



A.D. MDLXXII

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SASSARI

SCUOLA DI DOTTORATO IN SCIENZE BIOMEDICHE

INDIRIZZO IN ODONTOSTOMATOLOGIA PREVENTIVA

XXIV CICLO

**UTILIZZO DELL'ELETTROMIOGRAFIA NELLA DIAGNOSI E TERAPIA  
DEI DISTURBI CRANIO-MANDIBOLARI**

**Relatore:**

*Prof. Giacomo Chessa*

**Tesi di dottorato di:**

*Dr. Alessandro Minniti*

**Responsabile di indirizzo:**

*Prof.ssa Egle Milia*

**Direttore della scuola:**

*Prof. Eusebio Tolu*

ANNO ACCADEMICO 2010-1011



# **Utilizzo dell'elettromiografia nella diagnosi e terapia dei disturbi cranio-mandibolari**

## **Introduzione**

*Sistema Stomatognatico*

*Articolazione temporo-mandibolare*

*Sistema neuromuscolare*

*Apparato dento-parodontale*

*I movimenti della mandibola*

*I disordini cranio-mandibolari*

*RDC*

*Indagini strumentali dei DCM*

*Alternativa all'RDC*

## **Scopo del lavoro**

## **Materiali e metodi**

## **Risultati**

## **Discussione**

## **Bibliografia**



## INTRODUZIONE

### Sistema stomatognatico

Il sistema stomatognatico (SSG), od organo della masticazione è un complesso funzionale unitario preposto ad una serie di funzioni indispensabili alla vita rappresentate dall'assunzione del cibo, masticazione fonazione deglutizione e respirazione.

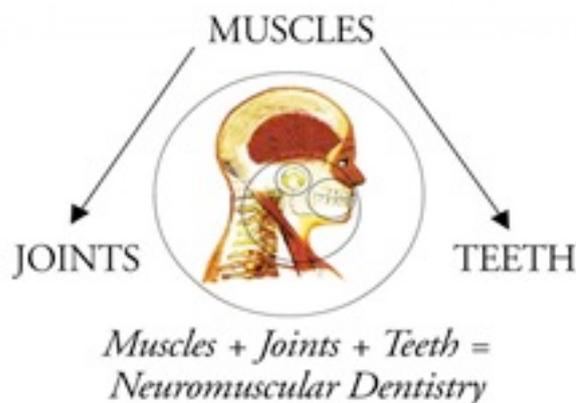
esso è costituito da cinque componenti fondamentali : articolazione temporo-mandibolare (ATM), muscoli masticatori, sistema neuromuscolare (SNM), apparato dento-parodontale (ADP), lingua.

il SSG, costituito da componenti strutturalmente diverse tra loro, non potrebbe esplicare le proprie funzioni se non costituisse un'unità fisiologicamente caratterizzata da un delicato e perfetto equilibrio delle sue parti.

Gli impulsi che regolano la contrazione dei muscoli masticatori ed i movimenti dell'ATM partono dai propriocettori periferici situati nel legamento parodontale e nella gengiva i quali percepiscono la consistenza dei cibi introdotti nel cavo orale.

tali impulsi attraverso le vie sensitive raggiungono i centri sensitivi e motori del SNC da cui partono gli impulsi che lungo le vie motrici pervengono agli effettori muscolari.

i rapporti funzionali del SSG possono pertanto essere schematizzati come segue:

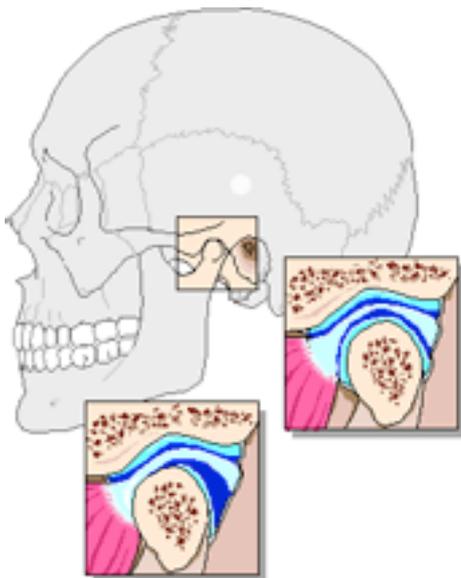


la funzionalità del SSG è anche condizionata dalla corteccia cerebrale che regola l'attività dei centri sensitivi e muscolari del bulbo e del ponte.

## **Articolazione temporo-mandibolare (ATM)**

L'articolazione temporo mandibolare è una articolazione bicondiloidea doppia dotata di ampia mobilità che lavora sempre contemporaneamente in entrambi i lati.

ciascuna ATM risulta costituita dal condilo mandibolare, dal tubercolo articolare del temporale o condilo temporale, dal settore anteriore della cavità glenoide, dal menisco, dalla capsula articolare e dai legamenti intrinseci ed estrinseci.



l'ATM non è imm modificabile bensì subisce negli anni un'adattamento agli stimoli funzionali mediante un meccanismo osteo-genetico e osteo-clastico.

se gli stimoli meccanici che agiscono sulle atm superano le capacità di adattamento di quest'ultima si può sfociare in quadri patologici funzionali ed oragnici di osteoartrite.

la fisiologia del SSG indica che l'ATM non guida il il SSG bensì è guidata dalla funzione occlusale e muscolare.

tale rapporto è confermato dalla patologia dato che i disturbi dell'ASG e dell'ATM nella maggior parte dei casi sono legati ad una alterazione del combaciamento dentario.

Si può pertanto affermare che contrariamente a quanto si riteneva in passato e cioè che l'ATM fosse elemento di guida di tutto l'apparato stomatognatico primaria importanza riveste nell'ambito di tale apparato il complesso dento-parodontale e più precisamente il combaciamento dentario che per via riflessa condiziona la funzione dei muscoli e delle ATM.

### **Recettori dell'articolazione temporo-mandibolare**

Questi recettori hanno un ruolo importante nella percezione cosciente del movimento e della posizione della mandibola e probabilmente partecipano anche alla regolazione riflessa del movimento mandibolare. Nella capsula e nei legamenti della ATM sono stati identificati istologicamente quattro tipi di recettori: recettori di Ruffini, di Golgi, di Pacini e terminazioni libere di fibre mieliniche ed amieliniche, molte delle quali di tipo nocicettivo. I recettori sono più numerosi nelle regioni laterali e posteriori della capsula articolare e sono innervati da fibre che decorrono nel nervo auricolo-temporale. Sono stati identificati due tipi funzionali di recettori: a rapido ed a lento adattamento. I primi si eccitano solo all'inizio di un movimento di abbassamento, ovvero all'inizio di un movimento di elevazione della mandibola. L'eccitazione è determinata dalla rapida deformazione della capsula articolare, provocata dalla rotazione del condilo. I recettori a lento adattamento scaricano invece per tutto il tempo in cui il condilo è ruotato, ma non nella posizione di riposo; la frequenza di scarica è in funzione della estensione del movimento articolare.

Gli effetti centrali provocati dalla stimolazione dei recettori della ATM sono poco noti. Parte di questi recettori, almeno quelli eccitati dal normale movimento dei condili, provoca effetti eccitatori sui muscoli elevatori quando la mandibola viene abbassata.

## **Sistema neuro-muscolare**

I muscoli masticatori sono muscoli scheletrici volontari la cui funzione dipende dal SNC sia nella contrazione volontaria che in quella riflessa.

essi sono devoluti alla funzione della masticazione, della fonazione e della deglutizione.

la funzione dei muscoli masticatori è complessa sia nel senso che ciascun muscolo masticatorio ha una funzione principale sia nel senso che ciascun movimento mandibolare è legato a più muscoli.

i muscoli masticatori si dividono in in muscoli elevatori, abbassatori, protusori, retrusori e abduttori.

### **Muscoli elevatori**

I muscoli interessati sono i masseteri, i temporali e gli pterigoidei interni ed agiscono nella fase di chiusura della mandibola.

### **Muscoli abbassatori**

I muscoli utilizzati sono considerati muscoli flessori fisiologici e sono: muscoli digastrici, pterigoidei esterni, i miloioideo e genioioidei.

### **Muscoli di protrusione e retrusione**

I muscoli che producono lo spostamento in avanti della mandibola (protrusione) sono gli pterigoidei interni ed esterni, i muscoli invece che provocano la retroazione della mandibola sono i temporali con i fasci posteriori, aiutati dai digastrici.

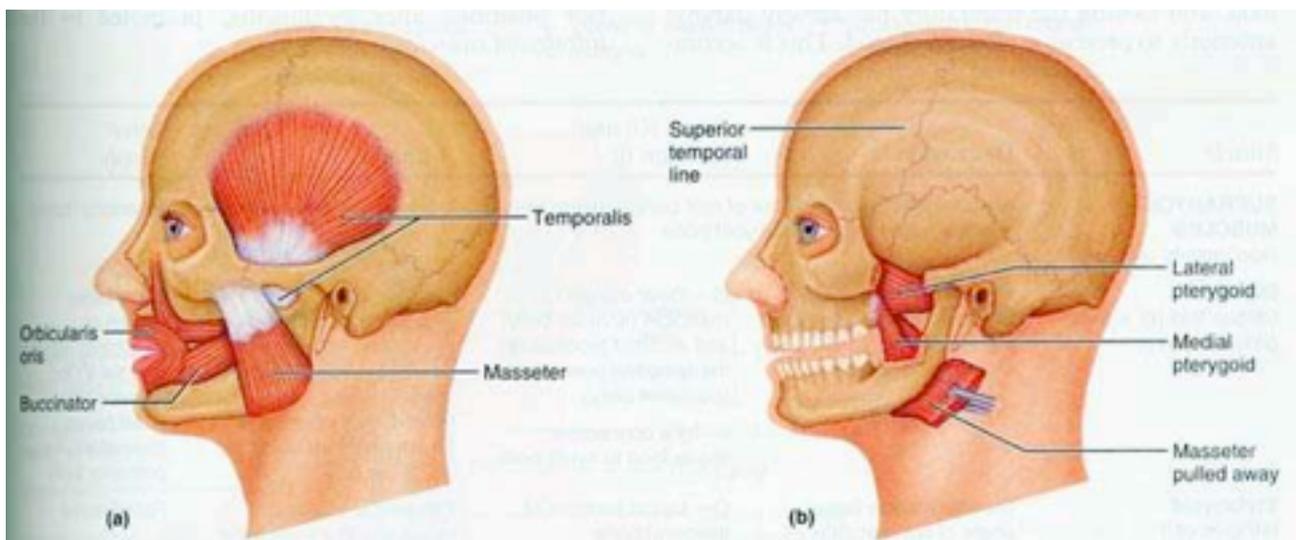
### **Muscoli abduttori e adduttori**

I muscoli che producono abduzione e adduzione sono gli pterigoidei interni ed esterni, la mandibola si sposta in direzione del lato controlaterale ai muscoli che si contraggono. L'adduzione della mandibola può essere passiva od attiva, la prima per rilasciamento dei muscoli, la seconda per contrazione dei muscoli al lato verso cui la mandibola si sposta.

### **Fattori nervosi**

La masticazione è un evento ritmico, la cui sequenza è generata nel tronco dell'encefalo, che viene modificato da informazioni provenienti dal sistema nervoso centrale e da quello periferico. Non la sequenza degli atti masticatori, ma il loro ritmo sarebbe invece determinato da un centro sito nella sostanza reticolare della base dell'encefalo. Ad un livello più basso di organizzazione gerarchica, sono coinvolti i nuclei motori dei nervi cranici ed i nuclei sensitivi, specialmente trigeminale e tratto solitario. Questi ultimi ricevono informazioni dalla periferia e le trasmettono ai centri superiori oppure, direttamente o indirettamente, ai motoneuroni dei nervi cranici, come avviene in alcuni riflessi. Il ruolo della corteccia cerebrale nella masticazione non è ancora completamente chiarito. La zona motrice corticale per la lingua e la mandibola è localizzata nei giri precentrale e postcentrale. Nella scimmia, la zona corticale motrice dei singoli muscoli si modifica variando la profondità della stimolazione corticale. E' probabile che la funzione della corteccia cerebrale sia quella di iniziare il movimento di apertura della bocca, all'inizio dell'atto masticatorio, e di elaborare ed integrare le informazioni provenienti dalla periferia. La corteccia cerebrale, cioè, utilizzando le informazioni che le giungono dal cavo orale e dall'apparato muscolo-articolare della mandibola, può modificare, nel corso della masticazione, sia l'attività stessa del generatore centrale

che i riflessi che controllano i muscoli masticatori. Nella scimmia, l'ablazione bilaterale dell'area masticatoria, dell'area cioè la cui stimolazione produce movimenti ritmici mandibolari, è seguita da gravi difficoltà ed alterazioni della masticazione, particolarmente accentuate nel primo periodo post-operatorio. La lesione provoca anche alterazioni gravi del movimento della lingua e della deglutizione. Nel successivo periodo, l'animale riprende a masticare, ma spesso permangono a lungo, o definitivamente, alterazioni del normale ritmo masticatorio. L'alterazione residua è tale da suggerire che, in mancanza dell'area corticale motrice, il generatore sottocorticale possa semplicemente determinare un'alternanza nell'attività dei motoneuroni trigeminali antagonisti, con ridotte possibilità di modificarne in modo dinamico l'attività, adattandola alle mutate condizioni della periferia. Si possono pertanto ipotizzare almeno due vie efferenti dalla corteccia cerebrale: la prima diretta al nucleo motore del trigemino e la seconda al centro della masticazione nel tronco dell'encefalo. Il ritmo masticatorio sarebbe invece sostenuto da un altro centro, situato nella sostanza reticolare.

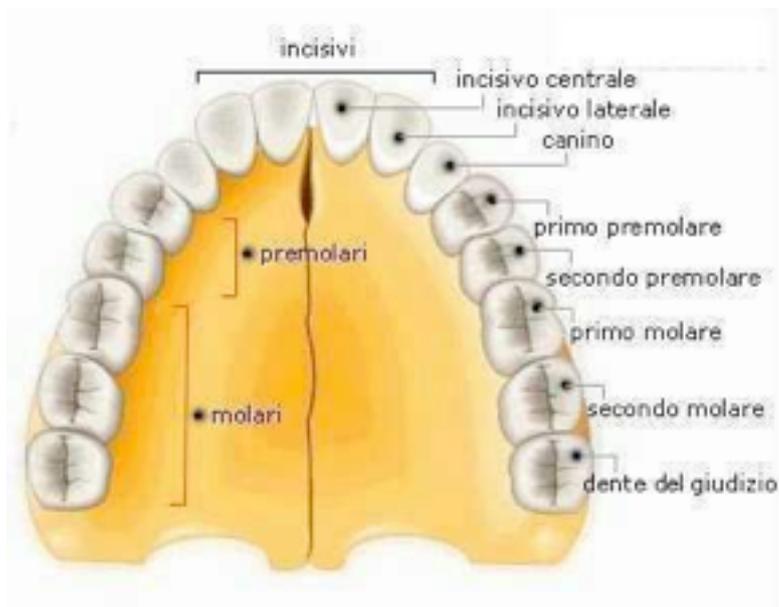


## Apparato dento-parodontale

Oltre alle caratteristiche anatomiche del parodonto, già viste in precedenza, riveste particolare importanza, nella fisiologia del SSG, la morfologia delle superficie occlusale ed in particolare:

cuspidi e fosse

creste che uniscono le cuspidi

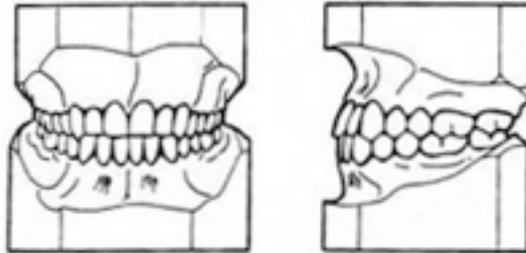


Partendo dai concetti della gnatologia in relazione alla forma e funzione dell'apparato dento-parodontale classica possiamo estrapolare le seguenti definizioni:

Alessandro Minniti Diagnosi e terapia dei disturbi cranio-mandibolari  
Scuola di dottorato in scienze biomediche -indirizzo in odontostomatologia preventiva  
Università degli Studi di Sassari

## OCCLUSIONE CENTRICA

Corrisponde alla massima intercuspidação tra i denti antagonisti delle due arcate con la mandibola in relazione centrica



### RELAZIONE CENTRICA:

E' il rapporto intermascellare in cui la mandibola si trova nella posizione fisiologicamente più retrusa (non forzata) e della quale siano possibili tutte le escursioni mandibolari

### **Innervazione del legamento periodontale**

Il legamento periodontale è riccamente innervato da grosse fibre mieliniche ed amieliniche. Parte delle fibre amieliniche è di tipo vegetativo, associata ai piccoli vasi del periodonzio ed in parte origina da nocicettori. Le fibre mieliniche di grosso diametro terminano in corpuscoli ed apparati recettoriali più o meno complessi, che potrebbero svolgere la funzione di meccanocettori. Questi recettori dovrebbero essere considerati veri e propri recettori profondi o propriocettori, essendo situati in un tessuto articolare, ma vengono in genere inclusi fra i pressocettori del cavo orale. Possono anche essere considerati un tipo speciale di recettori di tatto-pressione, in quanto responsabili della sensazione coscente di contatto del dente. Talune fibre afferenti dei meccanocettori periodontali hanno la cellula di origine nel ganglio semilunare, altre nel nucleo mesencefalico del trigemino. Il movimento del dente, sottoposto a pressioni esercitate nelle diverse direzioni, provoca compressioni in alcune zone dei tessuti periodontali e trazioni in altre. E' probabile che taluni recettori vengano eccitati sia dalla compressione che dalla trazione, mentre altri sono eccitati dall'una ed inibiti dall'altra. La soglia di eccitabilità dei meccanocettori periodontali è

molto bassa: sono in genere sufficienti spostamenti del dente di soli 2 micron. La soglia, espressa in grammi, è nell'ordine di 3 - 10 g, ma alcune fibre possono scaricare per un carico di un solo grammo. La soglia più bassa è stata trovata nei meccanocettori degli incisivi, che hanno la maggiore mobilità, mentre la più alta per quelli dei molari, che sono provvisti di un sistema più rigido di ancoraggio all'alveolo. I meccanocettori periodontali possono essere sia a rapido che a lento adattamento. Le unità a rapido adattamento sono sensibili alla velocità dello spostamento, quelle a lento adattamento sono invece egualmente sensibili alla velocità (fase dinamica) che alla dislocazione statica del dente, in quanto rimangono eccitate per tutto il tempo in cui la forza viene mantenuta costante (fase statica). La frequenza di scarica dei recettori a lento adattamento è proporzionale, entro certi limiti, alla intensità della forza applicata. Praticamente tutti i recettori periodontali rispondono in modo differenziato a forze applicate al dente in una particolare direzione, anche se esiste una soglia più bassa per stimoli applicati in una direzione ottimale.

L'intera categoria dei meccanocettori periodontali ha azioni complesse sui motoneuroni del trigemino, potendo sia eccitare che inibire i motoneuroni dei muscoli elevatori. E' probabile che i tipi di recettori che provocano effetti sinaptici di segno opposto siano tra loro diversi, o per soglia o per sensibilità a stimoli specifici, ovvero che le loro afferenze vengano controllate a livello centrale da un meccanismo nervoso che ne può selezionare l'utilizzazione.



### **Funzioni riflesse delle afferenze periferiche**

Esistono strette correlazioni funzionali tra strutture di controllo della posizione delle due arcate dentarie e l'intero apparato muscolare motore della mandibola. Le pressioni esercitate dai singoli denti, nella chiusura della bocca e nella masticazione dei cibi, rilevate dai recettori peridontali, della capsula articolare e dei ligamenti, vengono trasmesse ai muscoli della masticazione. Essi possono in tal modo adeguare la loro forza di contrazione ed il loro tono di riposo ai riferimenti provenienti dai denti e dall'articolazione temporomandibolare. Possono comparire disfunzioni dell'apparato

muscolare della mandibola quando si hanno alterazioni importanti della fisiologica articolarietà dentaria.

