospitano molte terminazioni nervose sensibili all'allungamento e il dolore associato a lesione tendinea tende a manifestarsi in modo grave.

Ulteriori situazioni che si possono verificare in seguito a traumatismi sono:

- *Accorciamento adattativo*. L'accorciamento adattativo è una rigidità che si produce in un muscolo che resta in una posizione d'accorciamento. Se il muscolo antagonista non è in grado di riportare indietro la parte in posizione neutrale o che una qualche forza esterna non eserciti un allungamento sulla parte accorciata, permarrà la suddetta posizione. La tensione o la brevità rappresenta una riduzione della lunghezza muscolare da lieve a modesta si traduce in una corrispondente limitazione del range di movimento. E' considerata reversibile, ma i movimenti di stretching dovranno essere eseguiti gradualmente per evitare danni ai tessuti connettivali. Per il ripristino della mobilità dei muscoli che presentano una tensione di grado moderato, sono necessarie, generalmente, numerose settimane.

- *Ipostenia da allungamento*. E' definita ipostenia da allungamento la debolezza che deriva dalla permanenza dei muscoli in una posizione stirata che, sebbene lieve, supera la posizione neutra di riposo, ma non supera il range di lunghezza normale. Il concetto di tale condizione è connesso alla durata dell'allineamento scorretto piuttosto che alla sua gravità. I muscoli nei quali si evidenzia ipostenia da allungamento non dovrebbero essere sottoposti a stretching o spostarsi completando l'intero arco di escursione articolare in direzione dell'allungamento del muscolo più debole e rispondono bene all'immobilizzazione in una posizione di riposo fisiologico

per un periodo sufficiente a consentire la ripresa.

I nervi periferici sono soggetti ad eventi traumatici in molti distretti del corpo e per opera di diversi agenti causali. Alcuni di questi traumi possono essere di natura invasiva (lacerazioni, ferite penetranti, taglio o lesioni di nervi in corso d'interventi...), ma numerosi problemi neurologici insorgono per traumi non invasivi che possono causare compressione o trazione a carico di un nervo. Il trauma può essere improvviso o graduale, il coinvolgimento può essere esteso ed interessare per intero un arto o essere limitato ad una singola branca nervosa; può essere transitorio od esitare in un danno permanente.

Il trauma può essere il risultato di una forza esterna che provoca una compressione sul nervo, ad esempio il plesso brachiale per una cinghia sulla spalla, o causato da una forza esterna producente trazione sui nervi ad esempio a carico del plesso brachiale come risultato di un fatto causale o di una manipolazione che ponga in trazione eccessive il plesso stesso.

La compressione o trazione interna dei nervi interessa in genere zone del corpo dove il nervo è vulnerabile a causa della stretta vicinanza a strutture scheletriche fisse. In condizioni abituali, un solco o un tunnel, possono essere strutture protettive ma se è presente una lesione od un'infiammazione con tessuto edematoso o cicatriziale, allora lo spazio ristretto diventa una fonte d'intrappolamento ad esempio pressione delle radici dei nervi spinali a causa di depositi di calcio nei forami di coniugazione.

## Meccanismo lesivo nel tamponamento automobilistico - Biomeccanica

Il meccanismo lesivo si realizza essenzialmente in corso di infortunistica stradale; si tratta di una scossa improvvisa e violenta che fa rovesciare indietro la testa, per poi riportarla, con altrettanta violenza, in avanti. Ciò avviene per la concomitanza di due movimenti forzati, e quindi innaturali, del tratto cervicale della colonna vertebrale: l'iperestensione e l'iperflessione la cui successione è strettamente correlata al tipo d'incidente. I due incidenti tipici sono l'urto frontale ed il tamponamento.

In un incidente automobilistico frontale, il passeggero è catapultato in avanti verso il parabrezza, per poi essere buttato indietro: si ha prima l'iperflessione cervicale, seguita dall'iperestensione. Ma il meccanismo lesivo più importante si verifica in seguito ad un tamponamento automobilistico: la classica successione che porta alla genesi del colpo di frusta consiste, in un primo tempo, nell'iperestensione del collo, seguita poi da una flessione, con stiramento dei muscoli e dei legamenti cervicali posteriori.

L'iperestensione può provocare una lesione del legamento longitudinale anteriore della colonna cervicale ed altri danni ai tessuti molli della parte anteriore del collo, inclusi strappi ed emorragie muscolari. I muscoli più spesso colpiti sono lo sternocleidomastoideo, lo scaleno e i muscoli lunghi del collo. Anche se nella maggioranza dei casi i legamenti che avvolgono e proteggono la colonna cervicale non sono strappati completamente, vengono con il colpo stirati, allungati e parzialmente lesionati. Secondo la posizione della testa e della direzione dell'impatto, questo avviene in direzione obliqua o laterale, direzioni in cui il rachide è molto vulnerabile, a causa della specifica goniometria delle articolazioni apofisarie.

A livello cervicale, le componenti capsulo-legamentose e muscolari svolgono non solo il ruolo di stabilizzazione passiva e di controllo attivo dei segmenti cervicali, ma costituiscono anche sede particolarmente ricca di propriocettori, che intervengono nel controllo tonico posturale del capo e degli arti e rendono il distretto cervicale, ed in particolar modo il livello C2-C3, paragonabile ad un "ponte propriocettivo". I muscoli sottoccipitali sono ricchi sia di fusi neuromuscolari in alta densità, localizzati per lo più nelle fibre muscolari lente, sia di corpuscoli tendinei del Golgi, localizzati a loro

volta nelle formazioni tendinee intermuscolari. Tale sistema propriocettivo è più ricco che nei muscoli degli arti e la continuità dei due tipi di recettori permette di controllare sia la lunghezza, che la tensione di piccoli distretti dei muscoli nicali. Poiché le afferenze propriocettive cervicali s'integrano con il sistema vestibolare ed oculomotore, contribuendo alla rappresentazione dello schema corporeo nello spazio ed allo sviluppo di riflessi posturali, la muscolatura del rachide cervicale si trova a far parte di un circuito chiuso afferente ed efferente in cui intervengono il sistema vestibolare ed il sistema visivo.

Parecchi sono i fattori che possono diversificare un caso dall'altro: l'età, il sesso, la dinamica dell'incidente, la gravità dell'impatto, il modo in cui è stato affrontato, le condizioni osteoarticolari, la validità della muscolatura cervicale, lo stato dei legamenti e dei dischi intervertebrali, la direzione dell'impatto e la velocità al momento dell'incidente ed il fatto che il soggetto abbia potuto prevedere l'imminente impatto.

Dal punto di vista biomeccanico, uno dei principali aspetti è quello dell'individuazione della soglia d'efficacia lesiva da parte del trauma. A tale riguardo sono stati condotti numerosi studi. Secondo Scott e McConnell (1994), che hanno utilizzato il manichino Hybrid III, in un tamponamento a bassa velocità (DV da 4 a 8 km/h) sono distinguibili quattro fasi.

Durante la prima fase, di 50 msec, non si verificano significative oscillazioni. Nella seconda fase, di 125-175 msec, il tronco, benché trattenuto dalle cinture, è sospinto verso l'alto ed in avanti dalla deformazione elastica del sedile; si verifica inoltre un'escursione all'indietro della testa, con estensione del collo, amplificata dall'avanzamento del tronco e seguita da un rebound elastico, con proiezione della testa in avanti e flessione del collo. Nella terza fase, di 175 msec, mentre il veicolo avanza ancora, il tronco tende ad affondare nel sedile e la testa raggiunge la massima posizione avanzata. La quarta fase, di 200 msec, consiste nel recupero della posizione di quiete. In verità nel caso umano, le modificazioni sono alquanto più complesse rispetto a quelle del manichino, soprattutto nella seconda e terza fase.

In prove su volontari (McConnell, Howard, Guzman, 1993), sottoposti ad una serie di urti sperimentali a bassa velocità (DV 6-8 km/h), si sono manifestati sintomi indicativi di effetti lesivi, anche indipendentemente dal superamento dei limiti fisiologici dell'escursione cervicale. Inoltre, si è evidenziata una componente lesiva di tipo assiale, da partecipazione del bacino e del tronco attraverso la risposta elastica del sedile, mettendosi così in luce una dinamica lesiva più complessa di quella semplicemente estensoria-

flessoria solitamente ritenuta responsabile degli effetti lesivi del colpo di frusta.

Vari Autori hanno accertato che il tronco subisce una spinta dal basso verso l'alto a partire dall'anca, che restituisce in tal modo l'energia scaricata dall'infossamento del tronco nel sedile. In altre parole il rachide dorso-lombare si "allunga" verso l'alto incontrando il contrasto gravitativo della massa cranica, per cui il collo, interposto, subisce una compressione assiale. Quest'azione lesiva si somma a quella delle forze trasversali, che si trasmettono più intensamente sulla regione medio-cervicale, ove possono verificarsi dislocazioni dei metameri fino alla sublussazione. Dislocazioni d'entità non rilevante possono essere "assorbite" dal riposizionamento elastico delle vertebre, lasciando, però, in essere una susseguente contrattura antalgica muscolare.

Nel complesso è ormai accertato che la brusca accelerazione trasferita ai passeggeri di un'auto tamponata (nei tamponamenti a catena seguita rapidamente da una brusca decelerazione) si scarica sul distretto cranico-cervicale attraverso due moduli concomitanti: rispettivamente di tipo angolare sul capo e di tipo assiale su collo. Quest'ultimo, quantunque di modesta entità metrica, assume tuttavia una notevole importanza sul piano biologico, perché si estrinseca in maniera del tutto antifisiologica rispetto alla predisposizione funzionale dell'assetto delle articolazioni intervertebrali. Se poi al momento dell'urto il capo è ruotato o reclinato, gli effetti lesivi si amplificano considerevolmente a causa della consensuale costrizione, per di più asimmetrica, dei forami intervertebrali, nonché della trazione su capsule e legamenti, ben più nociva rispetto a quella che si verifica con il capo in posizione neutra, nella quale le vertebre scivolano armonicamente una sull'altra, determinando un restringimento simmetrico del canale vertebrale e dei forami di coniugazione, che risulta meno vulnerante.

Altri due fattori molto importanti sono la direzione secondo la quale il collo è sollecitato, che dà maggiore espressività alla componente estensoria (solitamente predominante), a quella flessoria o quella torsionale, e soprattutto la rapidità con la quale è trasferita la variazione di velocità, che svolge un ruolo di primo piano nel trasformare un'escursione articolare goniometricamente fisiologica in una lesione distorsiva, per superamento dei limiti di tolleranza alla trazione ed alla dislocazione da parte delle strutture mio-legamentose, vascolari, oto-neurologiche e dell'innervazione simpatica cervicale.

Gli effetti sintomatologici tipici della distorsione cervicale dipendono anche dalla previsione/premonizione della collisione. In caso d'urto

posteriore, e soprattutto per chi non è alla guida, la percezione dell'urto non avviene quasi mai in tempo utile. Sono state, infatti, ampiamente riscontrate severe distorsioni cervicali nei trasportati a fronte di lesioni minime o assenti del conducente del medesimo veicolo, poiché questi può avere una premonizione dell'impatto attraverso lo specchietto retrovisore e quindi può attivare istintivamente una sia pur variabile difesa muscolare, atta a ridurre l'oscillazione del capo, con l'aiuto anche della presa sul volante.

Un'ulteriore amplificazione lesiva si verifica se il traumatizzato è già affetto da cervico-artrosi. Nei bambini gli effetti lesivi di una distorsione cervicale, contrariamente a quanto ritenuto in passato, possono essere più severi che nell'adulto. Le motivazioni sono diverse: immaturità dei sistemi di connessione intersegmentaria, con un'eccessiva mobilità intermetamerica, atta a stirare le radici ed a deformare i dischi; incompleto sviluppo dei processi uncinati, che negli adulti limitano considerevolmente i movimenti di lateralizzazione e rotazione tra le vertebre; nella prima infanzia massa del capo proporzionalmente maggiore rispetto a quella del tronco e contestualmente esigua validità "difensiva" della muscolatura cervicale.