## **MOVIMENTI DELLA MANDIBOLA**

I movimenti della mandibola sono tutti bicondilarari, in quanto vengono sempre impegnate contemporaneamente le articolazioni dei due lati.

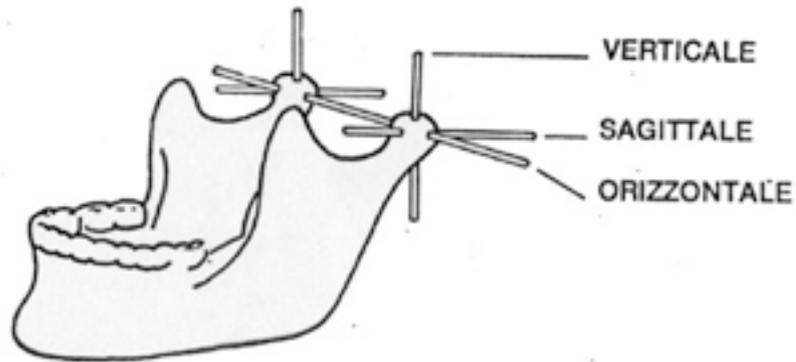
Possono avvenire per rotazione e/o traslazione condilare, nei tre piani dello spazio: sagittale mediano, frontale ed orizzontale, fra loro ortogonali. Per seguire i movimenti elementari che la mandibola compie nello spazio occorre quindi definire i singoli piani dello spazio a cui si fa riferimento e gli assi intorno ai quali avvengono i movimenti di rotazione dei condili.

Il piano sagittale, disposto in senso verticale ed antero-posteriore, in realtà non è unico: sono infatti infiniti i piani sagittali che attraversano il cranio con direzione verticale ed andamento antero-posteriore.

Il piano sagittale mediano è invece ben definito, in quanto è l'unico che, passando per la sutura intraparietale, divide il cranio in due metà speculari, destra e sinistra. Anche i piani frontali ed i piani orizzontali sono infiniti per definizione e dividono il cranio, rispettivamente, in piani anteriori e posteriori o superiori ed inferiori.

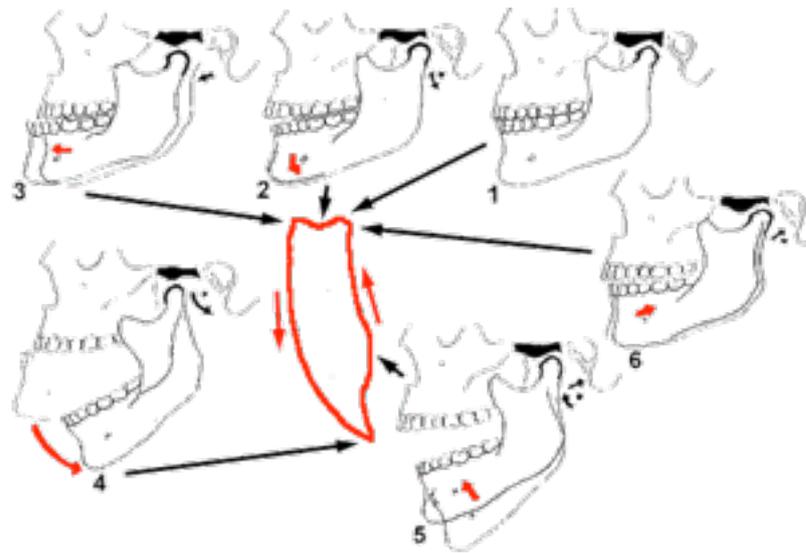
Per quanto riguarda gli assi di rotazione dei condili, i movimenti articolari possono avvenire intorno a tre assi: orizzontale, verticale ed antero-posteriore di cui uno solo, quello orizzontale, è comune ad uno dei due condili: è bicondilare. Quando i condili ruotano intorno all'asse bicondilare, il loro movimento è sempre consensuale e la mandibola si muove nel piano sagittale.

Se la rotazione avviene intorno ad uno degli assi verticali od anteroposteriori si ha invece rotazione di un solo condilo alla volta (condilo ruotante), mentre il condilo controlaterale esegue un movimento traslatorio od orbitante descrivendo un piccolo arco di cerchio (condilo orbitante). La rotazione dei condili attorno agli assi verticali provoca movimenti sul piano orizzontale, quella attorno agli assi antero-posteriori provoca movimenti sul piano frontale.



I movimenti elementari della mandibola sono di tre tipi, di seguito descritti:

- 1) abbassamento ed innalzamento, chiamati anche, rispettivamente, di apertura e chiusura;
- 2) proiezione in avanti e di retrazione in dietro, chiamati anche, rispettivamente, di protrusione e retrusione;
- 3) lateralità.



### Riflesso mandibolare di chiusura e postura della mandibola

I riflessi da stiramento dei muscoli elevatori, gli unici dotati di fusi neuromuscolari, vengono distinti in fasici e tonici. Il riflesso fasico, noto anche come riflesso di chiusura della mandibola o riflesso masseterino, è l'equivalente dei riflessi miotatici o tendinei degli arti. E' evocabile percuotendo leggermente il mento con un martelletto, in un soggetto che abbia appena aperto la mandibola ed abbia i muscoli rilassati. L'abbassamento rapido della mandibola è seguito da una rapida contrazione fasica del massetere e del temporale. Il riflesso da stiramento tonico è provocato dalle stesse afferenze fusali (specie quelle originate dalle terminazioni secondarie), quando la mandibola è mantenuta abbassata.

Ai riflessi di chiusura della mandibola, provocati per apertura della stessa, possono anche partecipare le afferenze delle ATM. I riflessi miotatici (e probabilmente anche quelli iniziati dai recettori articolari) contribuiscono a mantenere nei muscoli elevatori quell'attività tonica di base che caratterizza la postura della mandibola, cioè la posizione di riposo della mandibola, chiusa ad un livello tale da lasciare un certo spazio tra gli incisivi superiori e gli inferiori. I muscoli elevatori sono tipici muscoli antigravitari, che utilizzano quindi gli stessi meccanismi per il mantenimento del tono posturale in atto negli antigravitari delle altre parti del corpo. Non tutti i dati sperimentali sembrano comunque confermare l'ovvia ipotesi che la postura della mandibola sia mantenuta attivamente per l'azione riflessa delle afferenze fusali. Abolendo sperimentalmente queste ultime,

infatti, (distruzione del nucleo mesencefalico del trigemino) la postura mandibolare non sembra alterarsi significativamente. Probabilmente altri riflessi, iniziati dall'articolazione temporo-mandibolare e dal cavo orale, possono vicariare e/o cooperare con quelli miotatici, ovvero la postura mandibolare potrebbe non essere dovuta a fenomeni riflessi. Si sostiene, infatti, che la postura della mandibola possa essere in realtà mantenuta ad opera di soli fenomeni passivi, quali l'elasticità dei muscoli, delle fasce e dei legamenti, come pure dalla presenza di una pressione intraorale sub-atmosferica. Probabilmente tutti i sopra citati meccanismi concorrono, in gradi e momenti diversi, al mantenimento della postura mandibolare. Certamente il fattore contrazione, attivato per via riflessa, promuove periodicamente quei necessari aggiustamenti posturali della mandibola che si rendono necessari quando questa viene sottoposta a forze inerziali che ne inducono l'abbassamento (variazioni rapide della posizione del capo, fasi di appoggio della marcia o della corsa).

#### **Altri riflessi di chiusura della mandibola.**

La stimolazione di talune afferenze intraorali a bassa soglia, fra cui quelle originate dai recettori periodontali, può provocare un riflesso di chiusura della mandibola per contrazione dei muscoli elevatori. La stimolazione fisiologica dei recettori periodontali non provoca, in realtà, evidenti effetti riflessi sui muscoli elevatori se questi sono rilassati, ma ne evoca la risposta contrattile se questi sono in attività, come si ha mordendo un oggetto interposto tra le arcate dentarie: riflesso periodonto-masseterino.

#### **Riflessi di apertura della mandibola.**

Per lungo tempo si è ritenuto che la stimolazione delle afferenze intraorali provocasse solo riflessi di apertura della mandibola. In realtà ciò è vero solo per le fibre afferenti che veicolano informazioni di natura dolorifica. La registrazione contemporanea dell'attività del massetere e del digastrico evidenzia che il primo viene inibito ed il secondo eccitato, indicando così la presenza di un'organizzazione centrale del riflesso nocicettivo analoga a quanto presente nelle altre parti

dell'organismo (riflessi flessori). Il significato funzionale dei riflessi di apertura è palesemente protettivo nei confronti della integrità dei tessuti intraorali.

### **Compensazione riflessa della contrazione da variazione di carico**

Esistono due situazioni, tra loro opposte, che possono verificarsi in un normale ciclo masticatorio e che esemplificano, in parte, quanto esposto circa i riflessi mandibolari: un cibo friabile, che offre inizialmente una certa resistenza, cede rapidamente alla pressione esercitata fra le arcate dentarie, oppure un cibo, inizialmente tenero, offre un'inaspettata resistenza.

Nel primo caso, a seguito del cedimento del bolo, si verifica una risposta riflessa che comporta la rapida decontrazione del massetere e la comparsa di attività nel muscolo digastrico, impedendo l'occlusione violenta delle arcate dentarie. La soppressione dell'attività del muscolo massetere avviene in due fasi: una rapida (dopo circa 8 msec) ed una tardiva (dopo circa 30 msec), mentre per il digastrico esiste solo la componente tardiva (circa 30 msec). La risposta rapida è verosimilmente mediata da un arco riflesso breve (a partenza probabilmente dalle terminazioni fusali, rapidamente detese dall'accorciamento del muscolo), mentre quella tardiva potrebbe coinvolgere anche la corteccia cerebrale.

Nel caso opposto, l'improvvisa applicazione di un carico è seguita, dopo circa 8 - 10 msec, da un rapido incremento della contrazione del massetere. L'effetto potrebbe essere dovuto ad un brusco incremento della scarica fusale: durante la contrazione, infatti, la scarica nelle afferenti gamma aumenta progressivamente per adattare la lunghezza dei recettori al progressivo accorciamento del muscolo; quando l'accorciamento del muscolo viene impedito, la scarica gamma continua, promuovendo uno stiramento delle terminazioni anulospirali relativamente maggiore a quanto dovuto per l'accorciamento delle fibre muscolari extrafusali e scatenando, quindi, un riflesso miotatico.

### **Controllo centrale della masticazione**

Il meccanismo della normale masticazione è più complesso della semplice alternanza di riflessi di apertura e chiusura della mandibola, scatenati dalla presenza di contenuto nella cavità orale e dalla tensione dei muscoli masticatori. Per via riflessa possono essere provocati solo semplici movimenti

di apertura e di chiusura, ma non la successioni di eventi masticatori che si ha in una normale sequenza, in condizioni fisiologiche. La masticazione è invece iniziata e mantenuta dall'attività di centri troncoencefalici che possono operare anche indipendentemente dalle afferenze periferiche. Questi centri sono chiamati, collettivamente, generatore centrale. Per la programmazione di un determinato tipo di masticazione, questo si avvale delle informazioni provenienti dalla periferia, può essere modulato e può a sua volta modulare l'azione degli archi riflessi. Il generatore centrale è, a sua volta, sotto il controllo di livelli superiori, corticali e sottocorticali. Le afferenze periferiche forniscono ai vari livelli le informazioni loro necessarie e modulano l'attività riflessa dei motoneuroni trigeminali. Il modello di base del ritmo masticatorio (alternanza di aperture e chiusure) è generato dall'attività nervosa centrale, ma il tipo, l'intensità, la durata e la frequenza dei movimenti dipendono dalle caratteristiche del cibo. I cicli della masticazione, quindi, e le forze prodotte dai muscoli che li promuovono, sono tra loro diversi e sempre adatti alla situazione contingente, infatti le afferenze periferiche sono di fondamentale importanza per programmare l'attività del generatore centrale all'introduzione del cibo nella cavità orale e per modificarla mano a mano che la masticazione procede.

## **Disordini craniomandibolari**

Per disordini cranio-mandibolari (DCM) o temporo-mandibolari (DTM/TMD) s'intende un insieme di condizioni cliniche ad eziopatogenesi multifattoriale che coinvolgono il sistema stomatognatico, in particolare i muscoli masticatori, le articolazioni temporo-mandibolari (ATM) e le strutture ad essa associate, o entrambi.

I DCM comprendono condizioni cliniche differenti, a diversa eziologia, che richiedono diverse terapie, ma che sono accomunate dagli stessi segni e sintomi clinici:

- Dolore ai muscoli masticatori, in regione preauricolare, all'ATM;

- Limitazione e/o alterazione della normale funzione mandibolare;
- Rumori articolari.

Questi 3 sono i cosiddetti "sintomi guida diagnostici": in presenza anche di uno solo di questi sintomi, è possibile trovarsi di fronte ad una forma di DCM; se invece non è presente alcuno dei sintomi, possiamo escludere la diagnosi di DCM.

Oltre ai 3 sintomi principali possono essere presenti altri sintomi più o meno specifici, detti secondari, quali: dolore facciale diffuso, cefalea, vertigini, acufeni, ipoacusia sensazione di ovattamento all'orecchio, cervicalgia.

La prevalenza dei DCM nella popolazione generale è molto alta: si stima che 3 persone su 4 presentino almeno un segno clinico e che 1 persona su 3 presenti almeno un sintomo [OKESON 1996].

Si è evidenziato un picco di prevalenza tra i 20 e i 40 anni e le donne ne sono affette circa 4 volte più degli uomini. In ogni caso, i DCM costituiscono il più delle volte condizioni cliniche benigne, autolimitanti e che non producono danni irreversibili né alla muscolatura masticatoria né alle articolazioni temporo-mandibolari.

Per questo motivo, a fronte di una prevalenza elevata, solo una piccola percentuale di pazienti necessita effettivamente di terapia. È comunque opportuno, in presenza di dolore o disfunzione, sottoporsi ad un esame clinico specialistico per escludere la presenza di altre patologie che, sebbene rare, possono essere gravi e invalidanti.

L'eziopatogenesi dei DCM è multifattoriale quindi diversi fattori intervengono nel predisporre, scatenare e mantenere nel tempo i DCM.

Fattori morfologici, ormonali ed emotivi possono predisporre il sistema stomatognatico all'insorgenza di un quadro clinico, ma è quasi sempre un evento traumatico la causa scatenante. In un paziente su tre si riesce ad individuare un trauma diretto o indiretto alle strutture orofacciali, in seguito ad una caduta o ad un incidente di varia natura.

Più spesso però responsabili sono i microtraumi, provocati soprattutto dalle parafunzioni oro-mandibolari, che nel tempo sovraccaricano il sistema fino a romperne l'equilibrio fisiologico.

Questi stessi fattori, se non corretti, possono ostacolare il recupero dell'equilibrio e perpetuare nel tempo la sintomatologia algica o disfunzionale.

Il processo diagnostico per i disturbi temporo-mandibolari è complicata dalla eziologia multifattoriale e dalla molteplicità di segni e sintomi clinici che caratterizzano tale disordini.

Diversi strumenti elettronici e tecniche radiologiche sono state proposte nel corso degli anni nel tentativo di integrare la valutazione clinica dei pazienti TMD.

Tuttavia, i dati della letteratura ancora suggeriscono che la diagnosi dei TMD dovrebbe essere basata su un'accurata valutazione clinica e su schemi di classificazione internazionale.

### **Schemi di classificazione**

La storia della letteratura sui TMD è ricca di proposte tassonomiche di classificazione sulle quali non si è riuscito ancora a raggiungere un consenso internazionale. Molti studi epidemiologici hanno valutato la prevalenza di segni e sintomi di TMD in differenti popolazioni, come ad esempio caucasici (17-20), cinesi di Hong Kong (21), indiani, ecuadoriani (22), nativo Americani, giovani adulti provenienti da Nigeria, Brasile e Corea (23 - 26); ma il confronto delle diagnosi TMD è possibile solo tra i pochi studi adottando il sistema standardizzato di classificazione Aed e i criteri diagnostici per la ricerca TMD (RDC / TMD) (7, 9, 10, 27, 28).

Le linee guida RDC / TMD forniscono criteri standardizzati mediante due assi di diagnosi. Ciò significa che, insieme ad una diagnosi fisica (asse I), il paziente riceve una diagnosi psico-sociale (asse II) (27).

#### **RESEARCH DIAGNOSTIC CRITERIA FOR TMD – Axis I**

- I. Disordini muscolari
  - a. Dolore miofasciale
  - b. Dolore miofasciale con limitazione in apertura
  
- II. Dislocazioni del disco
  - a. Dislocazione del disco con riduzione
  - b. Dislocazione del disco senza riduzione, con limitazione in apertura

- c. Dislocazione del disco senza riduzione, senza limitazione in apertura

III. Artralgia, Artrite, Artrosi

- a. Artralgia
- b. Osteoartrite dell'ATM
- c. Osteoartrosi dell'ATM

RESEARCH DIAGNOSTIC CRITERIA FOR TMD – Axis II

I. Stato psicologico del paziente

L'asse I del sistema di classificazione RDC / TMD è una valutazione clinica che tiene conto di entrambi i parametri di valutazione: anamnestici e clinici.

Esso fornisce i criteri per la diagnosi di tre gruppi principali di disturbi: disturbi muscolari (gruppo I), spostamenti del disco (gruppo II) e altri disturbi comuni, quali artralgia, artrosi e osteoartrosi (gruppo III).

I disturbi muscolari (gruppo I) sono diagnosticati sulla base dei anamnestici di dolorabilità ai muscoli masticatori e in base alla valutazione clinica del dolore alla palpazione di almeno tre su venti siti muscolare nella zona del viso (dieci per ogni lato).

Il gruppo di diagnostica di dislocazione del disco (gruppo II) mira a rilevare le condizioni in cui si presenta un' anteriorizzazione del disco rispetto al condilo mandibolare.

Nell'ambito del gruppo II dell' RDC-TMD vengono identificati tre sottogruppi diagnostici: spostamenti con riduzione, dislocamenti senza riduzione, dislocamenti con o senza limitazione di apertura.

Il criterio principale per la diagnosi dello spostamento del disco con riduzione è la presenza di un rumore tipo click durante i movimenti della mandibola che deve essere reciproco, cioè udibile sia durante l'apertura della mascella e della mandibola movimenti di chiusura e non fisso, quindi udibile in diverse fasi di movimento durante l'apertura e la chiusura della mandibola.

Lo spostamento del disco senza riduzione viene diagnosticato quando una storia di rumori articolari non è stata preceduta da una flessione durante i movimenti mandibolari e quando l'apertura della bocca non è inferiore a 35 millimetri.

La diagnosi per il terzo gruppo comprendente, artralgia, osteoartrite e osteoartrosi (gruppo III), si basa sulla presenza durante la palpazione di dolore e suoni di crepitazione, presenti singolarmente o combinati.

Per quanto riguarda la diagnosi psico-sociale (asse II), la concomitanza di disordine cranio-mandibolare e problematiche psicologiche viene valutata mediante l'uso di questionari validati. Se presenti i disturbi psichici dovranno essere affrontati a livello terapeutico.

Nonostante le linee guida RDC / TMD non consentano una diagnosi di condizioni meno frequenti o patologie che non presentano una chiara origine (come le lesioni traumatiche, neoplasie del condilo, lesioni traumatiche acute, poliartrite, dolore facciale atipico), in realtà rappresentano la standard di riferimento per la diagnosi e la classificazione TMD in ambito di ricerca.

I punti di forza della classificazione RDC / TMD (standardizzazione dei criteri, gruppi tassonomici semplici), che hanno portato alla loro ampia diffusione tra gli epidemiologi e ricercatori, non sono così utili nella pratica clinica, dove l'uso di una più ampia classificazione (sistema di classificazione eziopatogenetico) dovrebbe essere più indicato. Questa è il motivo dell'ampia diffusione della classificazione secondo l'American Academy of orofacial pain (AAOP) modificando secondo l'International Academy for the study of pain (IASP) il cui schema viene ampiamente adottato per la valutazione di TMD in ambito clinico (29).

Questa classificazione distingue i TMD in forme che colpiscono principalmente i muscoli masticatori e/o le ATM.

#### CLASSIFICAZIONE SECONDO L'AAOP

## Disordini dei muscoli masticatori

- 1 - Dolore miofasciale
- 2 - Miosite
- 3 - Miospasma
- 4 - Mialgia localizzata - non classificabile
- 5 - Contrattura
- 6 - Neoformazione

## Disordini articolari

- 7 - Disordini congeniti o dell'accrescimento
- 8 - Disordini discali
- 9 - Disordini infiammatori
- 10 - Osteoartrosi
- 11 - Anchilosi
- 12 - Frattura

I disturbi muscolari masticatori includono dolore miofasciale, miosite, miospasma o trisma, contrattura e neoplasie.

I disturbi articolari includono disturbi dello sviluppo o acquisiti, dislocazione del disco, disturbi infiammatori, disturbi del sistema immunitario, infezioni, osteoartriti, dislocazione condilare, anchilosi e fratture.

Per ciascuno di questi disturbi la classificazione dell' AAOP fornisce una descrizione dettagliata riguardo i sintomi e alcune informazioni patogenetiche.

La quantità di informazioni potenzialmente utili per la valutazione clinica, fornite dalle linee guida dell' AAOP è fortemente superiore a quello della RDC / TMD, ma la maggior parte di queste sono di natura empirica e, di conseguenza, non adatto per essere utilizzato per scopi di ricerca. Per queste

ragioni, i due schemi di classificazione possono e devono coesistere per essere assunto come l'attuale standard di riferimento nelle loro rispettive indicazioni.

## **CONSIDERAZIONI PSICOSOCIALE**

E' ben noto in letteratura che i disturbi temporo-mandibolari coinvolgono la sfera psico-sociale dove il dolore cronico e la limitazione funzionale risultano possibili fonti di interferenza con le attività quotidiane (3, 12-15).

Per questo motivo, una serie di strumenti di rilevamento dello stato psico-sociale sono stati proposti per valutare i pazienti TMD e la letteratura TMD è ormai ricca di studi che hanno cercato di descrivere un profilo tipico per i pazienti affetti da questi disordini.

Disturbi d'ansia, la depressione e somatizzazione sono stati associati a sintomi TMD, e i recenti risultati suggeriscono che il dolore, indipendentemente dalla sua origine muscolare o articolare, è il fattore determinante relativo alla presenza di sintomi depressivi in pazienti colpiti da TMD(13).

E' stata investigata la relazione tra durata del dolore e la severità di compromissione psicosociale, e se pur in assenza di definitive conclusioni, si suppone che i disturbi depressivi sembrano essere per lo più associati con forme croniche di TMD e i disturbi d'ansia con la fase acuta di insorgenza dei sintomi (45, 46). Il principale difetto della letteratura disponibile è dovuto al disegno trasversale della maggior parte delle indagini che impediscono di trarre conclusioni circa la relazione temporale tra il dolore e la compromissione psicosociale.

Questi problemi determinano difficoltà nell'esito terapeutico piuttosto che nel processo diagnostico .

La concomitanza di sintomi fisici e psico-sociali nei pazienti con disturbi del DTM deve essere affrontato nella fase di trattamento con l'adozione di un approccio cognitivo-comportamentale ed educativo. A livello diagnostico, un'attenta valutazione psichiatrica e psicosociale dei pazienti TMD può essere facilmente ottenuta mediante le indicazioni dell'asse II RDC / TMD.

## **DIAGNOSI CLINICA CONTRO STRUMENTALE**

Come nel caso per l' RDC / TMD, la classificazione AAOP è quasi interamente basata su osservazioni cliniche. Non esiste attualmente un accordo tra ricercatori sullo standard per la

diagnosi TMD ne su un'approfondito esame clinico condotto secondo uno schema diagnostico convalidato e con tecniche affidabili e ripetibili (1, 27, 29).

Le evidenze disponibili suggeriscono che la valutazione clinico eseguita da un esperto investigatore secondo manovre calibrate ha una buona intesa diagnostica con la risonanza magnetica (MR), che è lo standard di riferimento tra le tecniche di imaging per la rappresentazione dei tessuti molli e per i due gruppi principali di disturbi articolari (spostamenti disco, patologie infiammatorie-degenerative) (30, 31).

Al contrario, i dati della letteratura suggeriscono che la valutazione clinica da sola non risulta accurata nel rilevare spostamento del disco di lunga durata senza riduzione e senza limitazione funzionale (32).

Il processo diagnostico per TMD può essere integrato con l'adozione di tecniche di imaging opportunamente selezionate.

Lo standard di riferimento per i tessuti molli è rappresentato dalla risonanza magnetica, che permette di raffigurare la localizzazione esatta di versamenti articolari e la posizione del disco(33).

La tomografia computerizzata (TAC) deve essere riservato ai casi più complessi post-traumatici e/o chirurgici per le quali e' richiesto un accurato studio delle strutture ossee (33).

I miglioramenti che sono stati raggiunti nella qualità delle immagini di risonanza magnetica e TC negli ultimi anni hanno causato un abbandono delle altre tecniche radiologiche nella fase specialistica del processo diagnostico dei TMD.

In effetti, la tomografia tradizionale e l'ortopantomografia non danno informazioni utili per la valutazione specifica dei TMD.

L'ecografia è stata recentemente introdotta in letteratura come ausilio alla diagnosi di TMD e studi preliminari hanno dato risultati promettenti, suggerendo che potrebbe essere utile per le valutazioni ripetute di versamento articolare (34-36), piuttosto che per la valutazione di spostamento del disco (37,38).

In generale, l'applicazione dell'alta qualità d'immagine nelle tecniche per lo studio dell'articolazione temporo-mandibolare ha consentito di acquisire una migliore comprensione di questo distretto anatomico e una più semplice correlazione tra anomalie articolari e dolore, che rimane il motivo principale che spinge i pazienti a ricercare il trattamento specialistico per TMD.

Per quanto riguarda disturbi muscolari, il cui sintomo principale è il dolore, l'assenza di uno strumento gold-standard per la valutazione del dolore fa della valutazione clinica l'approccio più utile per la diagnosi (39). Dati di letteratura sostengono l'assenza di una relazione tra il dolore e

ogni risultato strumentale disponibile, ad eccezione del dolore all'interno del muscolo massetere suscitato da un algometro a pressione (40).

Diversi dispositivi strumentali ed elettronici, basate principalmente sulla misura del potenziale elettromiografico (EMG) l'attività dei muscoli e il monitoraggio dei modelli di movimento della mandibola, sono stati proposti nel corso degli anni come strumento diagnostico definitivo per il dolore miofasciale dei muscoli masticatori, ma, come nel caso di altri disturbi muscolari simili si può evidenziare mancanza di affidabilità e precisione (41). Questa considerazione è applicabile sia all' elettromiografia di superficie che alla kinesiografia mandibolare, che non consentono un miglioramento nella accuratezza diagnostica rispetto alla semplice valutazione clinica, soprattutto perché non è stata ancora documentata alcuna relazione diretta tra il dolore e i risultati dell' EMG (39, 41, 42). Ciò significa che non è possibile stabilire dei valori soglia di EMG utili a discriminare uno stato di salute da uno stato di patologia dei muscoli masticatori.

La decisione del RDC di eliminare completamente il supporto scientifico strumentale nella diagnostica medica ha determinato una restrizione conoscitiva clinica da parte dei medici ed odontoiatri tale che non è più possibile formulare precocemente una diagnosi differenziale nelle cefalee in cui il danno è organico.

Si può affermare e confermare, perciò, che il RDC non solo è limitativo ma a volte può risultare pericoloso per l'odontoiatra perché può far ricadere su se stesso la responsabilità di imperizia. Con quest'affermazione non si vuol annullare tutti gli sforzi fatti da RDC nell'intento di dare dei limiti diagnostici e terapeutici e di conseguenza ridurre notevolmente la speculazione sulla malattia ma si rende necessario appaiare a questo modello diagnostico, principalmente odontoiatrico, una visione più globale di semeiotica medica, compreso l'impiego di indagini strumentali, per cui è necessario trattare separatamente l'argomento RDC per poter valutare meglio i limiti ed i vantaggi di questo sistema diagnostico.

## **RDC: REVISIONE, CRITERI, CRITICHE E SPECIFICHE**

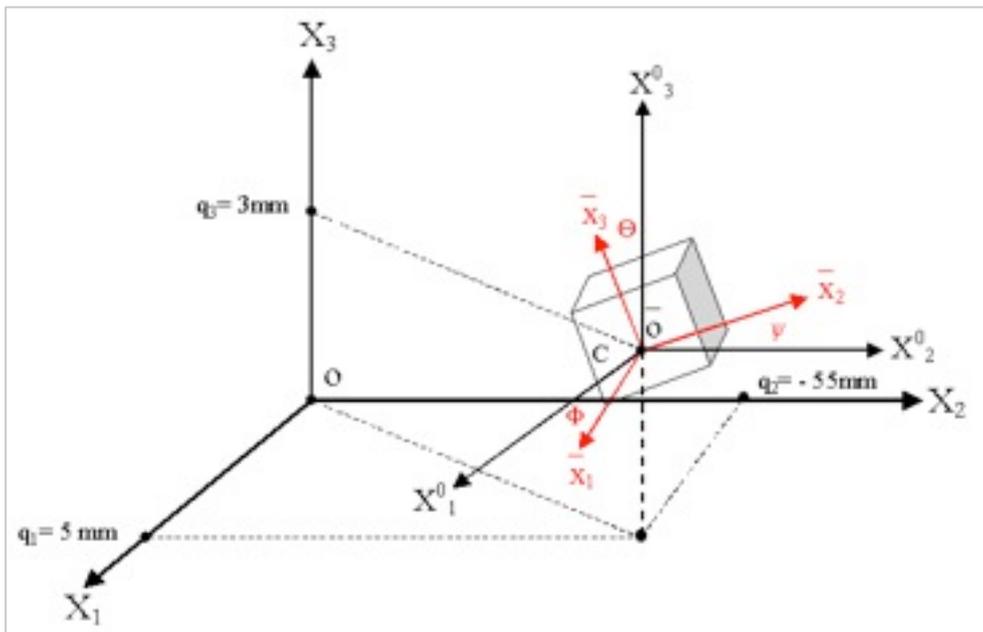
Ai fini del lavoro si prenderanno in esame alcuni aspetti dei metodi diagnostici quali la cinematica mandibolare ( kinesiografia, pantografia, assiografia), le risposte neuromuscolari volontarie  
Alessandro Minniti Diagnosi e terapia dei disturbi cranio-mandibolari  
Scuola di dottorato in scienze biomediche -indirizzo in odontostomatologia preventiva  
Università degli Studi di Sassari

( elettromiografia ), le stimolazioni elettriche ( TENS) per accertarne i limiti e/o i vantaggi passando, però, per un percorso analitico bioingegneristico dei sistemi elettromedicali. Si riprenderanno singolarmente i punti considerati dal sistema RDC.

Il termine di *gnatologia* corrisponde allo studio delle funzioni dei mascellari (jaws) e specificatamente alla scienza per la riabilitazione dell'apparato dentale coinvolgente la funzione masticatoria. <sup>(24,25,26,27)</sup> Attualmente s'incontrano terminologie gnatologiche come: riflesso mandibolare ( jaw closing reflex ), periodo silente meccanico ed elettrico (jaw opening reflex) oltre che, occlusione centrica ( centric occlusion) asse cerniera (hinge axis) ed angolo di Bennett <sup>(28,29,30)</sup> per cui, essendo i metodi diagnostici eliminati dal RDC essenzialmente gnatologici è necessario trattare alcuni argomenti che contraddistinguono questa disciplina.

### **Strumenti di registrazione della cinematica mandibolare**

Considerando la mandibola come un sistema rigido, per semplificare la già complessa trattazione dell'argomento, possiamo dire che si definisce rigido il moto di un sistema di punti materiali che mantiene inalterate le distanze dei punti stessi scelti. <sup>(31)</sup> Per la definizione di posizione di un sistema rigido in movimento si devono considerare due terne di assi cartesiani ortogonali:  $O_{x_1, x_2, x_3}$  solidale con lo spazio di riferimento, che in gnatologia corrisponde al piano asse – orbitale, e  $\bar{O}_{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3}$  solidale con il sistema in movimento che nel caso specifico può essere considerato nella mandibola o nel punto di asse cerniera condilare così come in un qualsiasi punto posto sul corpo in movimento. (Fig.10) Dalla geometria si deduce che, per stabilire la posizione della terna di assi  $\bar{O}_{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3}$  rispetto alla terna di assi  $O_{x_1, x_2, x_3}$  è necessario fissare sei parametri tra loro indipendenti quali ad esempio le tre coordinate di  $\bar{O}_{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3}$  ( $q_1, q_2, q_3$ ) rispetto ad  $O_{x_1, x_2, x_3}$  e i tre angoli di Eulero ( $q_4, q_5, q_6$ ) che determinano la rotazione di  $\bar{O}_{\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3}$  rispetto a  $O_{x^0_1, x^0_2, x^0_3}$ . I sei parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$  tra loro indipendenti e definiscono la posizione del sistema rigido rispetto alla terna di riferimento  $O_{x_1, x_2, x_3}$  e vengono denominate coordinate generalizzate del sistema o coordinate Lagrangiane.

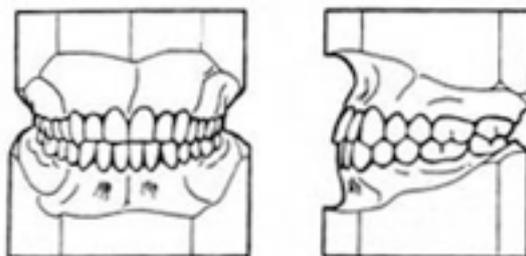


**Fig.10:**La figura rappresenta il condilo (parallelepipedo) con il proprio centro di rotazione geometrico.(C) Gli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  corrispondono all'asse verticale ( $\bar{x}_3$ ), trasversale ( $\bar{x}_2$ ), ed orizzontale ( $\bar{x}_1$ ). Gli assi  $O x_1, x_2, x_3$  corrispondono al riferimento craniale dettato dall'arco facciale e naturalmente  $Ox_3$  corrisponde all'asse mediosagittale che con l'asse  $Ox_1$  formano il piano mediosagittale. Il condilo mandibolare  $C$  viene rappresentato con un parallelepipedo ed i parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$  determinano la posizione e la Rotazione Statica fondamentale ( $RS_f$ ) del sistema mobile (C) rispetto al sistema di riferimento.

Partendo dai concetti della gnatologia in relazione alla forma e funzione dell'apparato dento-parodontale classica possiamo estrapolare le seguenti definizioni:

### OCCLUSIONE CENTRICA

Corrisponde alla massima intercuspideazione tra i denti antagonisti delle due arcate con la mandibola in relazione centrica



### RELAZIONE CENTRICA:

E' il rapporto intermascellare in cui la mandibola si trova nella posizione fisiologicamente più retrusa (non forzata) e della quale siano possibili tutte le escursioni mandibolari

### **Innervazione del legamento periodontale**

Il legamento periodontale è riccamente innervato da grosse fibre mieliniche ed amieliniche. Parte delle fibre amieliniche è di tipo vegetativo, associata ai piccoli vasi del periodonzio ed in parte origina da nocicettori. Le fibre mieliniche di grosso diametro terminano in corpuscoli ed apparati recettoriali più o meno complessi, che potrebbero svolgere la funzione di meccanocettori. Questi recettori dovrebbero essere considerati veri e propri recettori profondi o propriocettori, essendo situati in un tessuto articolare, ma vengono in genere inclusi fra i pressocettori del cavo orale. Possono anche essere considerati un tipo speciale di recettori di tatto-pressione, in quanto responsabili della sensazione cosciente di contatto del dente. Talune fibre afferenti dei meccanocettori periodontali hanno la cellula di origine nel ganglio semilunare, altre nel nucleo mesencefalico del trigemino. Il movimento del dente, sottoposto a pressioni esercitate nelle diverse direzioni, provoca compressioni in alcune zone dei tessuti periodontali e trazioni in altre. E' probabile che taluni recettori vengano eccitati sia dalla compressione che dalla trazione, mentre altri sono eccitati dall'una ed inibiti dall'altra. La soglia di eccitabilità dei meccanocettori periodontali è molto bassa: sono in genere sufficienti spostamenti del dente di soli 2 micron. La soglia, espressa in grammi, è nell'ordine di 3 - 10 g, ma alcune fibre possono scaricare per un carico di un solo grammo. La soglia più bassa è stata trovata nei meccanocettori degli incisivi, che hanno la maggiore mobilità, mentre la più alta per quelli dei molari, che sono provvisti di un sistema più rigido di ancoraggio all'alveolo. I meccanocettori periodontali possono essere sia a rapido che a lento adattamento. Le unità a rapido adattamento sono sensibili alla velocità dello spostamento, quelle a lento adattamento sono invece egualmente sensibili alla velocità (fase dinamica) che alla dislocazione statica del dente, in quanto rimangono eccitate per tutto il tempo in cui la forza viene mantenuta costante (fase statica). La frequenza di scarica dei recettori a lento adattamento è proporzionale, entro certi limiti, alla intensità della forza applicata. Praticamente tutti i recettori periodontali rispondono in modo differenziato a forze applicate al dente in una particolare direzione, anche se esiste una soglia più bassa per stimoli applicati in una direzione ottimale.

L'intera categoria dei meccanocettori periodontali ha azioni complesse sui motoneuroni del trigemino, potendo sia eccitare che inibire i motoneuroni dei muscoli elevatori. E' probabile che i tipi di recettori che provocano effetti sinaptici di segno opposto siano tra loro diversi, o per soglia o per sensibilità a stimoli specifici, ovvero che le loro afferenze vengano controllate a livello centrale da un meccanismo nervoso che ne può selezionare l'utilizzazione.



### **Funzioni riflesse delle afferenze periferiche**

Esistono strette correlazioni funzionali tra strutture di controllo della posizione delle due arcate dentarie e l'intero apparato muscolare motore della mandibola. Le pressioni esercitate dai singoli denti, nella chiusura della bocca e nella masticazione dei cibi, rilevate dai recettori peridontali, della capsula articolare e dei ligamenti, vengono trasmesse ai muscoli della masticazione. Essi possono in tal modo adeguare la loro forza di contrazione ed il loro tono di riposo ai riferimenti provenienti dai denti e dall'articolazione temporomandibolare. Possono comparire disfunzioni dell'apparato muscolare della mandibola quando si hanno alterazioni importanti della fisiologica articularità dentaria.

### **MOVIMENTI DELLA MANDIBOLA**

I movimenti della mandibola sono tutti bicondilarli, in quanto vengono sempre impegnate contemporaneamente le articolazioni dei due lati.