Un'ulteriore interessante considerazione è che nel tamponamento l'accelerazione subita dai passeggeri è di norma superiore a quella subita dal veicolo. Questo fenomeno è dovuto al fatto che tra la scocca del veicolo ed i passeggeri è interposta l'azione elastica del complesso sedile-poggiatesta, che dipende dalle caratteristiche strutturali di questi due elementi, sovente disomogenee. Per altro, numerosi studi condotti sui poggiatesta di vari tipi d'autoveicoli hanno dimostrato che solo in un numero limitato di casi questi supporti sono realmente efficaci nel limitare i danni di un colpo di frusta. L'efficacia della protezione dipende anche dalla posizione del poggiatesta e dalla distanza tra questo ed il capo (per essere efficace il poggiatesta deve essere più alto di 2-5 cm rispetto alla sommità del capo e la sua distanza dalla nuca non deve superare i 5-8 cm). Complica la questione la deformabilità delle carrozzerie dei vari tipi d'autovetture, che può essere molto diversa secondo i modelli.

Bisogna poi considerare la rapidità d'azione delle cinture (quando allacciate) e dell'air-bag (quando esistente). Per quanto riguarda le cinture, la letteratura scientifica è concorde nell'affermare che, a fronte dell'efficacia protettiva sulla proiezione del tronco e del capo contro le strutture anteriori dell'abitacolo, e quantunque applicate in presenza di poggiatesta, esse possono addirittura amplificare le sollecitazioni traumatiche di tipo distorsivo sul rachide cervicale, specie nella componente flessoria anteriore. Infatti, la maggior fissazione del tronco al sedile comporta un conseguente

maggior trasferimento d'accelerazione sulla massa cranica, che è invece libera di basculare sul fulcro cervicale. Inoltre, il sistema d'ancoraggio a tre punti delle cinture, universalmente adottato, trattiene asimmetricamente il corpo consentendo la rotazione del tronco, i cui effetti si riverberano evidentemente anche sul distretto cervicale, scaricandovi componenti lesive vertebrali e neuromuscolari di tipo torsionale nella fase di contraccolpo sulla cintura. Si deve in proposito ricordare che la capacità di tolleranza al carico trasferito dalle cinture in fase d'urto, senza lesioni di rilievo per l'automobilista, è stimata in misura variabile dai 900 Kg all'età di vent'anni ai 250 Kg all'età di sessant'anni.

Si può, in ogni modo, affermare la possibilità di distorsioni cervicali lievi per velocità d'impatto da 8 a 30 km/h (con un g da 4 a 15 calcolato alla testa degli occupanti) e distorsioni cervicali severe per velocità d'impatto da 30 a 80 km/h (con g da 16 a 40).

Nella maggior parte dei lavori sperimentali è dato grande rilievo nel determinismo della lesione all'accelerazione subita dal veicolo tamponato.

## Dinamica degli urti

L'urto è un fenomeno fisico che si verifica quando due corpi, dotati di moto relativo, vengono a contatto ed, in un tempo infinitamente breve, mutano sensibilmente il valore della loro velocità. L'urto tra due corpi è studiabile agevolmente ed esaustivamente, solo se essi hanno forme schematizzabili con semplici figure geometriche; il caso più semplice è quello dell'urto tra due sfere libere.

Si definisce *quantità di moto* ( $p$ ) il prodotto tra la massa di un corpo ( $m$ ) per la velocità ( $v$ ) a questo impressa da una forza costante ( $F$ ):  $p = mv$ .

La quantità di moto è uguale all'*impulso* della forza stessa, inteso come il prodotto della forza ( $F$ ) per il tempo ( $t$ ) durante il quale  $F$  ha agito su  $m$ , facendogli raggiungere la velocità  $v$ :

$$Ft (\text{impulso}) = mV (\text{quantità di moto}).$$

Nel contesto di un qualsiasi urto si sviluppano forze impulsive molto intense, rispetto alle quali l'entità delle forze esterne può essere trascurata, tanto che il sistema può essere considerato isolato, quindi durante l'intera fase cinetico-dinamica, la quantità di moto totale del sistema si mantiene costante (*principio di conservazione della quantità di moto*). In altre parole, durante l'interazione fra due corpi, varia la quantità di moto di ciascuno di essi, ma la somma vettoriale delle stesse rimane costante (se invece di un

moto traslatorio, consideriamo un moto rotatorio, vale il principio della *conservazione del momento angolare*). Mentre durante l'urto la quantità di moto totale si conserva, lo stesso non può dirsi per l'energia cinetica.

Un urto si definisce *elastico* se l'energia cinetica totale si conserva; se, invece, è completamente dissipata, per produzione del calore o deformazione dei corpi in collisione, si parla di urto *completamente anelastico* (o plastico). Nell'urto completamente anelastico i corpi entrati in collisione, comunque deformati, restano a contatto dopo l'urto stesso e procedono entrambi con la stessa velocità, muovendosi lungo una medesima direzione e secondo stesso verso. Nei casi in cui la dissipazione dell'energia cinetica è parziale si parla d'urto *anelastico*.

Per caratterizzare gli urti, sia elastici, che anelastici, si può introdurre il concetto di coefficiente di restituzione ( $\Lambda$ ), che è definito dalla relazione:

$$\eta = \frac{E'ctot}{Ectot} = \Lambda$$

dove  $Ectot$  è l'energia cinetica totale del sistema prima dell'urto ed  $E'ctot$  è quella dopo l'urto. Se l'urto è elastico  $\Lambda = 1$ , se completamente anelastico  $\Lambda = 0$ . Nei casi di urto anelastico può variare da 0 a 1. A titolo indicativo si evidenzia che per i normali veicoli stradali il coefficiente di restituzione, che dipende dal grado di elasticità dei mezzi, è mediamente pari al valore di 0,3.

È intuitivo che la deformazione che subisce un veicolo in un tamponamento è funzione certamente della velocità, ma anche dell'elasticità, o della resistenza meccanica, di entrambi i veicoli coinvolti.

Conoscere la velocità dei veicoli è molto importante ai fini della valutazione biomeccanica, ma è sempre sconsigliabile tentare di determinare le velocità dei veicoli, basandosi esclusivamente sulla deformazione subita da uno solo. Altrettanto sconsigliabile è utilizzare il coefficiente di restituzione per il calcolo della velocità dei mezzi. Infatti, questo valore che, in definitiva, esprime un indice della dissipazione dell'energia cinetica nell'urto, è semmai un utilissimo elemento di verifica a posteriori della validità dei risultati ottenuti con altra tipologia di calcolo (nell'ipotesi d'errore sarebbe così possibile intervenire con opportune correzioni).

Certamente il modello matematico più sicuro ed elegante da usare per il calcolo delle velocità è quello che si basa sulla relazione che esprime il *principio della conservazione della quantità di moto*:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1 + m_2v_2,$$

da cui:

$$m_2w_2 = m_1v_1 + m_2v_2 - m_1w_1,$$

poiché  $v_2 = 0$  (l'auto tamponata in genere è ferma),  
 $m_2 w_2 = m_1 v_1 - m_1 w_1 = m_1 (v_1 - w_1)$   
 ed infine:

$$w_2 = \frac{m_1}{m_2} (v_1 - v_2)$$

che consente di ottenere la velocità dopo l'urto dell'auto tamponata, conoscendo, però, le velocità del veicolo che investe, prima e dopo l'urto.

Un altro elemento interessante per la valutazione biomeccanica è l'accelerazione subita dalla testa del soggetto.

In vari modelli sperimentali, soprattutto su manichini, è stata calcolata l'accelerazione alla quale sarebbe sottoposto la testa nel tamponamento (distorsioni cervicali lievi: per velocità d'impatto da 8 a 30 km/h, g da 4 a 15 e distorsioni cervicali severe per velocità d'impatto da 30 a 80 km/h con g da 16 a 40<sup>12</sup>). In alcuni lavori si legge che il collo sarebbe in grado di sopportare accelerazioni istantanee anche di 80 g!

È opportuno fare chiarezza su questo punto, sgombrando il campo dalle ipotesi che più che scientifiche appaiono fantascientifiche o addirittura fantasiose.

Dapprima è opportuno fare una riflessione e da fare sui valori massimi d'accelerazione sopportabili senza danni dall'uomo. Consideriamo l'ipotesi di 80 g.

In un moto uniformemente accelerato (con accelerazione costante), poiché  $g = 9,8 \text{ m/sec}^2$  e  $t$  in un tamponamento è mediamente 0,01 sec:

$$s = \frac{1}{2} a \times t, \text{ quindi si avrà:}$$

$$3,920 = \frac{1}{2} 80 \times 9,8 \times 0,01$$

In pratica, se si applicasse alla sola testa un'accelerazione di 80 g, che la testa schizzerebbe via dalla macchina come un razzo, allontanandosi dal collo di oltre 3 metri in un centesimo di secondo. Per avere un'idea di quanto sia enorme il valore di 80 g, basti considerare che, mantenendo la stessa accelerazione per 10 secondi, la testa raggiungerebbe la fantastica velocità di ( $v = at$ ) 7840 m/sec, ovvero 28224 Km/h, sufficiente per poter andare in orbita! Ma già dopo solo un solo secondo viaggerebbe ad una velocità (784 m/sec, ovvero 2822 Km/h) più che doppia di quella del suono (che nell'aria si sposta a 340 m/sec), quindi supererebbe *mach 2* (in gergo aeronautico, il numero di mach esprime il rapporto tra la velocità di un aereo e quella del

suono ad una determinata quota), velocità che solo pochi aerei supersonici riescono a raggiungere e certamente non in un solo secondo! Anche se eseguiamo i calcoli per 40 g, i valori ottenuti sono esagerati. In verità, l'autore ritiene che sulla Terra non esista alcun mezzo che consenta di ottenere accelerazioni di 80 g.

Tuttavia è vero che in alcuni incidenti si potrebbero raggiungere decelerazioni (e non accelerazioni) dell'ordine di 80 g, ma tali accelerazioni sono subite per tempi brevissimi dal veicolo rispetto alla strada, non dalla sola testa rispetto al collo!

Basti pensare ad una macchina procede a 180 km/h (50 m/sec) e senza frenare investe un muro; in meno di un decimo di secondo la velocità scende a 0, quindi l'accelerazione sarà:  $(0 - 50)/0,1 = - 500/9,8 = - 51 \text{ g}$ .

Si consideri, poi, che se un urto avviene ad alta velocità, diviene di tipo prevalentemente anelastico e comporta, quindi, una grande dissipazione di energia legata alla produzione di calore ed alla deformazione dei mezzi. Pertanto, maggiori sono le deformazioni dei mezzi coinvolti in un urto, minore (percentualmente e non in valore assoluto) sarà l'energia cinetica che il veicolo tamponato potrà utilizzare per mettersi in moto ed accelerare bruscamente.

Conviene, a questo punto, chiarire meglio cosa s'intende per g, chiarendo alcuni equivoci, nei quali è possibile incorrere quando si affronta questa materia.

L'accelerazione g è dovuta all'attrazione gravitazionale terrestre. Il suo valore è costante e corrisponde, come già precedentemente accennato, a 9,8 m/sec<sup>2</sup>. Se un corpo è lasciato nel vuoto, esso cade mantenendo appunto un'accelerazione costante di 9,8 m/sec<sup>2</sup>, che non è affatto trascurabile, dato che in 10 secondi consente di raggiungere la velocità di 352,8 Km/h. Qualsiasi corpo nel vuoto cade con la stessa accelerazione. Quest'affermazione contrasta con il comune riscontro che una piuma ed un martello cadono a terra con velocità diverse. In verità, la diversa velocità è dovuta alla presenza dell'aria, ed al conseguente attrito, che si oppone al moto.