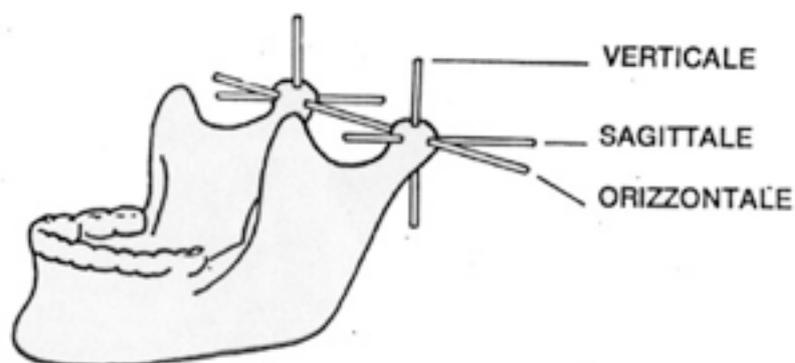
Possono avvenire per rotazione e/o traslazione condilare, nei tre piani dello spazio: sagittale mediano, frontale ed orizzontale, fra loro ortogonali. Per seguire i movimenti elementari che la mandibola compie nello spazio occorre quindi definire i singoli piani dello spazio a cui si fa riferimento e gli assi intorno ai quali avvengono i movimenti di rotazione dei condili.

Il piano sagittale, disposto in senso verticale ed antero-posteriore, in realtà non è unico: sono infatti infiniti i piani sagittali che attraversano il cranio con direzione verticale ed andamento antero-posteriore.

Il piano sagittale mediano è invece ben definito, in quanto è l'unico che, passando per la sutura intraparietale, divide il cranio in due metà speculari, destra e sinistra. Anche i piani frontali ed i piani orizzontali sono infiniti per definizione e dividono il cranio, rispettivamente, in piani anteriori e posteriori o superiori ed inferiori.

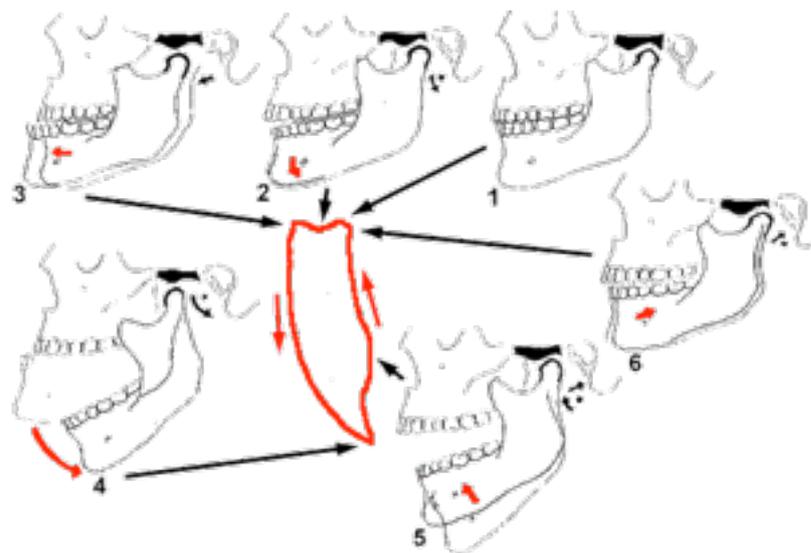
Per quanto riguarda gli assi di rotazione dei condili, i movimenti articolari possono avvenire intorno a tre assi: orizzontale, verticale ed antero-posteriore di cui uno solo, quello orizzontale, è comune ad uno dei due condili: è bicondilare. Quando i condili ruotano intorno all'asse bicondilare, il loro movimento è sempre consensuale e la mandibola si muove nel piano sagittale.

Se la rotazione avviene intorno ad uno degli assi verticali od anteroposteriori si ha invece rotazione di un solo condilo alla volta (condilo ruotante), mentre il condilo controlaterale esegue un movimento traslatorio od orbitante descrivendo un piccolo arco di cerchio (condilo orbitante). La rotazione dei condili attorno agli assi verticali provoca movimenti sul piano orizzontale, quella attorno agli assi antero-posteriori provoca movimenti sul piano frontale.



I movimenti elementari della mandibola sono di tre tipi, di seguito descritti:

- 1) abbassamento ed innalzamento, chiamati anche, rispettivamente, di apertura e chiusura;
- 2) proiezione in avanti e di retrazione in dietro, chiamati anche, rispettivamente, di protrusione e retrusione;
- 3) lateralità.



### **Riflesso mandibolare di chiusura e postura della mandibola**

I riflessi da stiramento dei muscoli elevatori, gli unici dotati di fusi neuromuscolari, vengono distinti in fasici e tonici. Il riflesso fasico, noto anche come riflesso di chiusura della mandibola o riflesso masseterino, è l'equivalente dei riflessi miotatici o tendinei degli arti. E' evocabile

percuotendo leggermente il mento con un martelletto, in un soggetto che abbia appena aperto la mandibola ed abbia i muscoli rilassati. L'abbassamento rapido della mandibola è seguito da una rapida contrazione fasica del massetere e del temporale. Il riflesso da stiramento tonico è provocato dalle stesse afferenze fusali (specie quelle originate dalle terminazioni secondarie), quando la mandibola è mantenuta abbassata.

Ai riflessi di chiusura della mandibola, provocati per apertura della stessa, possono anche partecipare le afferenze delle ATM. I riflessi miotatici (e probabilmente anche quelli iniziati dai recettori articolari) contribuiscono a mantenere nei muscoli elevatori quell'attività tonica di base che caratterizza la postura della mandibola, cioè la posizione di riposo della mandibola, chiusa ad un livello tale da lasciare un certo spazio tra gli incisivi superiori e gli inferiori. I muscoli elevatori sono tipici muscoli antigravitari, che utilizzano quindi gli stessi meccanismi per il mantenimento del tono posturale in atto negli antigravitari delle altre parti del corpo. Non tutti i dati sperimentali sembrano comunque confermare l'ovvia ipotesi che la postura della mandibola sia mantenuta attivamente per l'azione riflessa delle afferenze fusali. Abolendo sperimentalmente queste ultime, infatti, (distruzione del nucleo mesencefalico del trigemino) la postura mandibolare non sembra alterarsi significativamente. Probabilmente altri riflessi, iniziati dall'articolazione temporo-mandibolare e dal cavo orale, possono vicariare e/o cooperare con quelli miotatici, ovvero la postura mandibolare potrebbe non essere dovuta a fenomeni riflessi. Si sostiene, infatti, che la postura della mandibola possa essere in realtà mantenuta ad opera di soli fenomeni passivi, quali l'elasticità dei muscoli, delle fasce e dei legamenti, come pure dalla presenza di una pressione intraorale sub-atmosferica. Probabilmente tutti i sopra citati meccanismi concorrono, in gradi e momenti diversi, al mantenimento della postura mandibolare. Certamente il fattore contrazione, attivato per via riflessa, promuove periodicamente quei necessari aggiustamenti posturali della mandibola che si rendono necessari quando questa viene sottoposta a forze inerziali che ne inducono l'abbassamento (variazioni rapide della posizione del capo, fasi di appoggio della marcia o della corsa).

### **Altri riflessi di chiusura della mandibola.**

La stimolazione di talune afferenze intraorali a bassa soglia, fra cui quelle originate dai recettori periodontali, può provocare un riflesso di chiusura della mandibola per contrazione dei muscoli

elevatori. La stimolazione fisiologica dei recettori periodontali non provoca, in realtà, evidenti effetti riflessi sui muscoli elevatori se questi sono rilassati, ma ne evoca la risposta contrattile se questi sono in attività, come si ha mordendo un oggetto interposto tra le arcate dentarie: riflesso periodonto-masseterino.

### **Riflessi di apertura della mandibola.**

Per lungo tempo si è ritenuto che la stimolazione delle afferenze intraorali provocasse solo riflessi di apertura della mandibola. In realtà ciò è vero solo per le fibre afferenti che veicolano informazioni di natura dolorifica. La registrazione contemporanea dell'attività del massetere e del digastrico evidenzia che il primo viene inibito ed il secondo eccitato, indicando così la presenza di un'organizzazione centrale del riflesso nocicettivo analoga a quanto presente nelle altre parti dell'organismo (riflessi flessori). Il significato funzionale dei riflessi di apertura è palesemente protettivo nei confronti della integrità dei tessuti intraorali.

### **Compensazione riflessa della contrazione da variazione di carico**

Esistono due situazioni, tra loro opposte, che possono verificarsi in un normale ciclo masticatorio e che esemplificano, in parte, quanto esposto circa i riflessi mandibolari: un cibo friabile, che offre inizialmente una certa resistenza, cede rapidamente alla pressione esercitata fra le arcate dentarie, oppure un cibo, inizialmente tenero, offre un'inaspettata resistenza.

Nel primo caso, a seguito del cedimento del bolo, si verifica una risposta riflessa che comporta la rapida decontrazione del massetere e la comparsa di attività nel muscolo digastrico, impedendo l'occlusione violenta delle arcate dentarie. La soppressione dell'attività del muscolo massetere avviene in due fasi: una rapida (dopo circa 8 msec) ed una tardiva (dopo circa 30 msec), mentre per il digastrico esiste solo la componente tardiva (circa 30 msec). La risposta rapida è verosimilmente mediata da un arco riflesso breve (a partenza probabilmente dalle terminazioni fusali, rapidamente detese dall'accorciamento del muscolo), mentre quella tardiva potrebbe coinvolgere anche la corteccia cerebrale.

Nel caso opposto, l'improvvisa applicazione di un carico è seguita, dopo circa 8 - 10 msec, da un rapido incremento della contrazione del massetere. L'effetto potrebbe essere dovuto ad un brusco incremento della scarica fusale: durante la contrazione, infatti, la scarica nelle efferenti gamma aumenta progressivamente per adattare la lunghezza dei recettori al progressivo accorciamento del muscolo; quando l'accorciamento del muscolo viene impedito, la scarica gamma continua, promuovendo uno stiramento delle terminazioni anulospirali relativamente maggiore a quanto dovuto per l'accorciamento delle fibre muscolari extrafusali e scatenando, quindi, un riflesso miotatico.

### **Controllo centrale della masticazione**

Il meccanismo della normale masticazione è più complesso della semplice alternanza di riflessi di apertura e chiusura della mandibola, scatenati dalla presenza di contenuto nella cavità orale e dalla tensione dei muscoli masticatori. Per via riflessa possono essere provocati solo semplici movimenti di apertura e di chiusura, ma non la successioni di eventi masticatori che si ha in una normale sequenza, in condizioni fisiologiche. La masticazione è invece iniziata e mantenuta dall'attività di centri troncoencefalici che possono operare anche indipendentemente dalle afferenze periferiche. Questi centri sono chiamati, collettivamente, generatore centrale. Per la programmazione di un determinato tipo di masticazione, questo si avvale delle informazioni provenienti dalla periferia, può essere modulato e può a sua volta modulare l'azione degli archi riflessi. Il generatore centrale è, a sua volta, sotto il controllo di livelli superiori, corticali e sottocorticali. Le afferenze periferiche forniscono ai vari livelli le informazioni loro necessarie e modulano l'attività riflessa dei motoneuroni trigeminali. Il modello di base del ritmo masticatorio (alternanza di aperture e chiusure) è generato dall'attività nervosa centrale, ma il tipo, l'intensità, la durata e la frequenza dei movimenti dipendono dalle caratteristiche del cibo. I cicli della masticazione, quindi, e le forze prodotte dai muscoli che li promuovono, sono tra loro diversi e sempre adatti alla situazione contingente, infatti le afferenze periferiche sono di fondamentale importanza per programmare l'attività del generatore centrale all'introduzione del cibo nella cavità orale e per modificarla mano a mano che la masticazione procede.

## Disordini craniomandibolari

Per disordini cranio-mandibolari (DCM) o temporo-mandibolari (DTM/TMD) s'intende un insieme di condizioni cliniche ad eziopatogenesi multifattoriale che coinvolgono il sistema stomatognatico, in particolare i muscoli masticatori, le articolazioni temporo-mandibolari (ATM) e le strutture ad essa associate, o entrambi.

I DCM comprendono condizioni cliniche differenti, a diversa eziologia, che richiedono diverse terapie, ma che sono accomunate dagli stessi segni e sintomi clinici:

- Dolore ai muscoli masticatori, in regione preauricolare, all'ATM;
- Limitazione e/o alterazione della normale funzione mandibolare;
- Rumori articolari.

Questi 3 sono i cosiddetti "sintomi guida diagnostici": in presenza anche di uno solo di questi sintomi, è possibile trovarsi di fronte ad una forma di DCM; se invece non è presente alcuno dei sintomi, possiamo escludere la diagnosi di DCM.

Oltre ai 3 sintomi principali possono essere presenti altri sintomi più o meno specifici, detti secondari, quali: dolore facciale diffuso, cefalea, vertigini, acufeni, ipoacusia sensazione di ovattamento all'orecchio, cervicalgia.

La prevalenza dei DCM nella popolazione generale è molto alta: si stima che 3 persone su 4 presentino almeno un segno clinico e che 1 persona su 3 presenti almeno un sintomo [OKESON 1996].

Si è evidenziato un picco di prevalenza tra i 20 e i 40 anni e le donne ne sono affette circa 4 volte più degli uomini. In ogni caso, i DCM costituiscono il più delle volte condizioni cliniche benigne, autolimitanti e che non producono danni irreversibili né alla muscolatura masticatoria né alle articolazioni temporo-mandibolari.

Per questo motivo, a fronte di una prevalenza elevata, solo una piccola percentuale di pazienti necessita effettivamente di terapia. È comunque opportuno, in presenza di dolore o disfunzione,

sottoporsi ad un esame clinico specialistico per escludere la presenza di altre patologie che, sebbene rare, possono essere gravi e invalidanti.

L'eziopatogenesi dei DCM è multifattoriale quindi diversi fattori intervengono nel predisporre, scatenare e mantenere nel tempo i DCM.

Fattori morfologici, ormonali ed emotivi possono predisporre il sistema stomatognatico all'insorgenza di un quadro clinico, ma è quasi sempre un evento traumatico la causa scatenante. In un paziente su tre si riesce ad individuare un trauma diretto o indiretto alle strutture orofacciali, in seguito ad una caduta o ad un incidente di varia natura.

Più spesso però responsabili sono i microtraumi, provocati soprattutto dalle parafunzioni oro-mandibolari, che nel tempo sovraccaricano il sistema fino a romperne l'equilibrio fisiologico.

Questi stessi fattori, se non corretti, possono ostacolare il recupero dell'equilibrio e perpetuare nel tempo la sintomatologia algica o disfunzionale.

Il processo diagnostico per i disturbi temporo-mandibolari è complicata dalla eziologia multifattoriale e dalla molteplicità di segni e sintomi clinici che caratterizzano tale disordini. Diversi strumenti elettronici e tecniche radiologiche sono state proposte nel corso degli anni nel tentativo di integrare la valutazione clinica dei pazienti TMD.

Tuttavia, i dati della letteratura ancora suggeriscono che la diagnosi dei TMD dovrebbe essere basata su un'accurata valutazione clinica e su schemi di classificazione internazionale.

### **Schemi di classificazione**

La storia della letteratura sui TMD è ricca di proposte tassonomiche di classificazione sulle quali non si è riuscito ancora a raggiungere un consenso internazionale. Molti studi epidemiologici hanno valutato la prevalenza di segni e sintomi di TMD in differenti popolazioni, come ad esempio caucasici (17-20), cinesi di Hong Kong (21), indiani, ecuadoriani (22), nativo Americani, giovani adulti provenienti da Nigeria, Brasile e Corea (23 - 26); ma il confronto delle diagnosi TMD è possibile solo tra i pochi studi adottando il sistema standardizzato di classificazione Aed e i criteri diagnostici per la ricerca TMD (RDC / TMD) (7, 9, 10, 27, 28).

Le linee guida RDC / TMD forniscono criteri standardizzati mediante due assi di diagnosi. Ciò significa che, insieme ad una diagnosi fisica (asse I), il paziente riceve una diagnosi psico-sociale (asse II) (27).

## RESEARCH DIAGNOSTIC CRITERIA FOR TMD – Axis I

- I. Disordini muscolari
  - a. Dolore miofasciale
  - b. Dolore miofasciale con limitazione in apertura
  
- II. Dislocazioni del disco
  - a. Dislocazione del disco con riduzione
  - b. Dislocazione del disco senza riduzione, con limitazione in apertura
  - c. Dislocazione del disco senza riduzione, senza limitazione in apertura
  
- III. Artralgia, Artrite, Artrosi
  - a. Artralgia
  - b. Osteoartrite dell'ATM
  - c. Osteoartrosi dell'ATM

## RESEARCH DIAGNOSTIC CRITERIA FOR TMD – Axis II

- I. Stato psicologico del paziente

L'asse I del sistema di classificazione RDC / TMD è una valutazione clinica che tiene conto di entrambi i parametri di valutazione: anamnestici e clinici.

Esso fornisce i criteri per la diagnosi di tre gruppi principali di disturbi: disturbi muscolari (gruppo I), spostamenti del disco (gruppo II) e altri disturbi comuni, quali artralgia, artrosi e osteoartrosi (gruppo III).

I disturbi muscolari (gruppo I) sono diagnosticati sulla base dei anamnestici di dolorabilità ai muscoli masticatori e in base alla valutazione clinica del dolore alla palpazione di almeno tre su venti siti muscolare nella zona del viso (dieci per ogni lato).

Il gruppo di diagnostica di dislocazione del disco (gruppo II) mira a rilevare le condizioni in cui si presenta un' anteriorizzazione del disco rispetto al condilo mandibolare.

Nell'ambito del gruppo II dell' RDC-TMD vengono identificati tre sottogruppi diagnostici: spostamenti con riduzione, dislocamenti senza riduzione, dislocamenti con o senza limitazione di apertura.

Il criterio principale per la diagnosi dello spostamento del disco con riduzione è la presenza di un rumore tipo click durante i movimenti della mandibola che deve essere reciproco, cioè udibile sia durante l'apertura della mascella e della mandibola movimenti di chiusura e non fisso, quindi udibile in diverse fasi di movimento durante l'apertura e la chiusura della mandibola.

Lo spostamento del disco senza riduzione viene diagnosticato quando una storia di rumori articolari non è stata preceduta da una flessione durante i movimenti mandibolari e quando l'apertura della bocca non è inferiore a 35 millimetri.

La diagnosi per il terzo gruppo comprendente, artralgia, osteoartrite e osteoartrosi (gruppo III), si basa sulla presenza durante la palpazione di dolore e suoni di crepitazione, presenti singolarmente o combinati.

Per quanto riguarda la diagnosi psico-sociale (asse II), la concomitanza di disordine cranio-mandibolare e problematiche psicologiche viene valutata mediante l'uso di questionari validati. Se presenti i disturbi psichici dovranno essere affrontati a livello terapeutico.

Nonostante le linee guida RDC / TMD non consentano una diagnosi di condizioni meno frequenti o patologie che non presentano una chiara origine (come le lesioni traumatiche, neoplasie del condilo, lesioni traumatiche acute, poliartrite, dolore facciale atipico), in realtà rappresentano la standard di riferimento per la diagnosi e la classificazione TMD in ambito di ricerca.

I punti di forza della classificazione RDC / TMD (standardizzazione dei criteri, gruppi tassonomici semplici), che hanno portato alla loro ampia diffusione tra gli epidemiologi e ricercatori, non sono così utili nella pratica clinica, dove l'uso di una più ampia classificazione (sistema di classificazione eziopatogenetico) dovrebbe essere più indicato. Questa è il motivo dell'ampia diffusione della classificazione secondo l'American Academy of orofacial pain (AAOP) modificando secondo l'International Academy for the study of pain (IASP) il cui schema viene ampiamente adottato per la valutazione di TMD in ambito clinico (29).

Questa classificazione distingue i TMD in forme che colpiscono principalmente i muscoli masticatori e/o le ATM.

#### CLASSIFICAZIONE SECONDO L'AAOP

##### Disordini dei muscoli masticatori

- 1 - Dolore miofasciale
- 2 - Miosite
- 3 - Miospasma
- 4 - Mialgia localizzata - non classificabile
- 5 - Contrattura
- 6 - Neoformazione

##### Disordini articolari

- 7 - Disordini congeniti o dell'accrescimento
- 8 - Disordini discali
- 9 - Disordini infiammatori
- 10 - Osteoartrosi
- 11 - Anchilosi
- 12 - Frattura

I disturbi muscolari masticatori includono dolore miofasciale, miosite, miospasma o trisma, contrattura e neoplasie.

I disturbi articolari includono disturbi dello sviluppo o acquisiti, dislocazione del disco, disturbi infiammatori, disturbi del sistema immunitario, infezioni, osteoartriti, dislocazione condilare, anchilosi e fratture.

Per ciascuno di questi disturbi la classificazione dell' AAOP fornisce una descrizione dettagliata riguardo i sintomi e alcune informazioni patogenetiche.

La quantità di informazioni potenzialmente utili per la valutazione clinica, fornite dalle linee guida dell' AAOP è fortemente superiore a quello della RDC / TMD, ma la maggior parte di queste sono di natura empirica e, di conseguenza, non adatto per essere utilizzato per scopi di ricerca. Per queste ragioni, i due schemi di classificazione possono e devono coesistere per essere assunto come l'attuale standard di riferimento nelle loro rispettive indicazioni.

## CONSIDERAZIONI PSICOSOCIALE

E' ben noto in letteratura che i disturbi temporo-mandibolari coinvolgono la sfera psico-sociale dove il dolore cronico e la limitazione funzionale risultano possibili fonti di interferenza con le attività quotidiane (3, 12-15).

Per questo motivo, una serie di strumenti di rilevamento dello stato psico-sociale sono stati proposti per valutare i pazienti TMD e la letteratura TMD è ormai ricca di studi che hanno cercato di descrivere un profilo tipico per i pazienti affetti da questi disordini.

Disturbi d'ansia, la depressione e somatizzazione sono stati associati a sintomi TMD, e i recenti risultati suggeriscono che il dolore, indipendentemente dalla sua origine muscolare o articolare, è il fattore determinante relativo alla presenza di sintomi depressivi in pazienti colpiti da TMD(13).

E' stata investigata la relazione tra durata del dolore e la severità di compromissione psicosociale, e se pur in assenza di definitive conclusioni, si suppone che i disturbi depressivi sembrano essere per lo più associati con forme croniche di TMD e i disturbi d'ansia con la fase acuta di insorgenza dei sintomi (45, 46). Il principale difetto della letteratura disponibile è dovuto al disegno trasversale della maggior parte delle indagini che impediscono di trarre conclusioni circa la relazione temporale tra il dolore e la compromissione psicosociale.

Questi problemi determinano difficoltà nell'esito terapeutico piuttosto che nel processo diagnostico .

La concomitanza di sintomi fisici e psico-sociali nei pazienti con disturbi del DTM deve essere affrontato nella fase di trattamento con l'adozione di un approccio cognitivo-comportamentale ed educativo. A livello diagnostico, un'attenta valutazione psichiatrica e psicosociale dei pazienti TMD può essere facilmente ottenuta mediante le indicazioni dell'asse II RDC / TMD.

## **DIAGNOSI CLINICA CONTRO STRUMENTALE**

Come nel caso per l' RDC / TMD, la classificazione AAOP è quasi interamente basata su osservazioni cliniche. Non esiste attualmente un accordo tra ricercatori sullo standard per la diagnosi TMD né su un'approfondito esame clinico condotto secondo uno schema diagnostico convalidato e con tecniche affidabili e ripetibili (1, 27, 29).

Le evidenze disponibili suggeriscono che la valutazione clinico eseguita da un esperto investigatore secondo manovre calibrate ha una buona intesa diagnostica con la risonanza magnetica (MR), che è lo standard di riferimento tra le tecniche di imaging per la rappresentazione dei tessuti molli e per i due gruppi principali di disturbi articolari (spostamenti disco, patologie infiammatorie-degenerative) (30, 31).

Al contrario, i dati della letteratura suggeriscono che la valutazione clinica da sola non risulta accurata nel rilevare spostamento del disco di lunga durata senza riduzione e senza limitazione funzionale (32).

Il processo diagnostico per TMD può essere integrato con l'adozione di tecniche di imaging opportunamente selezionate.

Lo standard di riferimento per i tessuti molli è rappresentato dalla risonanza magnetica, che permette di raffigurare la localizzazione esatta di versamenti articolari e la posizione del disco(33).

La tomografia computerizzata (TAC) deve essere riservata ai casi più complessi post-traumatici e/o chirurgici per le quali è richiesto un accurato studio delle strutture ossee (33).

I miglioramenti che sono stati raggiunti nella qualità delle immagini di risonanza magnetica e TC negli ultimi anni hanno causato un abbandono delle altre tecniche radiologiche nella fase specialistica del processo diagnostico dei TMD.

In effetti, la tomografia tradizionale e l'ortopantomografia non danno informazioni utili per la valutazione specifica dei TMD.

L'ecografia è stata recentemente introdotta in letteratura come ausilio alla diagnosi di TMD e studi preliminari hanno dato risultati promettenti, suggerendo che potrebbe essere utile per le valutazioni ripetute di versamento articolare (34-36), piuttosto che per la valutazione di spostamento del disco (37,38).

In generale, l'applicazione dell'alta qualità d'immagine nelle tecniche per lo studio dell'articolazione temporo-mandibolare ha consentito di acquisire una migliore comprensione di questo distretto anatomico e una più semplice correlazione tra anomalie articolari e dolore, che rimane il motivo principale che spinge i pazienti a ricercare il trattamento specialistico per TMD.

Per quanto riguarda disturbi muscolari, il cui sintomo principale è il dolore, l'assenza di uno strumento gold-standard per la valutazione del dolore fa della valutazione clinica l'approccio più utile per la diagnosi (39). Dati di letteratura sostengono l'assenza di una relazione tra il dolore e ogni risultato strumentale disponibile, ad eccezione del dolore all'interno del muscolo massetere suscitato da un algometro a pressione (40).

Diversi dispositivi strumentali ed elettronici, basate principalmente sulla misura del potenziale elettromiografico (EMG) l'attività dei muscoli e il monitoraggio dei modelli di movimento della mandibola, sono stati proposti nel corso degli anni come strumento diagnostico definitivo per il dolore miofasciale dei muscoli masticatori, ma, come nel caso di altri disturbi muscolari simili si può evidenziare mancanza di affidabilità e precisione (41). Questa considerazione è applicabile sia all'elettromiografia di superficie che alla kinesiografia mandibolare, che non consentono un miglioramento nella accuratezza diagnostica rispetto alla semplice valutazione clinica, soprattutto perché non è stata ancora documentata alcuna relazione diretta tra il dolore e i risultati dell'EMG (39, 41, 42). Ciò significa che non è possibile stabilire dei valori soglia di EMG utili a discriminare uno stato di salute da uno stato di patologia dei muscoli masticatori.

La decisione del RDC di eliminare completamente il supporto scientifico strumentale nella diagnostica medica ha determinato una restrizione conoscitiva clinica da parte dei medici ed odontoiatri tale che non è più possibile formulare precocemente una diagnosi differenziale nelle cefalee in cui il danno è organico.

Si può affermare e confermare, perciò, che il RDC non solo è limitativo ma a volte può risultare pericoloso per l'odontoiatra perché può far ricadere su se stesso la responsabilità di imperizia. Con quest'affermazione non si vuol annullare tutti gli sforzi fatti da RDC nell'intento di dare dei limiti diagnostici e terapeutici e di conseguenza ridurre notevolmente la speculazione sulla malattia ma si

rende necessario appaiare a questo modello diagnostico, principalmente odontoiatrico, una visione più globale di semeiotica medica, compreso l'impiego di indagini strumentali, per cui è necessario trattare separatamente l'argomento RDC per poter valutare meglio i limiti ed i vantaggi di questo sistema diagnostico.

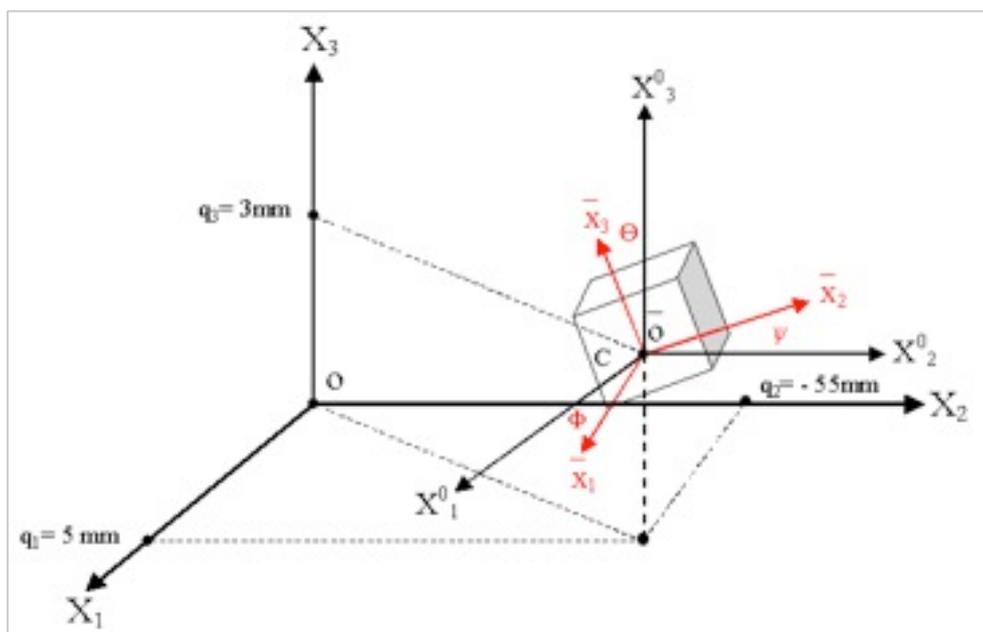
### **RDC: REVISIONE, CRITERI, CRITICHE E SPECIFICHE**

Ai fini del lavoro si prenderanno in esame alcuni aspetti dei metodi diagnostici quali la cinematica mandibolare ( kinesiografia, pantografia, assiografia), le risposte neuromuscolari volontarie ( elettromiografia ), le stimolazioni elettriche ( TENS) per accertarne i limiti e/o i vantaggi passando, però, per un percorso analitico bioingegneristico dei sistemi elettromedicali. Si riprenderanno singolarmente i punti considerati dal sistema RDC.

Il termine di *gnatologia* corrisponde allo studio delle funzioni dei mascellari (jaws) e specificatamente alla scienza per la riabilitazione dell'apparato dentale coinvolgente la funzione masticatoria. <sup>(24,25,26,27)</sup> Attualmente s'incontrano terminologie gnatologiche come: riflesso mandibolare ( jaw closing reflex ), periodo silente meccanico ed elettrico (jaw opening reflex) oltre che, occlusione centrica ( centric occlusion) asse cerniera (hinge axis) ed angolo di Bennett <sup>(28,29,30)</sup> per cui, essendo i metodi diagnostici eliminati dal RDC essenzialmente gnatologici è necessario trattare alcuni argomenti che contraddistinguono questa disciplina.

## Strumenti di registrazione della cinematica mandibolare

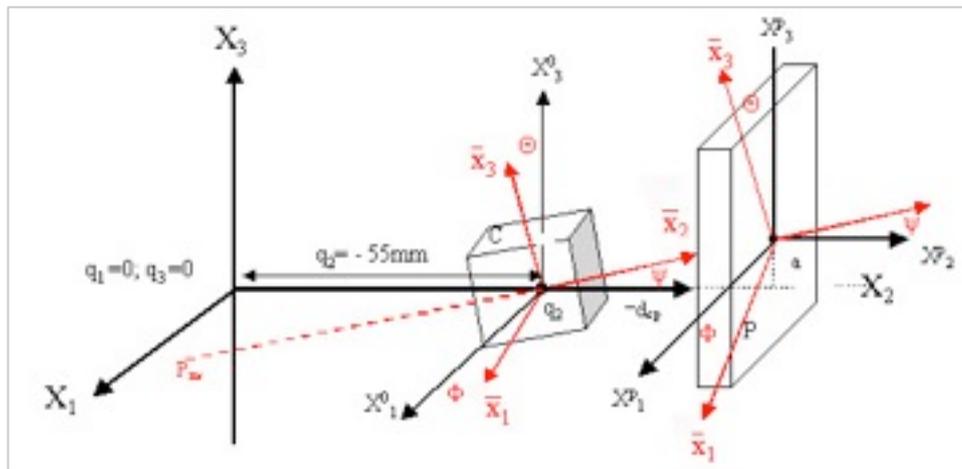
Considerando la mandibola come un sistema rigido, per semplificare la già complessa trattazione dell'argomento, possiamo dire che si definisce rigido il moto di un sistema di punti materiali che mantiene inalterate le distanze dei punti stessi scelti. <sup>(31)</sup> Per la definizione di posizione di un sistema rigido in movimento si devono considerare due terne di assi cartesiani ortogonali:  $O \ x_1, x_2, x_3$  solidale con lo spazio di riferimento, che in gnatologia corrisponde al piano asse – orbitale, e  $\bar{O} \ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  solidale con il sistema in movimento che nel caso specifico può essere considerato nella mandibola o nel punto di asse cerniera condilare così come in un qualsiasi punto posto sul corpo in movimento. (Fig.10) Dalla geometria si deduce che, per stabilire la posizione della terna di assi  $\bar{O} \ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  rispetto alla terna di assi  $O \ x_1, x_2, x_3$  è necessario fissare sei parametri tra loro indipendenti quali ad esempio le tre coordinate di  $\bar{O} \ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  ( $q_1, q_2, q_3$ ) rispetto ad  $O \ x_1, x_2, x_3$  e i tre angoli di Eulero ( $q_4, q_5, q_6$ ) che determinano la rotazione di  $\bar{O} \ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  rispetto a  $O \ x_1, x_2, x_3$ . I sei parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$  tra loro indipendenti e definiscono la posizione del sistema rigido rispetto alla terna di riferimento  $O \ x_1, x_2, x_3$  e vengono denominate coordinate generalizzate del sistema o coordinate Lagrangiane.



**Fig.10:** La figura rappresenta il condilo (parallelepipedo) con il proprio centro di rotazione geometrico (C). Gli assi  $\bar{O} \ \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  corrispondono all'asse verticale ( $\bar{x}_3$ ), trasversale ( $\bar{x}_2$ ), ed orizzontale ( $\bar{x}_1$ ). Gli assi  $O \ x_1, x_2, x_3$  corrispondono al riferimento craniale dettato dall'arco facciale e naturalmente  $Ox_3$  corrisponde all'asse mediosagittale che con l'asse  $Ox_1$  formano il piano mediosagittale. Il condilo mandibolare  $C$  viene rappresentato con un parallelepipedo ed i parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$  determinano la posizione e la Rotazione Statica fondamentale ( $RS_f$ ) del sistema mobile (C) rispetto al sistema di riferimento.

La situazione geometrico - matematico riportata in figura 10 mostra alcune sostanziali caratteristiche dei sistemi gnatologici di replicazione cinematica:

- 1) La discrepanza tra gli assi  $O x_1, x_2, x_3$  di riferimento ( piano asse – orbitale ) e gli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  riferiti al centro geometrico condilare si verifica nell'impiego di archi facciali a valori medi con determinazione di assi cerniera arbitrari o anatomici. Conseguenza del fatto è che la terna di assi cartesiani di riferimento ha una componente anatomica ( posizionamento craniale ) mentre quella del sistema mobile ( asse cerniera ) ha una componente cinematico-geometrica.
- 2) I 6 parametri per la localizzazione degli assi non sono conosciuti (solo  $q_2 = \pm 55$  mm, destro e sinistro, può essere considerato come localizzazione media dell' asse di rotazione verticale ) e ciò genera un errore aggiuntivo alle successive fasi cinematiche e di registrazioni.
- 3) Il tentativo di annullare quest'errore di posizione è dato dalla registrazione dell'asse cerniera trasversale attraverso un arco cinematico individuale, che permetterebbe di collineare gli assi  $Ox_1, x_2, x_3$  con gli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ . In questo modo (Fig.11) si conoscerebbero i valori di  $q_1, q_2, q_3$ , ma non  $q_4, q_5, q_6$ .
- 4) I parametri  $q_4, q_5, q_6$  e cioè  $\Theta, \Phi, \Psi$  derivano dalla Rotazione Statica fondamentale ( RSf) degli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  condilari ( componente anatomico-geometrica) con gli assi  $O x_1, x_2, x_3$  di riferimento dell'arco facciale assiografico solidale con la piastrina verticale ( componente anatomica). Purtroppo il fenomeno non si annulla perché il sistema micrometrico tracciante solidale è ortogonale alla piastrina e perciò collineare con gli assi  $O x_1, x_2, x_3$ .
- 5) Calcolando la distanza intercondilare di lavoro dell'articolatore SAM (110 mm) e considerando una distanza interfacciale media di 150 mm, la distanza del centro geometrico condilare sinistro dalla superficie esterna della piastrina assiografica ( $-d_{cp}$ ) corrisponderebbe a circa 10-20 mm. L'errore lineare sull'asse  $X_3$  (a: della fig.11) sulla piastrina assiografica con un  $\Psi$  di  $5^\circ, 10^\circ$  e  $15^\circ$  sarà di 1.7 mm, 3.47 mm e 5.17 mm rispettivamente.
- 6) Soltanto impiegando una registrazione cinematica a valori individuali e trasferendo i modelli in articolatore con l'asse cerniera cinematico individuale si possono annullare i parametri spaziali  $q_1, q_2, \dots, q_6$ . (Fig.12,13). Come risulta dalla figura 13 il sistema di assi cartesiani  $Ox_1, x_2, x_3$  è stato ruotato per essere collineare con gli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ . In questo modo il sistema di riferimento craniale con la componente anatomica è sovrapponibile alla componente geometrica.



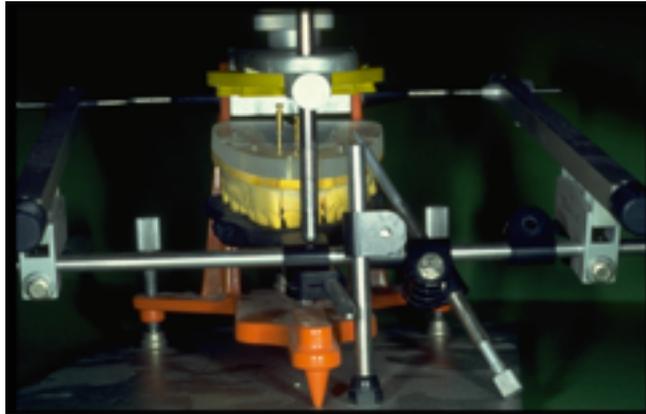
**Fig.11:** La figura rappresenta la situazione biomeccanica dei sistemi di replicazione cinematica gnatologici. C corrisponde al condilo mandibolare, P alla piastrina assiografica su cui giace il punto di asse cerniera trasversale geometrico;  $-d_{cp}$  alla distanza tra il centro geometrico condilare intraorale (asse verticale) e la superficie esterna della piastrina assiografica; a, corrisponde all'effetto stereoscopico di posizionamento sull'asse  $x_{p3}$  e  $P_{ms}$  al punto d'intersezione dell'asse  $\bar{x}_2$  con il piano mediosagittale

7) Anche se la sovrapposizione degli assi  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  e degli assi  $O x_1, x_2, x_3$  con il montaggio dei modelli in articolatore attraverso l'arco cinematico individuale annulla la discrepanza tra gli assi in una situazione statica, i 6 parametri spaziali  $q_1, q_2, \dots, q_6$  si trasferiscono sul sistema scrivente micrometrico ( $X^{p1}, X^{p2}$  e  $X^{p3}$ ) il quale purtroppo mantiene la componente anatomica. ( Fig.13)

L'argomento trattato evidenzia l'elevata complessità della localizzazione del sistema di riferimento spaziale e del corpo rigido mobile, complessità che risiede nella conoscenza dei parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$ . I sistemi gnatologici sono in grado, almeno in questa fase, di annullare le discrepanze a patto che s'impieghino esclusivamente sistemi di montaggio cinematici individuali. Con il trasferimento dei modelli con archi facciali a valori medi o con oclusori non si conoscono i parametri spaziali  $q_1, q_2, \dots, q_6$  e le discrepanze si amplificano con evidenti errori oclusali nell'arco di chiusura mandibolare evidenziabile solo a lavoro terminato sul paziente..