Applicando il secondo principio della Dinamica ( $F = m a$ ) e cioè moltiplicando la massa di un corpo per g, si ottiene la forza con cui il corpo è attratto dalla Terra, ovvero il peso.

Il valore di g è molto importante, perché se g cambia, varia anche il peso. Un uomo di 70 Kg su Marte dove  $g = 3,73 \text{ m/sec}^2$  peserebbe circa 27 Kg, ma su Giove, dove  $g = 25,9 \text{ m/sec}^2$ , ben 185 Kg.

L'accelerazione è una grandezza vettoriale, cioè oltre ad aver un

modulo (espresso in  $m/sec^2$ ), ha anche una direzione ed un verso. Nel caso di  $g$ , la direzione è ortogonale al suolo ed il verso è diretto in basso. Quindi quando si dice che un corpo è sottoposto ad un'accelerazione di  $2g$ , a rigore s'intende che è spinto verso il basso (il centro della Terra) con un'accelerazione di circa  $20 m/sec^2$ . Talc condizione comporta un raddoppio del peso.

Le variazioni di  $g$  tollerate dall'organismo umano sono molto inferiori ai valori riportati nei vari studi di biomeccanica sul colpo di frusta. Quest'argomento è ben conosciuto dai piloti di aereo, soprattutto dei caccia supersonici, che durante virate, loop o picchiate possono essere sottoposti ad importanti variazioni dell'accelerazione gravitazionale.

Sinteticamente si riportano alcuni semplici concetti. I limiti massimi di tolleranza per i piloti sono comunemente compresi tra i  $9g$  positivi (accelerazione ascensionale) ed i  $3g$  negativi (accelerazione in discesa). Quando l'accelerazione positiva aumenta, si verifica il fenomeno del cosiddetto *black-out* (visione nera), legato a problemi emodinamici che riducono l'afflusso del sangue agli occhi, viceversa se i  $g$  diminuiscono si ha un eccessivo afflusso di sangue nella parte alta del corpo, con il fenomeno del *red-out* (visione rossa), al quale fa seguito spesso la rottura dei vasi sanguigni oculari e congiuntivali. Se l'accelerazione elevata si mantiene per diversi secondi si ha la perdita di coscienza, il cosiddetto *G-loc*. Si consideri che i piloti, per sopportare le accelerazioni suddette, sono muniti d'apposite tute pressurizzate.

E' escluso, pertanto, che persone comuni, non addestrate e senza tute speciali, possano tollerare variazioni dell'accelerazione gravitazionale dell'ordine di decine di  $g$ . Tuttavia in vari articoli e testi relativi all'infortunistica stradale si osservano calcoli che fanno riferimento ad importanti variazioni di  $g$ . Infatti, il valore di  $g$  ( $9,8 m/sec^2$ ) è spesso preso come termine di riferimento: se una vettura subisce un'accelerazione di  $3g$ , per esempio, si vuol dire che la vettura si sposta in avanti con un'accelerazione il cui modulo è tre volte quello dell'accelerazione di gravità, quindi circa  $30 m/sec^2$ . Ma poiché quest'accelerazione ha una direzione normale rispetto a quella di  $g$  (orizzontale, non verticale come  $g$ , per intenderci), con l'accelerazione di gravità non ha alcuna corrispondenza e, soprattutto, non determina significative variazioni del peso del corpo e dei fenomeni fisiologici.

Quest'uso non rigoroso del termine  $g$  può indurre l'equivoco di ritenere trascurabile un'accelerazione di  $10 m/sec^2$ , perché tanto corrisponde all'accelerazione di gravità che normalmente non comporta alcun disturbo.

In verità, l'accelerazione di gravità non è poi così innocua, come si può a prima vista pensare. Infatti, non determina effetti particolari quando la si sperimenta con i piedi per terra, ma basta lanciarsi da un aereo senza paracadute, per rendersi conto che nel giro di pochi secondi si supera la velocità di  $300 Km/h$  e, per il resto, non c'è bisogno di descrivere gli effetti dell'impatto con il suolo.

C'è un altro esempio per dimostrare come l'accelerazione di gravità possa essere molto pericolosa. E' noto che l'anestesista, quando il paziente è in sala operatoria, durante un intervento, controlla attentamente che il capo sia ben fissato su un apposito supporto; se, infatti, il supporto dovesse cedere, il capo cadrebbe in basso senza alcun controllo da parte del paziente (che ha i muscoli completamente rilassati, perché in narcosi) e, quindi, per il solo effetto dell'accelerazione di gravità, si verificherebbero gravi danni alle strutture muscolari, ossee e nervose del collo.

Un'altra riflessione è necessaria relativamente ai metodi di calcolo della forza a cui è sottoposto il soggetto nell'urto.

In genere è applicata la legge di Newton ( $F = m a$ ) attribuendo ad  $a$ , l'accelerazione media alla quale è sottoposta la vettura dell'investito. Poiché la forza e l'accelerazione sono grandezze vettoriali (hanno in pratica una direzione ed un verso), la direzione ed il verso dei due vettori (relativi alla macchina tamponata) coincidono. Mentre la macchina è proiettata in avanti, il capo è invece accelerato indietro.

Si consideri che le leggi di Newton (secondo e terzo principio della Dinamica) sono valide solo in un sistema di riferimento inerziale.

Si definisce inerziale un sistema di riferimento in cui vale il principio d'inerzia o, più precisamente, un sistema nel quale un corpo non è accelerato ( $a = 0$ ) se non è influenzato da forze prodotte dal suo ambiente ( $\Delta F = 0$ ). Sperimentalmente si dimostra che è *inerziale un sistema in quiete rispetto alle stelle fisse*.

Se invece l'osservatore di un fenomeno si trova in un sistema di riferimento *non inerziale*, cioè un sistema solidale con un corpo accelerato rispetto a quello inerziale (come appunto un passeggero su una macchina in accelerazione) le leggi della Dinamica classica non possono essere più applicate, o meglio, per poterle utilizzare è necessario introdurre dei correttivi, detti *forze fittizie o apparenti*, qualche volta definite anche *forze d'inerzia*.

Al contrario delle forze che si esercitano in un sistema inerziale (*forze vere*), le forze fittizie non possono essere causate da corpi dell'ambiente e

spariscono se sono esaminate da un osservatore posto in un sistema di riferimento inerziale (sulla strada), mentre sono sperimentate come forze vere dall'osservatore solidale con il sistema accelerato (sulla macchina).

In base a questi principi la legge di Newton ( $F = m a$ ) diventa:

$$F - ma - maCor = ma',$$

dove  $a'$  è l'accelerazione relativa,  $at$  è l'accelerazione di trascinamento ed  $aCor$  è l'accelerazione complementare o di Coriolis, che vale

$aCor = 2\Lambda v'$ , dove  $\Lambda$  è la velocità angolare e  $v'$  è la velocità relativa (il simbolo  $\Lambda$  indica un prodotto vettoriale. I due termini correttivi  $-mat$  e  $-maCor$  sono appunto le forze apparenti o inerziali. Cerchiamo di chiarire meglio il concetto con alcuni esempi.

Consideriamo un corpo che si muove di moto rettilineo uniforme, come ad esempio un vagone ferroviario, e supponiamo che un oggetto si muova dentro il vagone stesso. L'oggetto si muoverà sia rispetto al treno che rispetto ad un osservatore fisso, posto all'esterno del treno. Il moto dell'oggetto rispetto all'osservatore fisso si chiamerà "moto assoluto", mentre quello rispetto ad un osservatore solidale con il treno si chiamerà "moto relativo".

Consideriamo due sistemi di riferimento  $S$  e  $S'$  in moto inerziale l'uno rispetto all'altro. Di  $S$  parleremo come del sistema fisso e di  $S'$  parleremo come del sistema mobile. Un punto  $P$  che si muove sia rispetto al sistema di riferimento fisso che rispetto al sistema di riferimento mobile, avrà in  $S$  una velocità  $v$  ed in  $S'$  una velocità  $v'$ . Indicando con  $V$  la velocità del sistema di riferimento mobile rispetto al sistema di riferimento fisso, le velocità di  $P$  saranno legate fra loro dalla legge di Galileo:  $v = v' + V$ .

In altre parole, la velocità  $v$  del punto  $P$  nel sistema di riferimento fisso, detta velocità assoluta, è data dalla somma della velocità relativa  $v'$ , ossia la velocità del punto relativamente al sistema di riferimento mobile, e dalla velocità di trascinamento  $V$ , ossia la velocità che il punto avrebbe se esso fosse solidale al sistema di riferimento mobile.

Consideriamo adesso un sistema di riferimento mobile  $S'$  che abbia un'accelerazione  $at$  rispetto ad un sistema di riferimento fisso  $S$ . L'accelerazione  $a$  del punto  $P$  nel sistema di riferimento fisso, detta accelerazione assoluta è data dalla somma dell'accelerazione relativa  $a'$ , ossia l'accelerazione del punto relativamente al sistema di riferimento mobile, dell'accelerazione di trascinamento  $at$ , ossia l'accelerazione che il punto avrebbe se esso fosse solidale al sistema di riferimento mobile e da un altro termine  $aCor$ , l'accelerazione di Coriolis.

Chiunque ha sperimentato che quando un treno parte, ci sente spinti in direzione opposta al moto. In questo caso, si sperimenta una forza apparente legata proprio al sistema di riferimento non inerziale solidale con il treno. Casi analoghi si verificano quando ci troviamo su una macchina o su un ascensore nelle fasi d'accelerazione o di decelerazione.

Per determinare queste forze apparenti, bisogna combinare l'equazione fondamentale della dinamica ( $F = m a$ ), con l'espressione dell'accelerazione nei sistemi accelerati:  $a = a' + at + aCor$ . Allora la legge fondamentale della dinamica relativa risulta essere, quella sopra indicata e cioè:

$$ma = ma' + mat + maCor \text{ e quindi:}$$

$$ma' = ma - mat - maCor, \text{ dove}$$

$-mat$  è la forza di trascinamento e  $-maCor$  è la forza di Coriolis.

Se consideriamo sistemi non inerziali uniformemente accelerati (moto traslatorio, senza rotazione), l'accelerazione di trascinamento coincide con l'accelerazione dell'origine del sistema mobile ( $a_0'$ ) e l'accelerazione di Coriolis è nulla. Allora, un corpo di massa  $m$  sperimenta una forza apparente pari a  $F = -ma_0'$ , dove  $a_0'$  è l'accelerazione dell'origine del sistema di riferimento mobile.

Questo è esattamente ciò che succede nelle fasi d'accelerazione o decelerazione del treno. Vediamo ora come si applica questo concetto al nostro caso. Per un osservatore fisso (sulla strada) la macchina tamponata è proiettata in avanti, mentre la testa rimane ferma. E non potrebbe essere che così, poiché nessun corpo entra in contatto con essa, quindi l'accelerazione assoluta è nulla e per la legge di Newton nessuna forza si esercita su essa, essendo la forza impulsiva applicata alla sola vettura. Ma per un osservatore solidale con la macchina, la testa, che era ferma, è violentemente spinta indietro. L'osservatore non sa dare, però, una spiegazione del fenomeno, in quanto non vede nessun corpo che entra in contatto con la testa e, quindi, per il primo principio della Dinamica (*un corpo, non soggetto ad alcuna forza, mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non interviene una forza esterna atta a modificare tale stato*), questa non dovrebbe muoversi. Per giustificare tale moto deve, dunque, considerare una forza fittizia, che ricava dalla relazione:  $ma' = ma - mat - maCor$ .