Si può notare come l'origine del sistema ortogonale di C si sia posizionato sull'asse  $X_2$  annullando, relativamente, l'errore di localizzazione sull'asse  $X_1$  e  $X_3$  ma il congiungimento dei due centri geometrici di rotazioni condilari destro e sinistro può generare una inclinazione  $\psi$  rispetto al riferimento. ( $P_{ms}$  della Fig.11) Questo a sua volta si trasferisce sulla piastrina assiografica e perciò  $X^{p1}, X^{p2}$  e  $X^{p3}$  corrispondono alla terna di assi cartesiani della piastrina assiografica ortogonale a quella di riferimento ( ortogonalità della componente anatomica) in quanto la mina scrivente assiografica deve essere mantenuta rigorosamente perpendicolare alla piastra verticale

dell'assiografo la quale, a sua volta, è rigorosamente mantenuta parallela al braccio laterale della struttura cinematica mandibolare dell'assiografo. (Fig.12,13)

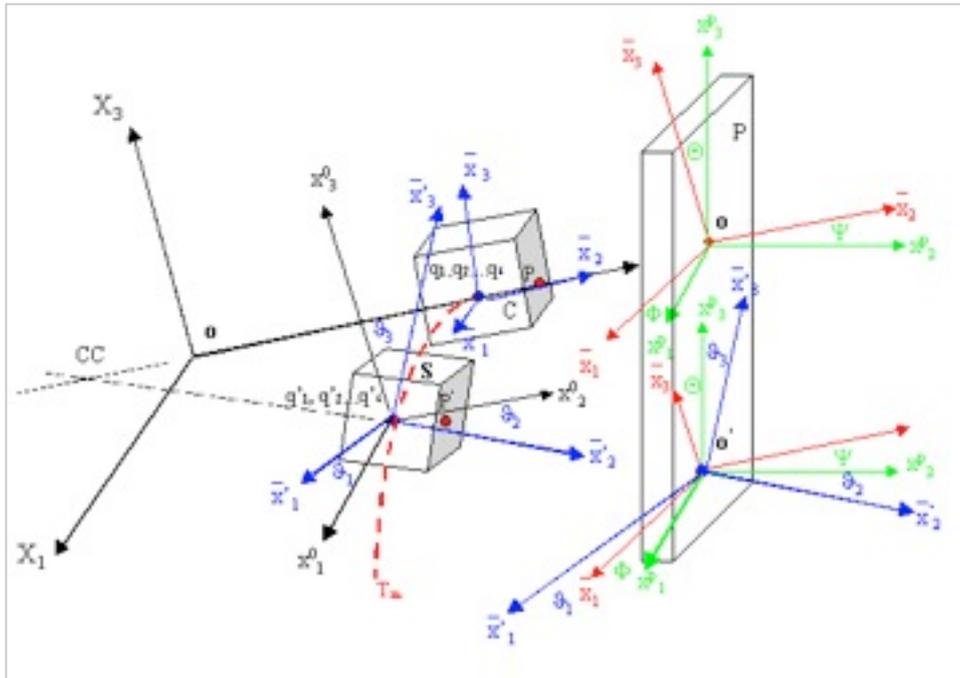


**Fig.12:** Rappresentazione dell'aiuto di montaggio a valori individuali del sistema assiografico.

### **Spostamento di un corpo rigido. Gradi di libertà di un sistema**

La variazione delle coordinate generalizzate dai valori iniziali  $q_1, q_2, \dots, q_6$  ai valori di  $q'_1, q'_2, \dots, q'_6$  definiscono uno spostamento  $S$  del corpo. In questo spostamento la terna solidale  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  si porta in  $\bar{O}' \bar{x}'_1, \bar{x}'_2, \bar{x}'_3$  ed ogni punto materiale del corpo, in questo caso dell'asse cerniera, subisce lo spostamento  $S = OP' - OP$  funzione delle coordinate di  $P$  rispetto al sistema di riferimento  $O x_1, x_2, x_3$ . Ad ogni coordinata generalizzata  $q_i$  corrisponde un *grado di libertà* del corpo e pertanto un corpo rigido in movimento possiede 6 gradi di libertà.

Ciò significa che in un tracciato mediotrusivo ( $T_m$  della figura13) dovremmo conoscere oltre che i valori di  $q_1, q_2, \dots, q_6$  e cioè gli angoli  $\Theta, \Phi, \Psi$ , l'inclinazione angolare aggiuntiva  $\vartheta_1, \vartheta_2$  e  $\vartheta_3$  incorporata dal sistema nel movimento condilare mediotrusivo e perciò conoscere l'iniziale Rotazione Statica fondamentale + la successiva Rotazione Dinamica ( $RS_f + RD$ ).



**Fig.13:**La figura è riferibile alla precedente con la sovrapposizione di due effetti geometrici: la sovrapposizione delle componenti anatomiche e geometriche tra i sistemi di riferimento e movimento; l'effetto di rototraslazione del condilo nel movimento mediotrusivo.

Possiamo rappresentare (fig.13) i due effetti cinematici principali:

I – Montaggio dei modelli con arco cinematico individuale. Notare come la terna di assi cartesiani di riferimento si sia inclinata e posizionata collinearmente con la terna di assi del sistema mobile C (condilo) ma i parametri  $q_4, q_5, q_6$  e cioè  $\Theta, \Phi, \Psi$  non sono stati annullati dalla procedura ma si sono trasferiti sulla piastrina assiografica.

II – Primo spostamento mediotrusivo S del condilo C. Il condilo C (parallelepipedo) compie una rototraslazione tridimensionale con centro nel condilo controlaterale CC, il quale genera di conseguenza gli angoli  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$  responsabili della Rotazione Dinamica (RD)

### Traslazioni e rotazioni di un corpo rigido

Lo spostamento di traslazione è caratterizzato dal *vettore liberot*; uguale per ogni elemento del sistema rigido, quindi lo spostamento di un punto generico materiale è

$$\overrightarrow{P \cdot P''} = \overrightarrow{C P''} - \overrightarrow{C P}; t = \text{vettore costante} \quad (1)$$

Purtroppo non è il caso della cinematica mandibolare in cui non esistono pure traslazioni nemmeno in protrusiva. Nelle rotazioni, un punto materiale  $P$  del sistema, (fig.14 ) si sposta sul piano frontale al quale appartiene e  $P$  descrive sul piano un arco di circonferenza  $PP'$  con centro in  $C$  ( condilo controlaterale) ed un angolo  $\vartheta$ .

La rotazione è rappresentata dal vettore  $\vartheta$  applicato alla retta "a" (coincidente con l'asse  $X_I$ ) passante per  $C$  e  $\vartheta$  risulta l'angolo di rotazione. Riferendoci alla (Fig.14) lo spostamento  $\overrightarrow{PP'}$  può esprimersi con la seguente espressione

$$\overrightarrow{PP'} = \overrightarrow{PQ} + \overrightarrow{QP'} = (\cos\vartheta - 1)\overrightarrow{CP} + \text{sen}\vartheta \vec{e}_a \times \overrightarrow{CP} \quad (2)$$

dove  $\vec{e}_a$  è il versore di direzione in "a" e cioè il senso di rotazione sull'asse.

.1 Per l'analisi delle composizioni di più traslazioni e le composizioni di una rototraslazione vale la proprietà commutativa. La composizione di più traslazioni dà luogo a spostamenti  $\overrightarrow{P'P''}$  dei punti materiali del sistema rappresentati dal vettore  $\vec{t}$  somma dei vettori  $\vec{t}_i$  delle traslazioni componenti. La composizione di una traslazione e di una rotazione (Fig. 14,15) dà luogo, invece, a spostamenti dei punti materiali del sistema rappresentati dal vettore:

$$\vec{S} = \vec{t} + (\cos\vartheta - 1)\overrightarrow{CP} + \text{sen}\vartheta \vec{e}_a \times \overrightarrow{CP} \quad (3)$$

Questo fenomeno è di fondamentale importanza nella determinazione dell'angolo di Bennett in cui il condilo mediotrusivo compie, nei primi 2-3 mm una rototraslazione tridimensionale. La composizione di quest'iniziale spostamento dovrebbe essere rappresentata dalla proprietà di sovrapposizione degli effetti (rotazione-traslazione), mentre le successive fasi del movimento mediotrusivo possono essere rappresentate dalla proprietà dei centri di rotazione ed in particolare della sovrapposizione degli effetti di due o più rotazioni.



Prima di descrivere la proprietà dei centri di rotazione è bene analizzare il concetto delle rotazioni infinitesimali.(Fig.14,15)

Nelle rotazioni infinitesimali l'ampiezza della rotazione  $\vartheta$  ( espressa in radianti ) è così piccola rispetto all'unità da poter essere trascurata, in quanto (Eq.2) il termine  $(\cos \vartheta - 1)$  è  $\approx 0$  ed il termine  $(\sin \vartheta)$  è  $\approx \vartheta$ . Ciò trasforma l'equazione in:

$$\overrightarrow{PP'} = \vec{\vartheta} \times \overrightarrow{CP} = \overrightarrow{PP'} = \vartheta \vec{e}_a \times \overrightarrow{CP} \quad (4)$$

Supponendo di descrivere la rotazione di un parallelepipedo (condilo laterotrusivo sinistro del paziente) sui tre assi (fig.16) la componente di spostamento vettoriale risulterebbe :

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \vartheta_2(x_3 - x^c_3) - \vartheta_3(x_2 - x^c_2) \\ \mu_2 &= \vartheta_3(x_1 - x^c_1) - \vartheta_1(x_3 - x^c_3) \\ \mu_3 &= \vartheta_1(x_2 - x^c_2) - \vartheta_2(x_1 - x^c_1) \end{aligned} \quad (5)$$

che corrisponderebbero ai spostamenti di un punto generico P a seguito dell'applicazione delle rotazioni infinitesimali per angoli  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$  attorno agli assi  $x_1, x_2, x_3$ . Se si pone l'origine O delle coordinate del punto C ( per semplificazione) si avrà che  $x^c_1, x^c_2, x^c_3 = 0$  con la conseguente semplificazione delle formule di rotazione;

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \vartheta_2 x_3 - \vartheta_3 x_2 \\ \mu_2 &= \vartheta_3 x_1 - \vartheta_1 x_3 \\ \mu_3 &= \vartheta_1 x_2 - \vartheta_2 x_1 \end{aligned} \quad (6)$$

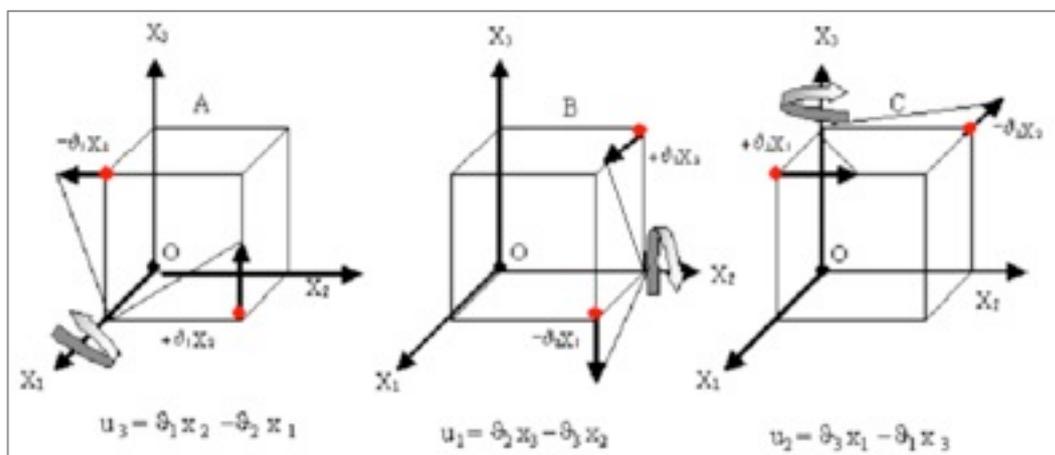
.2 Se conferiamo al sistema lo spostamento S rappresentato da una traslazione  $\vec{t}$  e da una rotazione  $\vartheta$  attorno ai tre assi lo spostamento del punto generico P sarà dato da

$$\begin{aligned} \mu_1 &= t_1 + \vartheta_2(x_3 - x^c_3) - \vartheta_3(x_2 - x^c_2) \\ \mu_2 &= t_2 + \vartheta_3(x_1 - x^c_1) - \vartheta_1(x_3 - x^c_3) \\ \mu_3 &= t_3 + \vartheta_1(x_2 - x^c_2) - \vartheta_2(x_1 - x^c_1) \end{aligned} \quad (7)$$

Supponiamo di annullare la distanza tra condili e calcolare gli effetti delle rotazioni su un solo condilo in cui ci si trasferiscano anche il centro di rotazione ( esigenza geometrica necessaria a semplificare il processo matematico), ebbene, avremmo i seguenti cambiamenti nella formula:

$$\begin{aligned}
\mu_1 &= u^0_1 + \vartheta_2 x_3 - \vartheta_3 x_2 \\
\mu_2 &= u^0_2 + \vartheta_3 x_1 - \vartheta_1 x_3 \\
\mu_3 &= u^0_3 + \vartheta_1 x_2 - \vartheta_2 x_1
\end{aligned}
\tag{8}$$

Simuliamo una rotazione pura (fig.16) per semplificare l'effetto complesso tridimensionale del condilo laterotrusivo sinistro (parallelepipedo). Le componenti vettoriali che si generano sulle piastrine di registrazioni extraorali (piastrine pantografiche od assiografiche) sono condizionate da questo effetto.



**Fig.16:**In questa figura si può notare la complessità dell'analisi del movimento laterotrusivo. Il condilo viene fatto ruotare in senso antiorario simulando una laterotrusione sn (fig.16A e C). Non è sufficiente la rilevazione vettoriale  $+ \vartheta_2 X_3$  (fig.16B) per la descrizione della rotazione del condilo di sn in quanto il vettore precedentemente determinato si annullerebbe con una rotazione antioraria dell'asse  $X_3$  (Fig.16C). In questo modo è facilmente comprensibile come il tracciato laterotrusivo pantografico (back line) sia il risultato di una somma vettoriale di rotazioni multiple sugli assi.

Il tracciato pantografico laterotrusivo (back line) è un tracciato molto complesso da quantificare in quanto corrisponde ad una rappresentazione grafica bidimensionale (piano sagittale e/o orizzontale) di componenti vettoriali tridimensionali e cioè della somma vettoriale di  $\sum \mu_1, \mu_2, \mu_3$  come rappresentato nelle formule 6,7,8.

Il tracciato pantografico laterotrusivo (seguire le fig.16 e 19) incorpora 4 componenti angolari (si tralasciano le componenti lineari) e cioè la componente superiore  $+ \vartheta_1 x_2$ , la componente inferiore  $- \vartheta_2 x_1$ , la componente anteriore  $\vartheta_2 x_3$ , la componente posteriore  $- \vartheta_3 x_2$ , la componente laterale esterna  $+ \vartheta_3 x_1$  e l'interna  $- \vartheta_1 x_3$ .

Tutto ciò dovrebbe far riflettere sull'interpretazioni cliniche dei tracciati pantografici.

Finalmente si giunge alla proprietà dei centri di rotazione, che sono di rilevante importanza in gnatologia.

Se si applicano infatti  $n$  rotazioni  $\vartheta_i$  attorno ai centri di rotazione  $C_i (X_{C_i}, Y_{C_i})$  le espressioni delle componenti dello spostamento  $\overrightarrow{PP'}$  sono:

$$\begin{aligned} U &= -\sum \vartheta_i (y - y_{C_i}) = -y \sum \vartheta_i + \sum \vartheta_i y_{C_i} \\ V &= \sum \vartheta_i (x - x_{C_i}) = x \sum \vartheta_i - \sum \vartheta_i x_{C_i} \end{aligned} \quad (9)$$

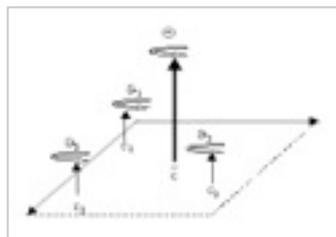
Per cui

$$\Theta = \sum_i \vartheta_i; X_{\bar{c}} = \frac{\sum \vartheta_i x_{C_i}}{\sum \vartheta_i}; Y_{\bar{c}} = \frac{\sum \vartheta_i y_{C_i}}{\sum \vartheta_i} \quad (10)$$

allora si ottiene che :

$$\begin{aligned} U &= -\Theta (y - Y_{\bar{c}}) \\ V &= \Theta (x - X_{\bar{c}}) \end{aligned} \quad (11)$$

Si deduce da queste trasformazioni come l'effetto di più rotazioni  $\vartheta_i$  (Fig.17) attorno ai centri di rotazione  $C_i$  corrisponde alla rotazione di ampiezza  $\Theta$  attorno al centro  $\bar{C}$  di coordinate  $(X_{\bar{c}}, Y_{\bar{c}})$ . Traducendo in termini gnatologici il principio biomeccanico sopraesposto, l'angolo totale che si genera sul piano assiale attraverso più rotazioni del asse verticale  $X_3$  risulta avere un centro di rotazione medio  $\bar{C}$  di coordinate  $(X_{\bar{c}}, Y_{\bar{c}})$ .



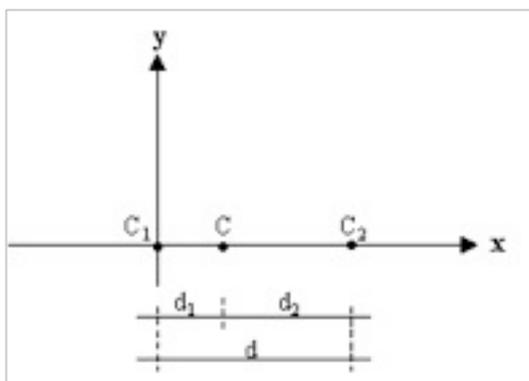
**Fig.17:** La figura mostra il fenomeno di più centri di rotazione in cui si possa identificare un centro di rotazione medio che approssimi la somma angolare di tutte le rotazioni. Questo fenomeno può riflettere il meccanismo della rotazione del condilo laterotrusivo in cui il condilo ruota e si sposta contemporaneamente lateralmente descrivendo una serie di centri di rotazione istantanei.  $C_i$

Se in un piano  $(x,y)$  un corpo  $C$  (Fig.17) è sottoposto ad una rotazione  $\vartheta_1$  attorno al centro di rotazione  $C_1(x_1,y_1)$  ed alla rotazione  $\vartheta_2$  attorno al centro di rotazione  $C_2(x_2,y_2)$  si ottengono le equazioni equivalenti alla rotazione  $\Theta = \vartheta_1 + \vartheta_2$  attorno al centro  $C$  le cui coordinate sono:

$$x_c = \frac{\vartheta_1 x_1 + \vartheta_2 x_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2}; y_c = \frac{\vartheta_1 y_1 + \vartheta_2 y_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2} \quad (12)$$

Si constata immediatamente che  $x_c$  e  $y_c$  soddisfano le condizioni di appartenenza di  $C$  alla retta  $C_1, C_2$ . Se si assume un sistema di assi aventi  $0 \equiv C_1$  e  $x \equiv C_1 C_2$  risultano  $y_1 = y_2 = y_3 = 0; x_1 = 0$  (Fig. 18) e posto  $d = x_2; d_1 = C_1 C = x_1; d_2 = C C_2 = d - d_1$  si ha come indicato nella figura le seguenti funzioni

$$d_1 = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2} d; d_2 = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_1 + \vartheta_2} d \quad (13)$$



**Fig.18:** La figura riprende una spiegazione tratta dalla meccanica razionale ma che si può trasferire con moderata disinvoltura su i concetti gnatologici. La formula (13) descrive come per angoli infinitesimali i centri di rotazione medi possono essere calcolati. Da notare che la formula si calcola su un piano in cui l'asse  $y=0$ .