Considerando che l'accelerazione assoluta è nulla (per l'osservatore fisso, la testa non si muove) e che l'accelerazione di Coriolis è nulla (moto traslatorio), la relazione, come volevasi dimostrare, si riduce a:

$$F' = m a' = -m a$$

Quest'ultima relazione assomiglia a quella formulata dal secondo principio della Dinamica ( $F = ma$ ), ma forza longitudinale applicata al capo

in seguito al tamponamento, ma il verso dell'accelerazione è opposto a quello del moto dell'auto.

In realtà la relazione  $F' = -mat$  non è sufficiente a descrivere la forza che si esercita sul capo durante il tamponamento per vari motivi:

- se il soggetto al momento dell'urto sta muovendo la testa bisogna considerare l'accelerazione relativa ( $a'$ );

- il moto d'iperestensione del collo non è un moto traslatorio, ma un moto rotatorio (bisogna quindi tener conto dell'accelerazione angolare e dell'accelerazione di Coriolis);

- il capo non è un corpo libero, ma è vincolato (attraverso il collo) ed il vincolo è di tipo elastico;

- l'azione lesiva non è determinata dall'accelerazione del capo rispetto al suolo, né rispetto alla macchina, ma dall'accelerazione del capo rispetto al tronco, il quale non è solidale con il sedile, ma durante l'urto subisce a sua volta un moto relativo rispetto alla macchina.

Se non si tiene conto di quest'ultimo elemento si finisce per ipotizzare accelerazioni assurde che dovrebbero comportare il distacco della testa dal collo!

Da quanto sopra esposto si possono trarre le seguenti conclusioni:

- Basandosi solo sulla deformazione del mezzo tamponato, senza altri dati, non possono essere ottenute informazioni attendibili sulla velocità dei mezzi coinvolti in un incidente, ma è solo possibile ipotizzare empiricamente che a deformazioni importanti corrispondono velocità verosimilmente elevate. Non necessariamente è, però, vero il contrario. Si pensi ad un'auto non frenata su una strada ghiacciata che, se tamponata, è proiettata in avanti ad elevata velocità senza subire danni consistenti al paraurti.

- Anche se sono conosciute le velocità dei mezzi coinvolti nel sinistro, è molto difficile calcolare le accelerazioni subite dalla testa rispetto al tronco. La situazione dal punto di vista strettamente fisico e matematico è talmente complessa, che nonostante studiosi di tutto il mondo si stiano occupando del problema, in actualità, ancora non è stato possibile trovare un modello matematico che sia in grado riprodurre con esattezza le forze che entrano in gioco in tale tipo di incidenti. Esistono, infatti, molte variabili che incidono pesantemente sul risultato lesivo.

## Diagnosi e classificazione del colpo di frusta

La diagnosi del colpo di frusta si basa sulla storia clinica, sul meccanismo del trauma, sui sintomi e sull'esame obiettivo.

Il paziente di solito racconta di essere stato tamponato in automobile e, comunque, di avere subito l'iperestensione del collo seguita dall'iperflessione; in altri casi, come è già stato ricordato, il meccanismo traumatico responsabile della distorsione può verificarsi nella pratica sportiva oppure, con minor frequenza, in seguito a cadute realizzatesi nelle attività ludiche.

Dopo aver verificato l'esposizione dei sintomi cervicali ricordati, l'esame obiettivo confermerà l'esistenza della contrattura muscolare paravertebrale e la limitazione della motilità cervicale. Sarà allora opportuno sottoporre il paziente ad una radiografia del rachide cervicale che generalmente, nelle proiezioni antero-posteriori, latero-laterali e trasversale, è sufficiente per dare un quadro dello stato della colonna vertebrale, cioè delle parti ossee e soprattutto dell'atteggiamento che si manifesta dopo la distorsione; mettendo in evidenza un'eventuale *rettilineizzazione* del tratto di rachide in esame o, addirittura, l'*inversione* della fisiologica lordosi nei casi più importanti.

I reperti radiologici sono di solito minimi o assenti in quanto le strutture ossee non sono interessate. In realtà *si può parlare di colpo di frusta o distorsione cervicale solo quando non si rilevano segni radiologici di danno delle vertebre cervicali, né segni clinici di lesione radicolare.*

Gli elementi di semeiotica radiografica da ricercare per scoprire, fin dal primo soccorso, una distorsione grave latente sono Secondo Pour Bissérie e Roy Camille et coll. <sup>50</sup> e <sup>51</sup>:

- 1 - aumento della distanza interspinosa ad un livello, rispetto al livello superiore ed inferiore;
- 2 - *bâillement* articolare posteriore;
- 3 - anterolistesi di un segmento superiore a 3,5 mm
- 4 - cifosi discale superiore di  $11^\circ$  rispetto agli spazi adiacenti.

Le radiografie sono utili anche per mettere in luce alterazioni strutturali preesistenti, come la presenza di osteofiti, l'assottigliamento dello spazio discale e l'assottigliamento dei foramen nelle vedute oblique.

Bisogna però ricordare che le lesioni dei tessuti molli, che peraltro sono le più frequenti, non si osservano nella maggior parte di queste

immagini.

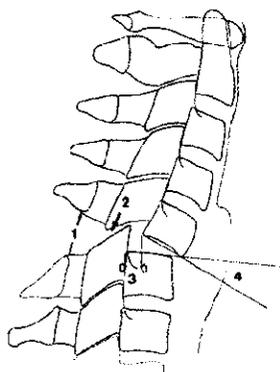


Figura 1 - Distorsione grave, segni radiologici

Per mettere in evidenza queste lesioni, occorre procedere con l'esecuzione di esami più accurati e sofisticati come la T.A.C. e la R.M.N. che saranno indispensabili per accertare gravi distorsioni cervicali che comportino la rottura del disco intervertebrale, del legamento trasverso oppure dei legamenti longitudinali anteriore o posteriore. Infatti, quando la rottura del legamento longitudinale posteriore è completa si produrrà d'emblée una lussazione.

La TAC (Tomografia Assiale Computerizzata) è utile per visualizzare il canale vertebrale e le modificazioni del diametro; per riconoscere gli ematomi, le condizioni del midollo e del sacco durale quantificandone il grado di compressione; le asimmetrie delle faccette articolari e la sublussazione rotatoria dei corpi vertebrali. E' un esame che espone il paziente ad una dose elevata di radiazioni ionizzanti, per cui va effettuato solo se ci siano dubbi diagnostici che una semplice radiografia standard non può dirimere.

Prima di sottoporre il paziente a tali costosi e sofisticati esami diagnostici, occorre avere il sospetto di lesioni di altre strutture non visibili ad una semplice radiografia. Questo per evitare di sottoporlo ad un'esagerata ed inutile esposizione di radiazioni ionizzanti, incrementando altresì senza motivo la spesa del nostro S.S.N.

La RMN (Risonanza Magnetica Nucleare) è in grado di dimostrare l'integrità dei tessuti molli, dei muscoli, dei legamenti e delle strutture nervose come il midollo spinale; diventa pertanto essenziale quando vi sia il sospetto di lesioni di queste strutture ed è un indispensabile strumento per il

chirurgo per evidenziare la sede precisa, l'estensione e la gravità di tali lesioni da operare. Non è un'indagine radiologica; le sue immagini sono derivate dall'energia liberata dai protoni di idrogeno presenti nel corpo umano ed è pertanto un esame non irradiante, ma le apparecchiature per eseguirlo sono altamente sofisticate e costose, perciò non sono disponibili presso tutti i centri ospedalieri.

Se sussistono sintomi algo-parestesici cervico-brachiali, cefalgici, vertiginosi e neurovegetativi, è opportuno ricorrere a metodiche diagnostiche elettro-neurofisiologiche (EMG completa del test di velocità della conduzione nervosa, che però ha significato attendibile solo dopo 3-4 settimane dal trauma), oto-neurologiche ed eco-sonografiche.

In definitiva, posto che in linea di massima, nel colpo di frusta i reperti strumentali sono frequentemente poveri ed i modelli tecnico-sperimentali intesi a stabilire una soglia distorsiva sicuramente produttiva di effetti lesivi sono troppo schematici, rispetto all'estrema variabilità delle condizioni traumatiche, lo stato dell'arte sembra suggerire come preferibile il riferimento a criteri anamnestico-clinici standardizzati, costruiti attraverso l'elaborazione di ampi dati statistico-clinici.

L'adozione di un protocollo diagnostico standardizzato è stata perseguita con successo dal gruppo di lavoro canadese, denominato *Quebec Task Force on Whiplash Associated Disorders*, al quale si è già fatto riferimento. E' appunto questo protocollo, rivisto dalla MAA (AU) che si propone in questa sede.

In base ai WAD (Whiplash Associated Disorders), il colpo di frusta è classificato in 5 gradi.

- *WAD di grado 0* (minimo): assenza di disturbi al capo, assenza di segni fisici (danni legamentosi o deficit neurologici).

- *WAD di grado 1* (lieve): presenza di disturbi al capo (rigidità o sensibilità), assenza di segni fisici.

- *WAD di grado 2* (moderato): presenza di disturbi al capo, segni di sofferenza muscolo-scheletrica che includono diminuzione dell'esecuzione di movimento e punti di sensibilità.

- *WAD di grado 3* (moderato-severo): presenza di disturbi al capo, presenza di segni neurologici (diminuzione o assenza di riflessi tendinei profondi, debolezza o deficit della sensibilità).

- *WAD di grado 4* (severo): presenza di disturbi al capo con aggiunta di fratture o lussazioni.

Secondo lo Spine Research Institute of San Diego l'evoluzione della patologia segue 4 stadi.

- *Stadio I* o acuto – fase infiammatoria, durata di 4-6 giorni.  
- *Stadio II* o subacuto – fase di riparazione dei tessuti, durata variabile dalle 3 alle 12 settimane.

- *Stadio III* – fase di rimodellamento, che si protrae per un anno o più.  
- *Stadio IV* o cronico – permanente.

La Consensus conference polidisciplinare "Il colpo di frusta" cervicale dalla clinica alla valutazione medico-legale, tenutasi a Venezia il 16-17 aprile 1999 ha proposto un'altra classificazione clinica:

*Grado I* - colpi di frusta con sintomatologia soggettiva temporanea a carico strutture deputate alla motilità del collo (equivalente al grado I della Q.C.), ovvero anche oggettiva (grado 2 della Q.C.), esaurita senza postumi.

*Grado II* - colpi di frusta con analoga sintomatologia, ed allegata persistenza - anche per anni - di una sintomatologia dolorosa locale e/o irradiata agli arti superiori, peraltro simulata nella sua realtà o nella sua intensità.

*Grado III* - colpi di frusta con cervicalgia reale protratta, spesso associata a brachialgia monolaterale o bilaterale, frequentemente concausata da preesistente cervicoartrosi, talora connotata da sofferenze radicolari maggiori; frequentemente associata con turbe strumentalmente oggettivabili dell'apparato vestibolare, più raramente dell'apparato uditivo, della vista, dell'apparato stomatologico (cosiddetti colpi di frusta "mandibolari").

*Grado IV* - colpi di frusta, spesso con dislocazione vertebrale, con conseguente discopatia unica o plurima (spesso non accertabile strumentalmente), protrusione discale o ernia discale a manifestazione clinica immediata o consecutiva.

*Grado V* - colpi di frusta di rilevante entità con conseguenti fratture e/o lussazioni- vertebrali amieliche.

*Grado VI* - colpi di frusta con lesione midollare, frequentemente dovuta a frattura e/o lussazione vertebrale;

*Grado VII* colpi di frusta con sofferenza di aree cerebrali dovuta a meccanismo diretto di concussione ovvero da spasmo temporaneo delle vertebrali.

## Trattamento tradizionale

Una soddisfacente impostazione del problema terapeutico dipende soprattutto da un'anamnesi accurata e da un esame clinico completo.