Risulta chiaro da questa esposizione geometrico-matematica che la posizione del centro di rotazione medio  $\bar{C}$  sulla retta congiungente i due centri di rotazione  $C_1$  e  $C_2$ , come si può verificare nei tracciati condilari laterotrusivi pantografici, *dipende dall'ampiezza degli angoli  $\vartheta_1$  e  $\vartheta_2$* . Impostando il limite della funzione ad angoli di ampiezza tendenti a zero si determinano angoli infinitesimali da cui estrarre il centro di rotazione istantaneo medio. Si tornerà ancora su questo argomento.

## Vantaggi e limiti delle registrazioni cinematiche mandibolari

Dai concetti di meccanica razionale sopradescritti si può verificare la complessità nel rappresentare matematicamente e geometricamente la cinematica mandibolare. Complessità di tipo descrittivo ed analitico che derivano dalla necessità di conoscere:

- I parametri di posizione dei punti P nello spazio di riferimento “  $q_1, q_2, \dots, q_6$  “, perciò essere in grado di analizzare i 6 gradi di libertà
- Ogni spostamento lineare di un punto qualsiasi della mandibola  $\vec{t}_i$ .
- La componente angolare dello spostamento del punto mandibolare  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$
- La posizione dei centri di rotazione C nelle varie fasi, quindi, se volessimo spezzettare il movimento mediotrusivo continuo di un condilo in più spostamenti composti da una componente traslatoria ed una rotatoria avremmo:

$$\vec{S}_i = \vec{t}_i + (\cos\vartheta_i - 1)\vec{CP} + \text{sen}\vartheta_i \vec{e}_a \times \vec{CP}$$

L'evoluzione scientifica da parte di ricercatori ha condotto a notevoli modifiche degli strumenti gnatologici come i *replicatori pantografici* ( Denar, Stuart ecc.), *assiografici* ( SAM, Panadent ) e *elettrognatografici* ( Sirognathograph). Descriveremo perciò, i concetti bioingegneristici che sono alla base di ogni strumento medicale ma seguiremo il percorso dettato dal RDC.

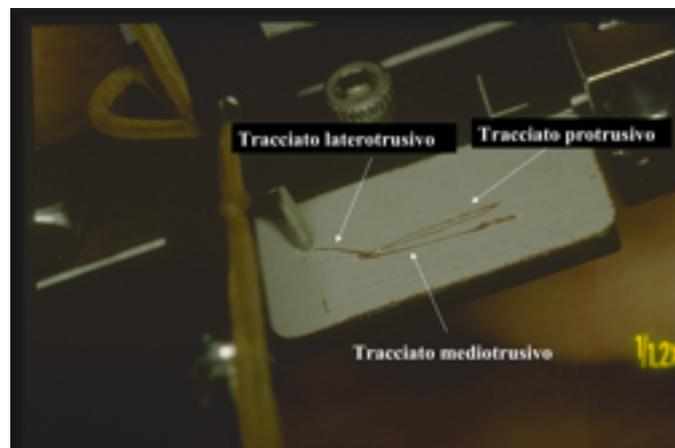
## SISTEMA PANTOGRAFICO

Indice di Riproducibilità Pantografica				
Test Diagnostici	Cutoff	Sensibilità	Specificità	VPP
IRP (Shields et al.1978)	10 unità	0.89	0.30	0.15

Per rappresentare in maniera reale i movimenti condilari il sistema pantografico<sup>(32,33)</sup> impiega 6 piani o piastrine con 6 stili scriventi che descrivono i tracciati condilari. Rappresentando le componenti posteriori pantografiche le piastrine e gli stili scriventi rappresentano:

- Il tracciato protrusivo
- Il tracciato mediotrusivo
- Il tracciato laterotrusivo o back line

Il tracciato pantografico viene descritto in figura 19 e nella rappresentazione grafica della dinamica del movimento si possono rilevare importanti parametri matematico - geometrici.

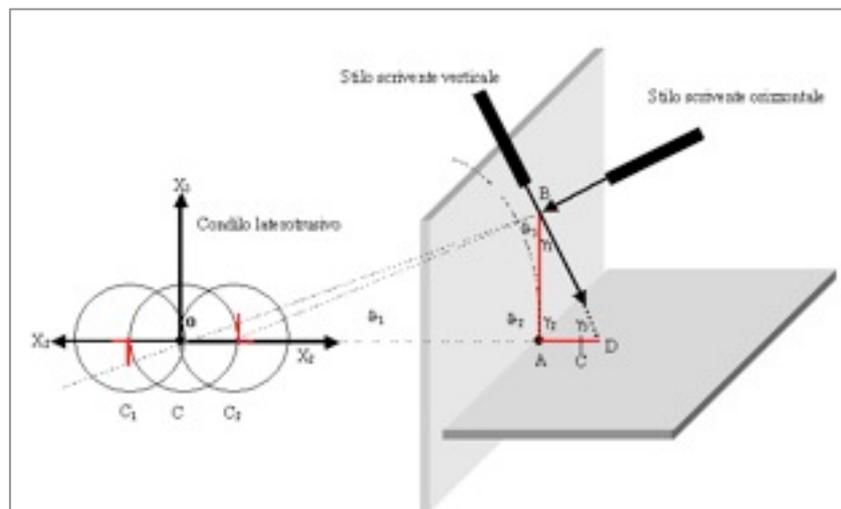


**Fig.19:** Tracciato condilare pantografico che mostra le principali componenti del movimento condilare e cioè la componente protrusiva, mediotrusiva e laterotrusiva denominata anche back line

Dopo la descrizione matematico-geometrica riportata precedentemente, possiamo notare immediatamente come il sistema pantografico registrando i tracciati su 6 piastrine è in grado di conoscere i 6 parametri  $q_1, q_2, \dots, q_6$ , e contiene, perciò, nel sistema tutti i 6 gradi di libertà. Purtroppo proprio per l'effetto dei centri di rotazione (Fig.re 16,17 e18) la faccenda si complica. Tenendo presente la figura 16B e 16C ed il tracciato laterotrusivo o back line della figura 19 si potrebbe pensare che questo tracciato sia reale e determinato dalla rotazione sul piano assiale del condilo laterotrusivo. Non è per nulla un dettaglio notare che questo effetto determina un tracciato sul piano assiale corrispondente al vettore  $-\vartheta_3 X_2$  (fig.16C) che ruota, naturalmente sull'asse  $x_3$  mentre simultaneamente si genera una rotazione del condilo laterotrusivo sull'asse  $X_2$  dovuta alla mediotrusione del condilo controlaterale. L'effetto finale è un vettore  $\vartheta_2 X_3$  (Fig.16B) che ruota sull'asse  $X_2$

La risultante di questa sommazione vettoriale è inequivocabilmente la  $\mu_1 = \vartheta_2 x_3 - \vartheta_3 x_2$  e, in conclusione, spiega l'artefatto dei tracciati laterotrusivi, il tutto amplificato all'aumentare dell'errore di posizione del centro di rotazione verticale ( distanza intercondilare).

Risulta chiaro come la perfetta sovrapposizione dei tracciati, la conoscenza della sommazione vettoriale e la localizzazione del centro di rotazione condilare geometrico verticale sia fondamentale per le registrazioni pantografiche (Fig.20). Un errore di localizzazione del centro di rotazione verticale condilare di  $\pm 2$  mm lateralmente sull'asse  $x_2$  determinerà angoli  $\vartheta_1$  di  $8.6^\circ$  e  $11.3^\circ$  rispettivamente, a differenza di  $\vartheta_1 = 10^\circ$  generati sull'esatta posizione spaziale condilare (Fig.20 posizione C).

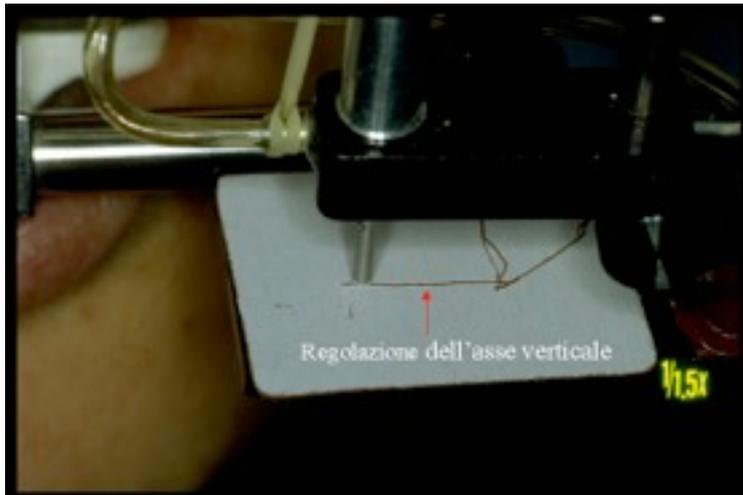


**Fig.20:** Rappresentazione del tracciato laterotrusivo pantografico sulle piastrine posteriori. Il  $\theta_1$  descrive l'angolo di rotazione del condilo laterotrusivo sul piano frontale e genera il tracciato AB sulla piastrina verticale e AD su quell'orizzontale con conseguente riduzione ed allungamento degli stili scriventi. La figura simula un errore di localizzazione del centro di rotazione condilare dell'asse verticale ( $x_3$ )  $\pm$  2mm e cioè C = posizione esatta,  $C_1 = -2$  mm medialmente e  $C_2 = +2$  mm lateralmente. Il risultato grafico mostra come le registrazioni pantografiche possono generare un artefatto nelle discrepanze di localizzazione dei centri di rotazione verticale generando dati clinici inesatti (movimento di Bennett patologico).

In una posizione esatta coincidente con il centro O, supponendo che il condilo nella replicazione compia una rotazione pura (escludendo per il momento l'aggiuntiva traslazione condilare) esso compierà una rotazione pura attorno all'origine O senza generare alcun movimento di Bennett patologico, mentre se spostato di +2 mm all'esterno sull'asse  $x_2$  si genererà un artefatto di surtrusione (0.34 mm) e di spostamento laterale 0.05 mm (movimento di Bennett patologico).

E' evidente che per la pantografia sia indiscutibilmente essenziale la determinazione del centro di rotazione verticale condilare destro-sinistro ed insieme determinano la distanza intecondilare. La determinazione dell'asse verticale  $x_3$  è affidata infatti ai tracciati pantografici generati sulle piastrine anteriori.

Dal manuale di Guichet sulla programmazione pantografica, si evince che la regolazione degli assi verticali (*ubicazione medio-laterale degli elementi componenti le fosse-condilari*) va eseguita facendo sovrapporre gli stili verticali anteriori al tracciato dell'arco gotico anteriore.(Fig.21)



**Fig.21:**Tracciato pantografico dell'arco Gotico sulle piastrine anteriori. Il tracciato che la paziente sta determinando eseguendo una laterotrusione sinistra non deve essere considerato come una sezione di un arco di cerchio ma di una sommazione di più archi di cerchio di  $\vartheta_i$  che naturalmente richiedono più centri di rotazione  $C_i$ . In questo tracciato perciò risiede tutta la genesi del complesso movimento tridimensionale del condilo laterotrusivo.

Se tutti gli stili non seguissero esattamente le code mediali dei tracciati anteriori, si sposta l'asse verticale ( asse  $x_3$ ) medialmente o lateralmente. A questo punto è doveroso far notare al lettore un altro inaccettabile limite della pantografia e cioè il fatto che questa procedura riflette in pieno la spiegazione matematica riportata in figura 17 in cui si assume che in un piano  $(x,y)$  un corpo  $C$  è sottoposto ad una rotazione  $\vartheta_1$  attorno al centro di rotazione  $C_1(x_1,y_1)$  ed alla rotazione  $\vartheta_2$  attorno al centro di rotazione  $C_2(x_2,y_2)$  quindi si ottengono le equazioni equivalenti alla rotazione  $\Theta = \vartheta_1 + \vartheta_2$  attorno al centro di rotazione medio  $\bar{C}$  le cui coordinate sono:

$$x_c = \frac{\vartheta_1 x_1 + \vartheta_2 x_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2}; y_c = \frac{\vartheta_1 y_1 + \vartheta_2 y_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2}$$

Le coordinate  $(x_c, y_c)$  risultano essere le coordinate del centro di rotazione medio  $\bar{C}$  sulla retta congiungente i due centri di rotazione  $C_1$  e  $C_2$ . La localizzazione del centro medio  $\bar{C}$  nei tracciati pantografici dell'arco gotico nelle piastrine anteriori *dipende dall'ampiezza degli angoli  $\vartheta_1$  e  $\vartheta_2$  ..*  $\vartheta_i$  e perciò la regolazione degli assi verticali risulta essere una procedura di localizzazione media dell'asse verticale e così, di conseguenza, la determinazione della distanza intercondilare. Non si può certamente parlare di registrazioni individuali e tanto meno di replicazione reale dei tracciati condilari e ciò rende comprensibile il basso valore predittivo (0.15) di questa metodica strumentale e l'esclusione dal RDC. Questo limite risiede proprio nei limiti bioingegneristici del metodo e non nella standardizzazione del protocollo. (34,35,36)

Si tenga presente che nelle discipline gnatologiche da quest'effetto di localizzazione media dei centri di rotazione condilari verticali e dalla conseguente determinazione della distanza intercondilare si sono generati le basi fondamentali per la realizzazione di un replicatore della cinematica mandibolare assiografico.

## SISTEMA ASSIOGRAFICO

Movimenti mandibolari e cicli masticatori				
Test Diagnostici	Cutoff	Sensibilità	Specificità	VPP
Cicli masticatori ( <i>Feine et al., 1988</i> )	descrittivi	0.26	0.70	0.11

Attraverso il sistema assiografico e con un artificio elegante è stato superato l'ostacolo dei sistemi pantografici per la localizzazione del centro di rotazione condilare verticale e di conseguenza della distanza intercondilare individuale. Non essendo possibile conoscere a priori la distanza intercondilare e tanto meno riprodurla fedelmente, si è pensato di impiegare metodi trigonometrici che permettessero di trasferire i valori ottenuti da una distanza interfacciale (facilmente calcolabile) ad una distanza intercondilare mantenuta fissa sull'articolatore (110 mm)

I valori dei tracciati assiografici, comunque, vengono determinati da una serie di procedure trigonometriche e la loro conoscenza risulta utile per la comprensione del proprio meccanismo d'azione e del risultato.

Il processo trigonometrico riportato <sup>(37,38)</sup> descrive la sequenza di un processo matematico per la determinazione dell'angolo di Bennett.

$$\text{sen}X = \frac{S}{2a + b + \Delta\eta}; \quad (14)$$

$$\cos X = \sqrt{1 - \text{sen}X^2}; \quad (15)$$

$$-yB = \Delta\eta \cos X + b(1 - \cos X) \quad (16)$$

$$\text{Angolo di Bennett} = \text{arctg} \frac{-yB}{w}; \quad (17)$$

Si può notare che l'angolo di Bennett deriva dall'arcotangente del rapporto  $-yB$  e  $w$  derivabile da  $\text{sen}X$  (eq.14). Quest'ultimo rappresenta il rapporto tra lo spostamento protrusivo  $S$  della mina tracciante sulla piastra verticale assiografica, che di norma è a passi di un millimetro, ed il raggio equivalente alla distanza interfacciale più il  $\Delta\eta$  indicante lo spostamento mediale del condilo mediotrusivo.

In questo modo si stabilisce che:

- Il  $\text{sen}X$  deriva da una rotazione su un centro di rotazione posizionato nella piastrina assiografica controlaterale al tracciato mediotrusivo. La formula (14) infatti, incorpora nel denominatore la distanza interfacciale  $(2a + b)$  più il  $\Delta\eta$ . Ciò corrisponde ad una forzatura del processo geometrico in quanto le rotazioni, intraoralmente, si sviluppano nell'area condilare e non sulle piastrine assiografiche ad una distanza interfacciale. Successivamente si riprenderà questo concetto.
- Il rapporto  $-yB$  e  $w$  trasformerebbe il valore dell'angolo da una distanza interfacciale ad una distanza intercondilare incorporando però l'errore di localizzazione della rotazione Eq. 14.

Simulando una registrazione assiografica con una distanza interfacciale di 167 mm ed un  $\Delta\eta$  di 0.3, 0.35, 0.5, e 0.6 mm a rispettivamente 1, 2, 3 e 4 mm di spostamento  $S$  mediotrusivo, l'angolo di Bennett risulta  $20.7^\circ$ ,  $12.5^\circ$ ,  $11.9^\circ$  e  $10.7^\circ$  rispettivamente (risultati axiocomp).

Il procedimento trigonometrico assiografico è perciò sovrapponibile alla trattazione precedentemente esposta di spostamenti  $\vec{S}$  definito da:

$$\vec{S} = \vec{t} + (\cos\vartheta - 1)\overrightarrow{CP} + \text{sen}\vartheta \vec{e}_a \times \overrightarrow{CP} \quad (3)$$

che essendo in presenza di rotazioni d'ampiezza infinitesimali attraverso l'eq.4 si trasformerà in:

$$\vec{S}_i = \vec{t}_i + \vartheta_i \times \overrightarrow{CP} \quad (18)$$

dove il vettore  $\vec{t}$  corrispondente al  $\Delta\eta$  ed il  $\vartheta_i \times \overrightarrow{CP}$  al  $\text{sen}X$  dell'eq.14, determinerebbero il valore

$\vec{S}_i$ . L' $\arctg \vec{S}_i$  genererebbe l'angolo di Bennett ad una distanza interfacciale. Il parametro di conversione  $P_c$  trasformerebbe la eq.18 in :

$$\vec{S}_i = (\vec{t}_i + \vartheta_i \times \overrightarrow{CP}) \times P_c \quad (19)$$

da cui deriva l'angolo di Bennett trasferito da una distanza interfacciale individuale ad una distanza intercondilare fissa di 110 mm. (Eq. 20)

$$\text{Ang.diBennett} = \arctg \vec{S}_i \quad (20)$$

Sostituendo i valori sopradescritti di  $\Delta\eta$  e  $\text{sen}X$  nella formula 19 si avranno i valori di  $\vec{S}_i$  da cui estrarremo l'arcotangente:

$$1) \vec{S}_1 = 0,3059; \arctg \vec{S}_1 = 20,27^\circ$$

$$2) \vec{S}_2 = 0,2186; \arctg \vec{S}_2 = 12,33^\circ$$

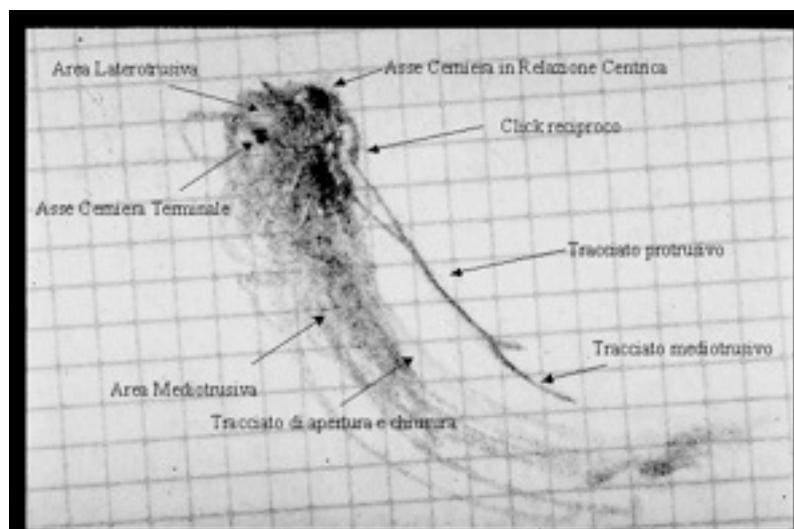
$$3) \vec{S}_3 = 0,2083; \arctg \vec{S}_3 = 11,7^\circ$$

$$4) \vec{S}_4 = 0,1882; \arctg \vec{S}_4 = 10,6^\circ$$

Le eq. 18, 19 e 20 ci permettono di sostituire l'elaborato procedimento trigonometrico con soli tre parametri e cioè il  $\Delta\eta$ , l'angolo  $\vartheta$  in radianti che corrisponde al  $\text{sen}X$  ed il parametro di conversione  $P_c$ . Ciò di conseguenza ci consente di veicolare alle leggi della meccanica razionale sopradescritte e di estrapolare delle conclusioni significative sul sistema assiografico.