In assenza di fratture o lussazioni, l'ospedalizzazione non è necessaria che nei casi con storia di trauma cranico (con/senza commozione cerebrale), in quelli con segni neurologici dei quali sia opportuno sorvegliare assiduamente l'evoluzione e, infine, quando il dolore e lo stato emotivo del paziente siano tali da rendere difficile l'assistenza domiciliare.

### Fase acuta

### Terapia farmacologica

L'uso di tranquillanti o sedativi, nell'eventualità siano necessari, vale a ridurre l'ansia e può conseguire un effetto miorelaxante, effetto che non è certo dovuto ad un'azione diretta sul muscolo, ma probabilmente mediato, in via riflessa, dall'azione sulla sfera emotiva. Un uso eccessivo di tali farmaci è però controindicato in quanto può nascondere segni e sintomi importanti. Anche gli analgesici, per la stessa ragione, vanno assunti in dosi modeste.

### Immobilizzazione

Secondo l'orientamento tradizionale è opportuno l'uso di un collare. Lo scopo sarebbe quello sostenere il capo e il collo in una specifica posizione voluta, dettata dalla storia e dall'esame obiettivo, lenire il dolore, limitare al massimo irritazioni e danni radicolari, lasciare in scarico i muscoli in modo da ridurre la contrattura muscolare, impedire l'intensificazione dell'edema o dell'emorragia a carico dei tessuti molli, concedere subito al traumatizzato di muoversi senza dolore e senza rischi.

Alcuni autori prevedono che l'immobilizzazione del collo deve essere completa, in modo da impedire qualunque giuoco articolare tra l'occipite e l'atlante e fra l'atlante ed epistrofeo. Per quanto concerne la durata dell'immobilizzazione non vi è un canone ben preciso ed è perciò stabilito, a libero arbitrio, dal medico. Si è d'accordo su un'immobilizzazione precoce, cioè il prima possibile dopo il trauma, ma per quanto riguarda la durata è al-quanto variabile sia dalle condizioni del soggetto che, e

soprattutto, dalle scelte mediche per cui si potrà variare dai 15 ai 40 giorni anche. Bisogna tenere conto che il tempo necessario alla cicatrizzazione dei tessuti molli è di 15-20 giorni mentre i rischi di una eccessiva immobilizzazione sono:

- organizzazione del sangue stravaso e dell'edema;
- accorciamento dei muscoli contratturati;
- ispessimento dei tessuti periarticolari;
- atrofia muscolare;
- nevrosi d'allarme.

Verso la fine del periodo di immobilizzazione s'incomincia a rimuovere il collare per brevi periodi e poi, gradualmente, per periodi sempre più lunghi ma in un periodo abbastanza rapido fino ad arrivare ad indossarlo solo in occasione "pericolose" come tragitti in auto, attività fisiche importanti, oppure quando si accusa particolare affaticamento o tensione emotiva.

Per quanto riguarda l'uso del collare (frequentemente è usato l'aggettivo pleonastico *cervicale*, quasi a volerlo differenziare da improbabili collari dorsali o lombari!) occorre fare alcune osservazioni.

Il rachide cervicale risponde al trauma con una rigidità antalgica; la muscolatura si contrae per ridurre le sollecitazioni sul segmento lesa e le capacità articolari risultano globalmente ridotte in tutti i piani di movimento ed in particolare in quelli che sollecitano le strutture capsulo-legamentose stirate e/o lesionate. A livello cervicale le componenti capsulo-legamentose e muscolari svolgono non solo il ruolo di stabilizzazione passiva e di controllo attivo dei segmenti cervicali, ma costituiscono anche sede particolarmente ricca di propriocettori che intervengono nel controllo tonico posturale del capo e degli arti e rendono il distretto cervicale ed in particolar modo il livello C2-C3, paragonabile ad un "ponte propriocettivo".

I muscoli sottoccipitali sono ricchi sia di fusi muscolari in alta densità (da 100 a 500 per grammo di muscolo) localizzati per lo più nelle fibre muscolari lente, sia di corpuscoli tendinei del Golgi localizzati a loro volta nelle formazioni tendinee intermuscolari. Tale sistema propriocettivo risulta più ricco che nei muscoli degli arti e la continuità dei due tipi di recettori permette di controllare sia la lunghezza che la tensione di piccoli distretti dei muscoli nuchali. Poiché le afferenze propriocettive cervicali s'integrano con il sistema vestibolare ed oculomotore contribuendo alla rappresentazione dello schema corporeo nello spazio ed allo sviluppo di riflessi posturali, la muscolatura del rachide cervicale si trova a far parte di un circuito chiuso

afferente ed efferente in cui intervengono il sistema vestibolare ed il sistema visivo.

Orbene l'eccessiva immobilizzazione del collo comporta uno stato di ipomiotorfia della muscolatura paravertebrale, che determina oltre alle conseguenze sopra riportate, anche uno squilibrio di tutto l'apparato propriocettivo, messo a riposo per troppo tempo. La conseguenza clinica è una vertigine come sensazione soggettiva non rotatoria, breve, spesso evocata da un movimento del capo che conferisce un senso d'instabilità posturale in stazione eretta. Purtroppo, il paziente interpreta il disturbo come conseguenza di un'insufficiente immobilizzazione ed è indotto a mantenere il collare, anche senza indicazione del medico, aggravando la situazione.

In verità, recentemente l'indicazione del collare è stata molto ridimensionata. Secondo l'autore, nel colpo di frusta la necessità di un'immobilizzare prolungata del collo è limitata solo ai casi più gravi, mentre nella maggior parte delle situazioni è sufficiente mantenere il collare per 3-4 giorni. L'obiettivo, infatti, non è quello di immobilizzare il collo per attendere la guarigione di eventuali lesioni capsulo-legamentose (nel qual caso, il collare è comunque insufficiente, essendo preferibile una Minerva) che nella maggior parte dei casi non ci sono, ma quello di mettere per qualche giorno a riposo i muscoli paravertebrali, al fine di favorire la risoluzione della contrattura muscolare dolorosa, che frequentemente s'instaura dopo il trauma.

## **Fase subacuta**

### **Fisioterapia**

Normalmente, una volta rimosso il collare, prima di cominciare il trattamento cinesiterapico, vengono eseguite terapie fisiche. Spesso la prescrizione comprende l'affiancamento di termoterapie endogene o esogene, come radarterapia, infrarossi e correnti antalgiche, come TENS e ionoforesi.

La maggior parte dei pazienti riferisce un benefico effetto da tale terapia, anche se è possibile anche che, al contrario, esacerbino sintomi collaterali come nausea, vertigini, cefalea.

Lo scopo della fisioterapia è quello di migliorare la circolazione, ridurre il dolore, favorire il rilasciamento muscolare, effetti importanti che preparano il paziente alla cinesiterapia, che riveste un ruolo fondamentale.

## Massoterapia

Anche il massaggio, avendo un effetto antalgico e decontratturante, rientra tra i mezzi che preparano al trattamento riabilitativo avendo inoltre un'azione "dissipativa" sull'edema e d'incremento sulla circolazione locale. Nei giorni successivi al trauma i tessuti risultano troppo sensibili per consentire un massaggio realmente efficace. S'incomincia con un massaggio superficiale per stimolare le terminazioni nervose cutanee (stimolazione esterocettiva) per generare rilassamento e poi pian piano approfondire la manovra (vibrazioni, frizioni, impastamento) in modo da poter andare ad agire direttamente sul piano muscolare.

## Chinesiterapia

Rieducare la mobilità cervicale significa recuperare l'articolari per poterla utilizzare meglio. La rigidità del collo è molto fastidiosa, frena i movimenti di tutto il corpo, sollecita eccessivamente la mobilità oculare, scapolare e pelvica. Bisogna dissociare il collo rigido doloroso da quello che non lo è, cosa che porta a distinguere la perdita di "mobilità" determinata dal danno alle strutture articolari e muscolo-tendinee nella loro capacità di allungamento, dalla perdita di "motilità" determinata dalla perdita di abitudine della muscolatura nel distendersi. La prima determinerà la messa in gioco di forze estrinseche e intrinseche per recuperare questa capacità di allungarsi; la seconda di tecniche che mirano al recupero dell'attività dei differenti gruppi muscolari a contrarsi e soprattutto a distendersi in modo armonioso. Capita di frequente che siano associate queste due modalità in un paziente con rigidità cervicale come nel caso di traumatismi distorsivi (mobilità e tonicità del collo sono legate in maniera determinante alla vista, all'equilibrio, alla mimica del viso, ed in misura ridotta all'udito ed alla masticazione).

Il trattamento inizia con una mobilizzazione passiva associata a lievi massaggi e digitopressioni. Gran parte della prima fase è occupata dall'utilizzo di trazioni manuali, trazioni intermittenti tirando soprattutto nei tempi espiratori. Il paziente è supino con braccia distese leggermente abdotte e palmi delle mani supinati, deve concentrarsi sulla respirazione e durante l'espirazione insistere sul far abbassare lo sterno; in questo modo alla trazione del terapeuta è associato l'autoallungamento del paziente che

potrà poi essere esercitato autonomamente in ogni momento al di fuori della seduta.

La trazione manuale permette un buon controllo della posizione del capo e può essere ben dosata secondo le esigenze del caso. Ogni trazione energica è decisamente controindicata per un certo tempo dopo il trauma, infatti oltre ad andare a sollecitare le strutture articolari e legamentose irritate dall'insulto distorsivo, vincendo lo spasmo muscolare si provocherebbe un ulteriore contrattura di difesa.

Normalmente questa fase, associata ad una particolare attenzione alla respirazione, permette un buon rilassamento del paziente; certo la cosa non è immediata in quanto il terapeuta sta toccando una zona "pericolosa" che automaticamente spinge il paziente ad una reazione difensiva. Pian piano però il paziente imparerà a rilassarsi e a "fidarsi", permettendo così di agire su questo segmento traumatizzato.

Spesso il pompaggio è alternato a periodi di lieve massaggio destinati all'individuazione e trattamento di punti particolarmente contratti e dolenti, i punti trigger, lungo la muscolatura paravertebrale del collo ma soprattutto lungo il trapezio o l'elevatore della scapola. Anche i muscoli interscapolari sono spesso indolenziti e contratti in quanto, anche se l'insulto non è avvenuto direttamente in questa sede, si generano contratture antalgiche compensative. Inoltre con la palpazione ci si può meglio rendere conto della fisionomia della colonna cervicale, se vi è un appiattimento della lordosi fisiologica o viceversa un'accentuazione di essa, o individuare una particolare rotazione o inclinazione (nei limiti fisiologici) di una singola vertebra dettata facilmente, in questo caso, da precisi spasmi muscolari. In questo modo si ha l'opportunità di poter meglio indirizzare il trattamento dedicando parte della seduta ad un lavoro locale mirato affiancato a quello più globale.

Le prime mobilizzazioni passive, soprattutto rotazioni ed inclinazioni laterali, sono eseguite da una posizione di lieve trazione: in questo modo le articolazioni vengono leggermente decoattate e i muscoli messi leggermente in tensione. E' importante eseguire il movimento nel range articolare consentito in quanto, in questo momento, la riacutizzazione del dolore è solo controindicata perché determina l'insorgere di contratture di difesa ottenendo così un effetto contrario da quello voluto.

Quando si raggiunge la posizione massima la si mantiene per una decina di secondi e si invita il paziente a concentrarsi sulla respirazione in quanto consente un miglior rilassamento muscolare. Le prime sedute si esplicano essenzialmente su questi punti. Se queste prime manovre non

causano l'accentuarsi di problemi come l'aumento del dolore, ma soprattutto, vertigini, nausea e cefalea nelle successive si comincia ad insistere sullo stiramento muscolare e s'iniziano gli esercizi attivo-assistiti e attivi, molto blandi.

Per ciascun distretto dell'apparato locomotore, un episodio doloroso acuto è sorgente d'inibizione nel programma di funzionamento muscolare. La sollecitazione diretta del lavoro muscolare sul rachide doloroso aggrava ulteriormente questi fenomeni. Tuttavia è possibile reclutare i muscoli del collo senza dolore partendo da riflessi oculo-cervicali e da un lavoro intenso degli arti.

La mobilitazione dello sguardo in posizione estrema mentre il capo rimane immobile sul tavolo, determina delle microcontrazioni di tutta la muscolatura cervicale. Il paziente è invitato a concentrarsi sulla percezione del lavoro muscolare senza muovere il collo.

Anche il lavoro isometrico degli arti inferiori, del rachide lombare e degli arti superiori con forte resistenza determina un partecipazione della muscolatura cervicale senza movimento per "eccesso di energia".

Un maggior rilassamento muscolare lo si può ottenere anche attraverso il lavoro muscolare utilizzando la tecnica "contrarre-rilasciare" basata sull'utilizzo del rilassamento che segue ad una contrazione muscolare. Si chiede una contrazione isometrica breve che può avvenire in tutte le direzioni in quanto la resistenza è applicata tutto intorno al capo e al collo, seguita da un graduale rilassamento. Si privilegia il rilassamento tramite il contrasto contrazione-rilassamento e nello stesso tempo s'incomincia un lavoro muscolare attivo. Ad esempio: paziente in decubito supino, brevi sforzi per spingere l'occipite sul tavolo, seguiti dal rilasciamento della muscolatura cervicale il più completo possibile.

Volendo ora eseguire un lavoro isotonico si possono richiedere quei movimenti fino ad ora eseguiti passivamente sotto la direzione del fisioterapista: rotazione, inclinazione laterale, flessione prima da supini e successivamente da seduti davanti allo specchio, in modo da visualizzare anche il movimento e autocorreggersi, da questa posizione si può aggiungere l'estensione e, un po' più avanti, la circonduzione. Una volta raggiunta la posizione estrema, durante l'espiazione tentare di guadagnare ancora qualche grado d'articolazione, anche minimo. E' importante che gli esercizi siano fatti sempre lentamente.

Sempre da seduti, si possono inoltre eseguire altri esercizi come ad esempio: far scrivere i numeri o le lettere dell'alfabeto con la punta del naso, i più ampi possibili, in modo da descrivere delle traiettorie più complesse

che associno tutti i movimenti fino ad ora eseguiti solo singolarmente in quanto è questa la motilità richiesta nella quotidianità; si ricerca così l'armonia, la fluidità e la continuità del movimento.

Volendo inoltre stimolare "inconsiamente" la muscolatura del collo, può essere una buona indicazione l'utilizzo di una lente che obbliga la fissazione dello sguardo, cioè elimina la mobilità dei globi oculari, e comporta esclusivamente la partecipazione dei muscoli cervicali. L'esercizio consiste nel seguire un oggetto con una lente che raggiungerà posizioni tali da determinare un'escursione articolare massimale.

Il lavoro davanti allo specchio sarà poi quello che il paziente dovrà eseguire da solo anche a casa affiancato da manovre di stiramento passivo, sempre in tutte le direzioni. Ad esempio: flettere il collo con le mani dietro la nuca in modo che, raggiunta attivamente l'ampiezza articolare massima, si cerchi di guadagnare qualche grado in più, determinando così uno stiramento passivo. Lo stesso sarà per le inclinazioni laterali in cui la mano della stessa parte verso cui si eseguirà il movimento poggerà all'altezza dell'orecchio controlaterale, mentre per le rotazioni la mano, opposta alla direzione del movimento, farà leva all'altezza del mento.

Durante qualsiasi esercizio un'attenzione particolare è sempre rivolta alla postura globale, in quanto il corpo umano tende a generare sempre dei compensi, per cui la correzione posturale della parte del corpo direttamente interessata può avvenire a discapito di uno scorretto posizionamento di un'altro distretto anche distante. Perciò, ad esempio, è importante che durante gli esercizi da seduto i piedi siano appoggiati a terra con le gambe leggermente divaricate, la anche flesse a 90°, la colonna ben dritta in allungamento, osservare che le spalle siano rilasciate e alla stessa altezza, e che il capo non abbia alcuna deviazione.

Non è sufficiente cercare di recuperare una articolazione od un insieme articolare trascurando tutto ciò che riguarda la sua percezione e il suo controllo. La propriocezione della colonna vertebrale è la facoltà di individuare la posizione dei vari piani di questa struttura articolare complessa che dà l'avvio al suo funzionamento regolato. I legamenti ed i muscoli che tappezzano questa armatura articolata permettono il suo sostegno, la sua mobilità e la sua dinamica. Dei muscoli troppo tesi, dei legamenti irrigiditi aumentano la pressione sui dischi intervertebrali e generano dolori e limitazioni d'ampiezza. Se sono troppo deboli, disorganizzano la ripartizione degli appoggi sulle strutture intervertebrali provocando instabilità e sofferenza.

Un buon funzionamento della muscolatura vertebrale associa sempre una buona vigilanza dei muscoli ed un'elasticità dei legamenti, permettendo così di individuare tutte le informazioni relative al loro stato di tensione e al loro allungamento che sono le principali fonti di informazione e presa di coscienza delle diverse posizioni della colonna vertebrale.

Quando questo sistema automatico di gestione neuro-motoria funziona perfettamente, ripartisce le pressioni, fissa e mobilizza il tronco in funzione del movimento.

Le qualità di mobilità, di forza, di rapidità d'esecuzione e di resistenza della muscolatura, grazie alla perfezione del programma di questo sistema senso-motorio, permette all'insieme della colonna vertebrale di gestire in modo armonioso i movimenti coscienti e incoscienti del tronco. La ricchezza di questo programma permetterà alla colonna vertebrale di reagire meglio economizzando ogni volta che sarà sollecitata.

### **Punti trigger miofasciali**

Il punto trigger miofasciale è un focolaio d'iperirritabilità, solitamente all'interno di una bandeletta contratta di un muscolo scheletrico od in una fascia muscolare; doloroso alla compressione che può dar vita a caratteristici dolori proiettati a distanza attraverso i nervi sensitivi muscolari (secondo distribuzioni topografiche caratteristiche di ogni muscolo), a dolenzia alla palpazione, e a fenomeni autonomi. Classifichiamo i PT miofasciali come *attivi* o come *latenti*. Un PT attivo causa dolore nel paziente, un PT latente è clinicamente silente dal punto di vista del dolore, ma può causare limitazione del movimento e debolezza del muscolo colpito. Un PT latente può persistere per anni dopo un'apparente guarigione del trauma; predispone però ad attacchi acuti di dolore in quanto stiramenti, anche di minor importanza, uso eccessivo e raffreddamento del muscolo, possono essere sufficienti a ri-attivarlo.

In ogni singolo muscolo possono svilupparsi punti trigger miofasciali (PT) e possono essere attivati: direttamente dal sovraccarico acuto (quindi ad un evento specifico), dall'affaticamento da lavoro eccessivo (contrazioni eccessive ripetute o protratte), dal trauma diretto, e da alterazioni emotive o indirettamente da altri PT, da malattie viscerali, e da articolazioni artrosiche.

L'irritabilità dei PT attivi, cioè la soglia di stress necessario per produrre un dolore miofasciale, varia di ora in ora e di giorno in giorno. Dopo un trauma, la maggioranza dei tessuti guarisce, ma i muscoli

“imparano” ad evitare il dolore, cioè si “abituano a controllarsi”, limitando così il loro movimento. Ne derivano dolore muscolare cronico, rigidità e disfunzione.

Oltre al dolore, altri fenomeni sono spesso causati dai PT. Tra le concomitanti autonome nella zona d'irradiazione del dolore si osservano vascolarizzazione localizzata, sudorazione, lacrimazione, corizia, salivazione e attività pilomotoria, disturbi propriocettivi come disturbi dell'equilibrio, capogiro, tinnito, ed alterata percezione del peso degli oggetti tenuti in mano.

I motoneuroni che innervano i muscoli all'interno della zona di proiezione del dolore, funzionano come se la loro soglia alla stimolazione fosse ridotta. La disfunzione remota può influenzare i muscoli a notevole distanza. Sono possibili disturbi del sonno per il dolore prodotto dalla pressione del corpo in posizione sdraiata.

Obiettivamente si evidenzia quanto segue.

1 - Quando i PT attivi sono presenti, l'allungamento passivo o attivo del muscolo colpito aumenta il dolore.

2 - La possibilità d'allungamento passivo è limitata. L'aumentata tensione delle bandelette contratte non permetterà al muscolo di estendersi fino alla sua completa lunghezza. Tentativi forzati di fare ciò sono particolarmente dolenti.

3 - Il dolore aumenta quando il muscolo colpito è fortemente contratto contro una resistenza fissa.

4 - La forza massima contrattile di un muscolo colpito è diminuita.

5 - Dolenzia profonda e disestesia sono comunemente proiettati dai PT attivi miofasciali alla zona del dolore proiettato.

6 - Disturbi funzionali non sensitivi sono qualche volta indotti nella zona di proiezione.

7 - Alla palpazione il muscolo nelle immediate vicinanze di un PT è percepito come contratto.

8 - Il PT è riscontrato in una bandeletta palpabile come zona chiaramente circoscritta di particolare dolenzia.

9 - La pressione digitale applicata su un PT attivo crea solitamente il “segno del salto” (il dolore locale è così intenso da far sì che il paziente “salti” e gridi).

10 - La pressione moderata e protratta su di un PT sufficientemente irritabile, causa un'intensificazione del dolore nella zona di proiezione di quel PT.

11 - La cute di alcuni pazienti manifesta dermografia o pannicolosi nell'area sovrastante i PT attivi.

Esistono varie tecniche per inattivare i PT:

- Procedura d'allungamento e spruzzo: la componente essenziale è l'allungamento passivo. Una corretta tecnica di spruzzo refrigerante facilita l'allungamento del muscolo fino alla sua completa lunghezza. Il rilasciamento della tensione muscolare con l'allungamento e lo spruzzo è dimostrata dall'aumentata escursione del movimento.

- La compressione ischemica, cioè la pressione digitale applicata con fermezza al PT, il massaggio profondo con strofinamento (stripping), impastamento ed il massaggio vibratorio possono essere efficaci. Ognuno dei tre causa impallidimento (ischemia) con ipossia, seguiti da iperemia reattiva.

- La puntura dei PT con aghi a secco o con infiltrazione di soluzione salina o con anestetico locale.

- L'applicazione prolungata di ultrasuoni di bassa intensità. L'effetto riscaldante degli ultrasuoni arriva profondamente nel tessuto muscolare e può anche avere qualche addizionale effetto non termico, per l'agitazione delle molecole da parte delle onde sonore ad alta frequenza.

Indipendentemente dal modo di comparsa, improvviso o graduale, il dolore proiettato dai PT miofasciali è caratterizzato come un dolore continuo, profondo e acuto, solo raramente urente.

Il dolore da PT miofasciale è caratteristicamente aumentato:

1 - Dall'uso intenso del muscolo, specialmente in posizione d'accorciamento. Il poter definire con precisione il movimento che aumenta il dolore, permette di ottenere una prova fondamentale, su quale muscolo ospiti il PT responsabile.

2 - Dall'allungamento passivo del muscolo. Comunque, l'allungamento attivo, da parte dell'antagonista normalmente non causa dolore; i muscoli imparano rapidamente a limitare questo movimento.

3 - Durante la pressione sul PT.

4 - Dal posizionare il muscolo affetto in posizione accorciata per un periodo prolungato. Il dolore, la contrattiva sono spesso al massimo quando il paziente si alza dal letto al mattino o dalla sedia dopo un lungo periodo di immobilità.

5 - Dalla contrazione protratta o ripetuta del muscolo colpito.

6 - Dal clima freddo, umido, con le infezioni virali e durante i periodi di marcata tensione nervosa.

7 - Dall'esposizione ad una corrente fredda, specialmente quando il muscolo è affaticato.

8 - Da applicazioni fredde continuamente poste sull'area del PT. Comunque, gli impacchi freddi possono fornire un po' di sollievo quando vengono applicati alla zona di proiezione del dolore.

Invece il dolore da PT miofasciale è diminuito:

1 - Da un breve periodo di riposo.

2 - Dal lento, continuo allungamento passivo dei muscoli coinvolti.

3 - Quando il calore umido è applicato al PT. Il dolore è diminuito molto meno quando il calore è applicato sulla zona di proiezione.

4 - Da brevi periodi di leggera attività isotonica.

5 - Dalla specifica terapia miofasciale.

Le tensioni meccaniche che tendono ad attivare acutamente i PT miofasciali comprendono movimenti di torsione, incidenti d'automobile, fratture anche solo parcellari, distorsioni articolari, lussazioni, o colpi diretti sul muscolo. Nella maggioranza dei casi, i PT dovuti a tali traumi macroscopici occasionali sono facilmente inattivati non appena il trauma associato è guarito; comunque se non trattati, i PT possono persistere per anni. Frequentemente si possono riscontrare PT negli esiti del colpo di frusta.

Quando un nervo passa attraverso un muscolo tra bandelette contratte, o quando un nervo si trova tra bandelette contratte da PT ed osso, la pressione continua esercitata sul nervo può produrre una neuroaprassia, ma solo nella zona della compressione. Tra i nervi più coinvolti troviamo il *grande nervo occipitale* nel muscolo semispinale del capo, il *tronco inferiore del plesso brachiale* negli scaleni, *rami primari posteriori* nei muscoli paravertebrali.

Il paziente con questo tipo di compressione avrà probabilmente due gruppi di sintomi: dolore acuto proiettato dal PT nel muscolo colpito ed effetti da compressione nervosa (intorpidimento, formicolio, ipoestesia e qualche volta iperestesia). I segni e i sintomi di una neuroaprassia parziale possono qualche volta essere alleviati nel giro di pochi minuti dopo l'inattivazione dei PT miofasciali responsabili, il che immediatamente rilascia le bandelette contratte. Gli effetti di un'importante compressione possono richiedere giorni o settimane per una piena guarigione.

## Linee guida di trattamento

In questa sede faremo riferimento alle linee guida stilate dalla QTF.

Per la QTF l'anamnesi comprendeva solamente informazioni generali sul soggetto e sui sintomi specifici della patologia.

Le indicazioni per l'utilizzo della terapia chirurgica sono riservate ai casi di WAD di grado III con determinate caratteristiche. La MAA ha ritenuto opportuno specificare le occasioni in cui questo trattamento potrebbe portare benefici (ad esempio in casi di radicolopatia cervicale supportata da appropriate indagini strumentali).

Sulla base del consenso ottenuto fra i membri del gruppo di lavoro è stato deciso di dare importanza al dialogo medico-paziente includendo, come parte del trattamento, il dovere dei medici di rassicurare i pazienti spiegando loro la situazione e gli interventi più appropriati da adottare.

Il trattamento multidisciplinare è una novità apportata dalla MAA: secondo uno studio randomizzato controllato del '96 (Provinciali L. et al. 1996) è stato provato che con un approccio di questo tipo i pazienti presentavano un miglioramento del dolore, un ritorno alla propria occupazione più rapido e quindi una minore disabilità rispetto al gruppo di controllo a cui è stato somministrato un trattamento standard. E' da precisare che questo è indicato per casi di WAD non lieve (di grado II, III, IV) e riveste un ruolo fondamentale il graduale ritorno, per quanto possibile, all'attività lavorativa.

L'agopuntura è sconsigliata per i casi di WAD di grado I mentre, per gli altri casi, è raccomandata la valutazione del singolo paziente. Una revisione della Cochrane del '98 (Gross AR. et al. 1998) sull'uso di questa tecnica ha concluso che non sono presenti studi qualitativamente soddisfacenti per affermare l'efficacia dell'agopuntura. Per questo, sulla base del consenso dei suoi membri, il gruppo di lavoro raccomanda il suo utilizzo solo in casi particolari e solo nel caso in cui ci sia un evidente miglioramento.

Per quanto riguarda il trattamento farmacologico, i miorilassanti non sono consigliati, specialmente nella fase acuta, sulla base del consenso ottenuto fra gli esperti della MAA. Il trattamento farmacologico per la fase cronica, previsto dalla QTF (tranquillanti leggeri o antidepressivi), non è considerato nella revisione.

Trattamento riabilitativo: immobilizzazione e riposo. La QTF raccomandava il riposo solo per i WAD di grado II e III e per non più di 4 giorni, sulla base di una ricerca che rivelò la scarsità di dati al riguardo. La commissione aveva accertato che il riposo prescritto per 10-14 giorni in combinazione con collare morbido ed analgesici è controproducente. Una revisione randomizzata (Borchgrevink, GE 1998) su 201 pazienti ha dimostrato che i soggetti a cui è stato consigliato il riposo per 4 giorni, seguito dalla ripresa delle normali attività (per quanto possibile) hanno riportato un miglioramento dei sintomi maggiore, rispetto al gruppo trattato con riposo per 14 giorni in aggiunta al collare.

Collare: una revisione randomizzata controllata su 196 pazienti in fase acuta (Tennis P. et al. 1996) ha accertato che il collare morbido non riduce il normale range di movimento ed il suo utilizzo non influenza la durata del dolore. Una seconda revisione presa in considerazione dalla MAA (Gurumoorthy D. 1999) ha verificato su 220 casi acuti di WAD che i pazienti immobilizzati con collare per 4 giorni e sottoposti ad un periodo di esercizi, hanno avuto migliori risultati rispetto al gruppo di controllo a cui non è stato prescritto il collare.

Consigli posturali e mobilizzazione: nelle precedenti linee guida la mobilizzazione e l'allineamento posturale erano raccomandati sulla base del consenso all'interno della QTF. Nel 1996 è stato eseguito uno studio randomizzato controllato (Mealy et al.) in cui i pazienti sono stati divisi in tre gruppi e sottoposti a trattamenti diversi:

- Gruppo 1: analgesici + riposo.
- Gruppo 2: analgesici + mobilizzazione + esercizi attivi (ROM).
- Gruppo 3: analgesici + collare + allineamento posturale e mobilizzazione + esercizi attivi.

A due anni di distanza i pazienti del gruppo 3 presentavano una notevole diminuzione dei sintomi ed una riduzione del dolore maggiore rispetto al gruppo 1 e 2.

Un riallineamento posturale, affiancato da mobilizzazione ed esercizi attivi, è raccomandato; è da precisare il fatto che, per quanto riguarda la mobilizzazione, sono stati presi in considerazione solo gli effetti a breve termine.

Esercizi attivi: sulla base del consenso dei suoi membri, la QTF raccomandava gli esercizi attivi già nei primi giorni dal trauma in alternanza a periodi di riposo quando il dolore lo avesse reso necessario. Dalla revisione del 2000 è emerso che le informazioni presenti sono di basso livello scientifico tali per cui non possono essere accertati gli effetti benefici

(Gross AR 1998). Nella nuova proposta di L.G. sono inoltre stati aggiunti come parte integrante del trattamento riabilitativo esercizi di rieducazione muscolare ed esercizi isometrici a bassa intensità (consenso del gruppo di lavoro della MAA).

Terapie fisiche: le raccomandazioni per l'utilizzo delle terapie fisiche sono rimaste sostanzialmente invariate: le informazioni riportate nelle Linee Guida della QTF, frutto di uno studio randomizzato controllato, hanno ricevuto l'approvazione dal comitato di revisione.

Attività della vita quotidiana: grazie ad uno studio su 201 pazienti con WAD (Borchgrevink GE et al. 1995) le avq sono state aggiunte come parte integrante del trattamento riabilitativo: lo svolgimento dei compiti quotidiani, per quanto possibile, facilita infatti una ripresa più rapida dei soggetti.

Manipolazioni: la QTF include le manipolazioni nel trattamento del WAD anche se non erano evidenti prove che confermassero l'efficacia di questa terapia. La revisione sui trattamenti manipolativi pubblicata nel '96 (Hurwitz et al.) concluse che: *se non sono presenti informazioni sufficienti che provino gli effetti benefici, non ve ne sono neanche abbastanza per provare il contrario*. In sostanza, la MAA, non avendo la certezza che le manipolazioni diano un contributo positivo al miglioramento dei sintomi, le ha incluse nelle raccomandazioni precisando che l'utilizzo è giustificato solo in caso di miglioramento visibile del paziente.

Trazioni: nelle L.G. della QTF l'utilizzo delle trazioni era consigliato in concomitanza con altri interventi fisioterapici, sebbene ci fossero prove scarse che accertassero gli effetti benefici a breve termine. Un piccolo studio randomizzato controllato eseguito prima del '93 affermava inoltre l'assenza di effetti a lungo termine (2 anni) e provava che non erano presenti differenze fra trazione statica, intermittente e normale. La MAA ha preso in considerazione una revisione della Cochrane del '98 (Gross AR et al.) ed una revisione sistematica del '95 (Van Der Heijden) ed è stato concluso che, a causa dell'assenza di test specifici, è impossibile stabilire se questa terapia sia efficace o meno; per questo motivo l'uso della trazione deve essere valutato in base al singolo caso.

Trattamenti non raccomandati:

- Cuscino cervicale, spray e stretching: non sono stati revisionati studi attendibili che suggerissero l'utilizzo di queste tecniche.

- Iniezioni di farmaci steroidei: uno studio della QTF provò l'inefficacia delle iniezioni intra-articolari specialmente se eseguite in fase acuta.

- Altri interventi: nelle prime L.G. era consigliato di non prescrivere terapie alternative non validate. La MAA ha rinforzato le raccomandazioni riportando alcuni esempi di trattamenti il cui utilizzo non è giustificato (massaggio, omeopatia, Alexander technique,...).

Trattamenti non rilevanti per il trattamento in fase acuta:

- Iniezioni di acqua sterile e di anestetico locale: le prime erano considerate come opzione nel trattamento per il WAD di grado II nelle L.G. del '93. Dopo la revisione della MAA sono state classificate come procedure non rilevanti nel management della patologia.

## Conclusioni

La creazione di Linee Guida per il trattamento dei disturbi associati al colpo di frusta è un grande passo avanti in campo riabilitativo poiché da una parte sostiene i sanitari durante il management della patologia, mentre dall'altra assicura ai consumatori-pazienti una corretta assistenza.

E' però molto importante ricordare che le linee guida contengono raccomandazioni generali e non tengono conto dell'individualità di ciascun caso: ogni paziente è diverso dall'altro per il tipo di sintomi che avverte e l'intensità con cui si manifestano senza contare le caratteristiche personali come sesso, età e fattori psico-sociali.

Per questi motivi è fondamentale che la valutazione iniziale del paziente sia molto accurata e l'anamnesi corretta in modo da sottoporre il soggetto ad un trattamento appropriato in base alle sue esigenze.

Un aspetto non secondario che non dobbiamo dimenticare quando si parla di questo argomento è quello economico. Il colpo di frusta è, il più delle volte, una patologia temporanea ma invalidante e, per questo, è causa spesso di astensioni dal lavoro. E' importante inoltre sottolineare che la maggior parte dei colpi di frusta è causato da incidenti automobilistici ed i risarcimenti che le compagnie assicurative devono versare hanno un peso rilevante.

Occorre prendere in considerazione tutti questi aspetti per comprendere la direzione verso cui il trattamento sanitario si sta muovendo; è evidente, per questa patologia più che per tutte le altre, lo scontro fra il perseguimento del bene del paziente e la politica del minor spreco di risorse economiche possibile: la tendenza è quella di ridurre il periodo di ricovero e di prescrivere dei tempi di riposo minori per favorire una rapida guarigione del paziente, per diminuire i costi sociali (mutua) dovuti all'astensione del lavoro nonché i risarcimenti pagati dalle assicurazioni.

## Bibliografia

- 1, Allen BL, Ferguson RL, Lehmann TR, O'Brien RP. - A mecanistic of closed, indirect fractures and dislocations of the lower cervical spine. - Spine 1982;7 (1):1-27.
- 2, Argenson C, Frehel M, Lovet J, Griffet J, De Peretti F. - Les contusions médullaires cervicales graves sans lésion ostéo-discoligamentaire traumatique. - Rev Chir Orthop 1990; 76:507-518.
- 3, Argenson C. - Traumatismes du rachis cervical inférieur. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT. - Conférences d'enseignement de la SOFCOT 1994. Paris: Expansion Scientifique Française, 1994: 41-61.
- 4, Balla J.I.: The later whiplash syndrome. Cult. Med. Psychiatry, 6: 199-210; 1982.
- 5, Berquist TH. - Fractures and dislocations of the cervical spine. - In: Imaging of orthopedic trauma. BERQUIST TH. Raven Press, 1988, 157-166.
- 6, Bissérie M. - Les entorses graves du rachis cervical inférieur. - In: Roy-Camille; Rachis cervical traumatique non neurologique (1ères journées de la Pitié). Paris: Masson, 1979: 137-141.
- 7, Bissérie M. - Lésions du segment mobile rachidien. - In: Roy-Camille; Rachis cervical traumatique non neurologique (1ères journées de la Pitié). Paris: Masson, 1979: 133-135.
- 8, Bonucelli L., Fattori B., Ghilardi P.L., Casani A., Vatteroni U.R., Capetta M.: Agopuntura e vertigine cervicale: valutazione posturografica. Giornale italiano di Riflessologia, 3: 2-3; 1991.
- 9, Bourbeau R, Desjardins D, Maag U, Laberge-Nadeau C. - Neck injuries among belted and unbelted occupants of the front seat of cars. - J Trauma 1993;35:794-799.
- 10, Braakman M, Braakman R. - Hyperflexion sprain of the cervical spine. Follow-up of 45 cases. - Acta Orthop Scand 1987;58:388-393.
- 11, Braakman R, Penning L. - The hyperflexion sprain of the cervical spine. - Radiol Clin Biol 1968;3: 309-320.
- 12, Buzzi F., La distorsione cervicale, Ed.Mes., Pavia, 1996; 33.
- 13, Carette S.: Whiplash injury and chronic neck pain. N. Engl. J. Med., 330: 1083-84; 1994.
- 14, Chamfrault A.: Traité de Médecine Choise. Tome III, Chamfrault ed Angoulême, 1961.
- 15, Coan R.M., Wong G., Coan P.L.: The acupuncture treatment of neck pain: a randomized controlled study. Am. J. Clin. Med., 9: 327-332; 1982.

- 16, Davis SJ, Teresi LM, Bradley WG, Ziemba MA, Bloze AE. - Cervical spine hyperextension injuries: MR findings. - *Radiology* 1991;180: 245-251.
- 17, Di Concetto G., Sottle L., Pippa L., Muccioli M.: Trattato di agopuntura e medicina cinese. UTET Torino, 1992.
- 18, Emery SE, Pathria MN, Wilber RG, Masaryk T, Bohlman HH. - Magnetic resonanced imaging of posttraumatic spinal ligament injury. - *J Spinal Dis* 1989;2:229-233.
- 19, Evans DK. - Anterior cervical subluxation. - *J Bone Joint Surg* 1976; 58B:318-321.
- 20, Gagey P.M., Toupet M.: Le vieillissement du systeme postural fine: effects compares des atteintes vestibulaires. In: "Atti del II Meeting sui disturbi dell'equilibrio" (Milano 1990), ed. Cesarani, Arpini; pagg. 141-160 BI e GI, Verona, 1991
- 21, Gagey P.M.: Clinique posturale. In: Atti del I Meeting sui disturbi dell'equilibrio (Milano, 1989) ed. Cesarani, Arpini: 37-42; Mediamix, Milano 1990.
- 22, Green JD, Hartle TS, Harris JH. - Anterior subluxation of the cervical spine: Hyperflexion sprain. - *Am J Neuroradiol* 1984;2:243-250.
- 23, Guidetti G.: Stabilometria clinica. CRS. Amplifon Milano, 1989.
- 24, Han I.: Central neurotransmitters and acupuncture analgesia. In: Pomeranz B., Stux G.: (EDS) Scientific bases of acupuncture. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York pp. 7-33.
- 25, Harris JH. - Radiographic evaluation of spinal trauma. - *Orthop Clin North Am* 1986;17:75-86.
- 26, Hell W., Langwieder K., Munker H., Chen E.: Cervical spined injures in car collision. XI Annual Meeting Cervical Spine Research Society. June 7-10 1995, Earlangen Germany.
- 27, Hinoky M.: Vertigo due to whiplash injury: a neurological approach. *Acta Otolaryngol. (Stockh)*, suppl. 419: 9-29; 1985.
- 28, Hohl M. - Soft tissue injuries of the neck in automobile accidents. Factors influencing prognosis. - *J Bone Joint Surg* 1974;56A:1675-1682.
- 29, Hohl M.: Soft tissue injuries in automobile accidents: factor influencing prognosis. *J. Bone Joint Surg. (Am)* 56: 1675-82; 1974.
- 30, Hohl M.: Soft tissue neck injures. *The Cervical Spined II ed.*: 436-441; 1992.
- 31, Jonsson H, Bring G, Rauschnig W, Sahlstedt B. - Hidden cervical spined injuries in traffic accident victims with skull fractures. - *J Spinal Disord* 1991;4:251-263.
- 32, Jonsson H, Cesarini K, Sahlstedt B, Rauschnig W. - Findings and outcome in whiplash-type neck distortions. - *Spine* 1994;19 (24): 2733-2743.
- 33, Laporte C. - Les entorses graves du rachis cervical inférieur. À-propos de 44 cas. - [Thèse med]. PARIS VI, 1996.
- 34, Lenti G., Cattaneo S., Zaffarana V., Nembro E.: Il trattamento post-acuto del colpo di frusta cervicale. Cefalee Cervicogenetiche. Farmaci, terapia fisica, riabilitazione. Pagg. 91-98; 1990.
- 35, Louis R, Castera G. - Entorses graves du rachis cervical inférieur. - In: BOMBART M, ROY-CAMILLE R; Les traumatismes récents du rachis cervical inférieur. Paris: *Rev Chir Orthop*, 1984: 527-532.
- 36, Louis R. - Traumatismes du rachis cervical: 1) Entorse et hernies discales. 2) Fractures et luxations. - *Nouv Presse Med* 1979;8:1843-1849; 1931-1937.
- 37, Maciocia G.: The foundation of chinese medicine. Edimburg, U.K., 1988.
- 38, Macnab I: Acceleration injures of the cervical spine. *J. Bone Surg.*, 46 A: 1797-99; 1964.
- 39, Mazur JM, Stauffer ES. - Unrecognized spinal instability associated with seemingly «simple» cervical compression fractures. - *Spine* 1983; 8:687-692.
- 40, Newman P.K.: Whiplash injury. *Br. Med. J.*: 301-395; 1990.
- 41, Norris S.H.: The prognosis of neck injures resulting from rear and vehicle. *J. Bone Joint Surg. (Am)*, 56: 1675-82, 1974.
- 42, O'Neill B, Haddon W, Kelley AB. - Automobile head restraints-frequency of neck claims in relation to the présence of head restraints. - *Am J Public Health* 1972;62:399-406.
- 43, Oosterveld W.J., Korstschot H.W.: Otoneurological pathology induced by rear-end car collisions. XI Annual Meeting Cervical Spine Research Society. June 7-10 1995, Earling Germany.
- 44, Pearce J.M.S.: Neck sparains after car accidents. *Br. Med. J.*, 289: 1581; 1989.
- 45, Pearce J.M.S.: Whiplash injury: a rappraisal. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 52: 1329-31; 1989.
- 46, Penning L. - Prevertebrae hematoma in cervical spined injury: Incidence and etiologic significance. - *AJR* 1981;136:553-561.
- 47, Pistor M.: La Mesotherapie. Malaine, 1967.
- 48, Pomeranz B., Stux G.: (EDS) Scientific bases of acupuncture. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1988.
- 49, Rizzolo SJ, Piazza MR, Cotler JM, Balderston RA, Schaefer D, Flanders

- A. - Intervertebral disc injury complicating cervical spine trauma. - *Spine* 1991;16:187-189.
- 50, Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D, Bissérie M. - Entorses graves du rachis cervical. Traitement par voie postérieure. - *Rev Chir Orthop* 1978;64:677-684.
- 51, Roy-Camille R, Saillant G, Berteaux D, Lorta-Jacob A, Bissérie M. - Entorses graves par lésion traumatique du segment mobile rachidien (SMR) de la colonne cervicale. - *J Chir (Paris)* 1977;113: 121-130.
- 52, Schneider RC, Cherry G, Pantek H. - The syndrome of acute central cervical spinal cord injury (with special reference to the mechanism involved in hyperextension injuries of the cervical spine). - *J Neurosurg* 1954;11:546-577.
- 53, Sénagas J, Vital JM, Barat M, Caillé JM, Dabadie Ph. - Traumatismes du rachis cervical. - *Encycl Méd Chir (Appareil locomoteur)* 1987;15825 A10; 9:21-p.
- 54, Sotte L., Muccioli M.: Diagnosi terapia in agopuntura e medicina cinese. Ed. Tecniche Nuove, 1992.
- 55, Spitzer WO, Skowron ML, Salmi LR, et Coll. - Scientific monograph of the Quebec task force on whiplash associated disorders: redefining «whiplash» and its management. - *Spine* 1995;20 (suppl 8):73-p.
- 56, States J.D., Blarak J.K., Williams I.S. et Al.: Injury frequency and head restraint effectiveness in rear-end impact accidents. Proc. 16th Car Crash Conference, Detroit, 1972.
- 57, Stauffer ES. - Subaxial injuries. - *Clin Orthop* 1989;239:30-40.
- 58, Terkhov Y.: Stabilometry and aspects of its applications: a review. *Biomed. Eng.*, 11: 12; 1976 (citato da Franchignoni e Giordano, 1990).
- 59, Toggia J.: Acute flexion-extension injury of the neck. Electronystagmographic study on 309 patients. *Neurology*, 26: 808-14; 1976.
- 60, Torg JS, Pavlov H, Genuario SE. - Neurapraxia of the cervical spinal cord with transect quadruplegia. - *J Bone Joint Surg* 1988;68A:1354-1370.
- 61, Webb JK, Broughton RB, MC Sweeney T, Park WM. - Hidden flexion injury of cervical spine. - *J Bone Joint Surg* 1976;58-b:332-337.
- 62, White AA, Johnsson RM, Panjabi MM, Southwick WO. - Biomechanical analysis of the clinical stability in the cervical spine. - *Clin Orthop* 1975;109:85-95.
- 63, White AA, Southwick WO, Panjabi MM. - Clinical instability in the lower spine. A review of past and current concepts. - *Spine* 1976;1:15-27.
- 64, Wilberger JE, Maroon JC. - Occult posttraumatic cervical ligamentous instability. - *J Spinal Dis* 1990;3:156-161

- 65, Zhang S., Luoy: Vertigo treatment with scalp acupuncture. *J. Tradit. Chin. Medicine*, 11: 26-28; 1991.
- 66, Zizzo A., Ercolani M.: La vertigine. A.M.A.B. 4° Congresso di Agopuntura. *La Neurologia*, pagg. 29-34.