Il concetto su cui si fonda il sistema assiografico è incompleto in quanto, anche se attraverso le misurazioni sulle piastrine i valori lineari di spostamento ( $q_1, q_2, q_3$ ) sono conosciuti, i valori angolari  $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3$  di rotazione dinamica sulla terna di assi cartesiani  $\bar{O} \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$  sono sconosciuti ed il sistema di replicazione perde tre gradi di libertà angolari. Per risolvere questo limite si è ricorsi a processi matematici ed alle leggi della meccanica razionale in cui si evince che per rotazioni di ampiezza molto piccole (infinitesimali) si può impiegare il solo parametro  $\vartheta$  derivabile da  $\text{sen}X$ .

Se per la pantografia è inappropriato quantificare un tracciato distorto dai limiti geometrico-matematici che incorpora il sistema stesso e tanto vero che l'assiografia non può essere validata scientificamente visto il grave errore trigonometrico che amputa il sistema di 3 gradi di libertà. Queste due procedure, incorporando difetti di progettazione bioingegneristica non potranno mai essere in grado di stabilire dei cutoff statistici applicabili a studi clinici. Possono dunque essere considerate solo come procedure descrittive in cui la descrizione può significare tutto o nulla ed avere, di conseguenza, termini ambigui come quelli volutamente eliminati dal RDC. Un esempio può essere osservato in (Fig.22)



**Fig.22:** Tracciato assiografico eseguito con cucchiaio paraocclusale per permettere l'esecuzione di funzioni masticatorie. L'area laterotrusiva e mediotrusiva corrisponde ai cicli masticatori ipsilaterale e controlaterale rispettivamente.

In figura il tracciato assiografico eseguito con cucchiaio paraocclusale mostra alcuni parametri importanti della cinematica mandibolare. La distanza in millimetri tra il punto di asse cerniera terminale forzata e retrusa rispetto all'asse cerniera in Relazione Centrica guidata non è

statisticamente documentata; l'area che si sviluppa dal ciclo masticatorio ipsilaterale o area laterotrusiva non è stata mai quantificata. Cosa significa quantificare l'area masticatoria? Per essere clinicamente validizzato un metodo deve dare dei valori numerici e non aleatori e cioè quanto è l'area laterotrusiva e quale è la sua media e deviazione standard? Prima di tutto bisognerebbe scomporre l'area in tanti piccoli rettangolini ( con limite tendente a 0), base costante ed altezza variabile (conosciuta in  $\mu\text{m}$ ), dopo di che si eseguirebbe l'integrazione di quest'area ed il risultato sarebbe definito come l'area integrale laterotrusiva in  $\text{mm}^2$  (per ogni asse). Soltanto dopo aver statisticamente, con un gran numero di casi, definito la media di quest'area e la deviazione standard si possono determinare i cutoff che divideranno il campione dei malati dai sani. Naturalmente questo è il primo passo verso la validizzazione del metodo perché dopo il metodo stesso dovrebbe essere saggiato con parametri di valutazione diversi quali la sensibilità, specificità, VPP come riportato in tabella 2. Anche questa definizione importante per la validazione clinica non è stata mai considerata e per cui è giusto parlare di eliminazione da parte del RDC della procedura diagnostica a patto che si parli di limite bioignegneristico e non di standardizzazione del metodo.

## SISTEMA ELETTROGNATOGRAFICO

Movimenti mandibolari e cicli masticatori				
Test Diagnostici	Cutoff	Sensibilità	Specificità	VPP
Ampiezza di apertura mandibolare ( <i>Dworkin et al., 1990</i> )	Maschi:35 mm	0.21	0.97	0.58
	Femmine:30 mm	0.21	0.97	0.55
Velocità di movimento mandibolare ( <i>Cooper e Rabuzzi, 1984</i> )	300 mm/sec	-	0.24	-
Velocità di movimento mandibolare ( <i>Feine et al., 1988</i> )	250 mm/sec	1.0	0.20	0.15
Rapporto Antero/Posteriore ( <i>Feine et al., 1988</i> )	1/2	0.86	0.30	0.14

Un sofisticato strumento elettronico è stato realizzato per le registrazioni cinematiche mandibolari con l'obiettivo principale di:

- Essere tridimensionale nella registrazione.
- Di ridurre al minimo l'invasività evitando il disturbo intraorale.
- Di ottenere una buona linearità del segnale in uscita.<sup>(39)</sup>

Questo strumento denominato elettrognatografo è prodotto da due aziende leader nel settore la “Myotronics e Siemens”. Da un punto di vista fisico ed elettronico i due strumenti sono analoghi di conseguenza si considererà il Sirognatograph della Siemens,<sup>(40)</sup> e si descriveranno le parti per valutarne i vantaggi ed i limiti clinici di questa metodica .Nell'antenna del sirognathograph sono inseriti otto sensori ad effetto Hall, identificati con le lettere A B C D E F G H (Fig.23), disposti come gli angoli di un parallelepipedo a base rettangolare, facendo in modo che nei movimenti mandibolari il magnete rimanga all'interno del solido stesso.

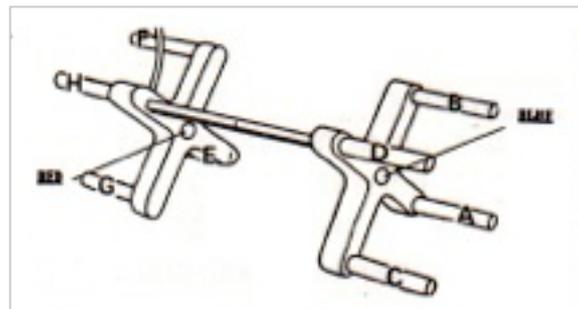


Fig.23:L'antenna incorpora per ciascun lato 4 sensori ad effetto Hall. Per la descrizione del metodo vedere testo.

Le tensioni (proporzionali all'intensità del campo magnetico) provenienti da ciascuno degli 8 sensori opportunamente miscelati e filtrati daranno lo spostamento della mandibola secondo i tre assi cartesiani  $X_1, X_2, X_3$ .

E' importante sapere che i sensori non sono continuamente in funzione, ma vengono attivati ogni 20 mS (frequenza di campionamento 50Hz).

Questo pone dei limiti per la massima velocità di spostamento che e' possibile rilevare (secondo la teoria del campionamento nel nostro caso 25Hz).

*Comunque, anche se tale campionamento e' sufficiente per registrare i normali movimenti della masticazione non lo e' quando si vuole rilevare un atto impulsivo.* <sup>(41)</sup>

Per semplificare la descrizione del circuito elettrico del Sirognathograph e' necessario dividerlo in 4 stadi (Fig.24)

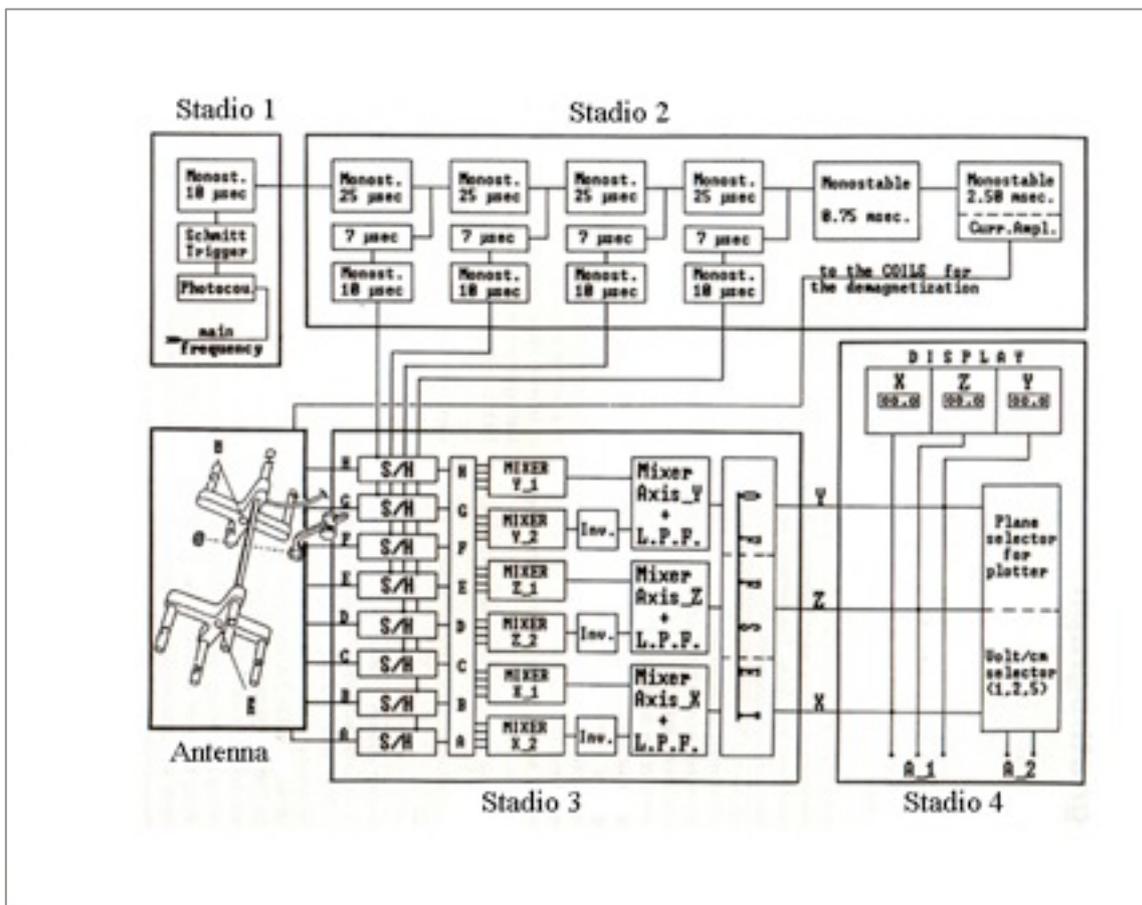


Fig.24: Riferimento nel testo

### Stadio 1

Ha la funzione di prelevare la frequenza di rete (50-60 Hz) per mezzo di un fotoaccoppiatore. Successivamente un "trigger di Schmitt" provvede a trasformarla in un onda quadra, per ottenere alla fine un impulso della durata di 10 µS con fronte di salita che coincide con quello dell'onda quadra a 50 Hz.

Questo stadio, come già detto, e' quello deputato a prelevare la frequenza della rete elettrica molto stabile e precisa per poterla poi utilizzare come frequenza di campionamento (F.d.C.); essa ha un'importanza fondamentale in riferimento al contenuto informativo del segnale campionato e alle possibilità di ricostruire fedelmente il segnale originario.

Il teorema del campionamento (teorema di Shannon) stabilisce che la frequenza di campionamento deve essere maggiore o uguale al doppio di quella della componente di frequenza più elevata del segnale in esame.<sup>(42)</sup>

## Stadio 2

In questo stadio abbiamo 5 monostabili collegati in cascata che fungono da linee di ritardo, di cui 4 a 25  $\mu$ S ed 1 a 0,75 mS. I primi 4 impulsi di 25  $\mu$ S servono per campionare in sequenza i 4 gruppi di sensori G/H E/F C/D A/B. Infatti tale impulso dopo essere stato ritardato di altri 7  $\mu$ S arriva al monostabile che genera l'impulso di campionamento. Tale impulso, della durata di 10  $\mu$ S, verrà utilizzato dai circuiti di sample and hold dello stadio 3.

Il quinto monostabile della catena (0,75 mS) ha lo scopo di produrre una latenza tra il campionamento degli ultimi due sensori e la generazione di un impulso per la demagnetizzazione dei sensori stessi. Infatti un impulso della durata di 2,5 mS e di ampiezza 12 volt viene inviato alla fine di ogni ciclo di campionamento agli 8 solenoidi posizionati vicino a ciascun sensore.

In definitiva dei 20 mS (50 Hz) di ogni ciclo il Sirognathograph esaurisce la sua funzione in circa 3 mS, i restanti 17 mS e' a riposo.

Il motivo che ha indotto il progettista del sirognathograph a scegliere il campionamento dei sensori piuttosto che l'analisi continua e' da ricercare nella particolare caratteristica dei sensori di Hall utilizzati.

Infatti, per aumentare la sensibilita', il sensore di Hall e' collocato tra due piastre di ferrite che aumenta la superficie efficace del sensore e da un convogliatore di flusso, sempre in ferrite, che concentra il campo magnetico nella zona attiva del sensore.<sup>(43,44.)</sup> Come tutti gli altri materiali ferromagnetici anche la ferrite conserva una certa quantita' di magnetismo residuo dopo che il campo magnetico a cui e' sottoposto e' stato rimosso (isteresi magnetica). Pertanto per avere delle misure lineari e precise e' necessario "*demagnetizzare*" il sensore (o meglio, la parte in ferrite del sensore) con un campo magnetico inverso. Se si aggiunge a questo il fatto di voler limitare l'assorbimento massimo, ecco che abbiamo il campionamento sequenziale. A questo infatti servono le linee di ritardo a 25  $\mu$ S precedentemente descritte. E' questo anche il tempo durante il quale i sensori vengono alimentati, mentre il campionamento dura 10  $\mu$ S ed e' grazie alla linea di ritardo a 7  $\mu$ S che essa e' centrata all'interno del tempo durante il quale i sensori da campionare sono attivati. Comunque e' da notare che al momento della scarica demagnetizzante i sensori non sono alimentati; infatti la linea di ritardo a 0,75 mS evita che la scarica magnetica possa alterare la misura degli ultimi due sensori campionanti.

### Stadio 3

Nel terzo stadio abbiamo gli otto circuiti di sample and hold che prelevano i segnali dall' antenna e li congelano secondo la sequenza precedentemente descritta.

Gli otto segnali così ottenuti opportunamente sommati e filtrati daranno lo spostamento sui tre assi. Lo spostamento sull'asse  $X_2$ , viene ottenuto dapprima miscelando i segnali dai sensori ABCD ed EFGH

Questa fase di campionamento e congelamento dei valori è determinante per la funzionalità dello strumento. Lo spostamento infatti viene realizzato da una sommatoria dei due segnali i quali vengono di nuovo miscelati non prima che il secondo sia stato invertito di polarità.

Il segnale così ottenuto passa attraverso un filtro passabasso che rigenera il segnale analogico.

Per gli assi  $X_1, X_3$  il procedimento è lo stesso ciò che cambia è la combinazione degli otto segnali dei sensori. Infatti per l'asse  $X_1$ , i gruppi di sensori interessati sono ABEF e CDGH, mentre per l'asse  $X_3$  sono ACEG e BDFH.

I tre valori degli assi così ottenuti vengono inviati al circuito di azzeramento che provvede a far coincidere la posizione di massima intercuspideazione con l'origine dei tre assi e quindi a far apparire sul "display" il valore zero.

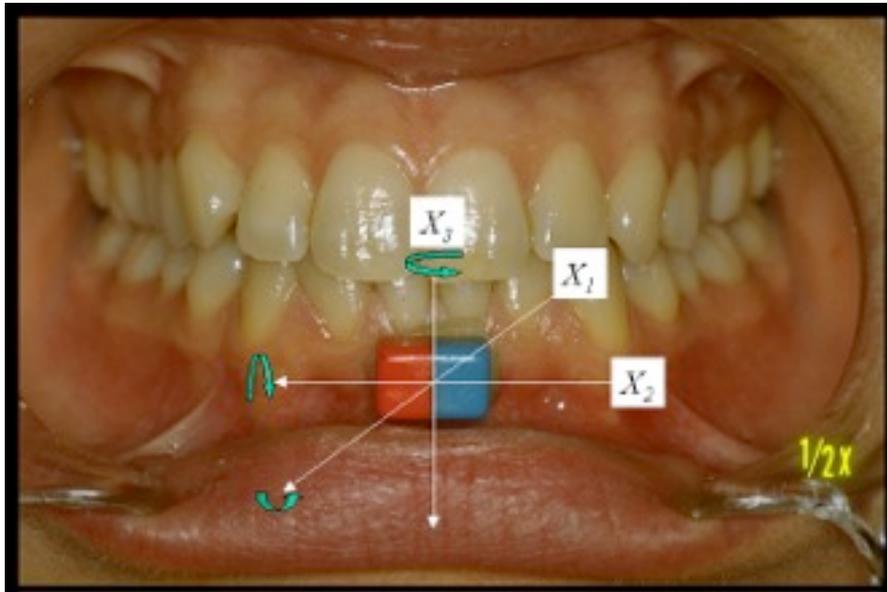
Dopo che i valori registrati dai sensori sono stati congelati dai circuiti di sample and hold, questi segnali vengono utilizzati nel modo precedentemente descritto per ricavare la posizione del magnete rispetto ai tre assi .

*Per questo motivo, purtroppo, il Sirognathograph non permette di registrare le rotazioni sui tre assi.*

Motivo principale di tale affermazione risiede nella progettazione tecnica dello strumento. Come abbiamo precedentemente descritto nello stadio 3 nei circuiti di sample and hold viene fatta una misurazione differenziale tra le due antenne e precisamente tra due gruppi di 4 sensori ciascuno. Ciò significa che la misurazione non è singola per ciascun sensore ma una sommatoria di 4 sensori. Inoltre a questo limite elettronico del sistema la difficoltà nel registrare le rotazioni mandibolari risiede anche in un fenomeno fisico legato direttamente al magnete. La rotazione sull'asse lungo del magnete  $X_2$ , non genera variazioni di campo magnetico.(Fig.25)

Ora possiamo ricollegarci ai concetti di meccanica razionale esposti precedentemente. Se un punto

venisse posizionato sull'area incisale inferiore esso si muoverà nello spazio con tre gradi di libertà lineari e cioè  $q_1, q_2, q_3$  e tre gradi di libertà angolari  $q_4, q_5, q_6$ . Quest'ultimi tre parametri sono sconosciuti proprio per il modo di campionamento e di congelamento della misurazione. Non essendo possibile rilevare queste rotazioni non è possibile determinare angoli di rotazione per cui lo strumento dovrebbe essere impiegato per pura esame descrittivo e non diagnostico.



**Fig.25:**La figura rappresenta le rotazione su i tre assi che il sistema elettrognatografico non è in grado di registrare.

*Anche per questo strumento il basso valore predittivo <sup>(45)</sup> è da imputare ad errori e limiti di progettazione più che ad errori interpretativi od alla mancanza di standardizzazione clinica.*

#### **Stadio 4**

Questo stadio e' rappresentato dai tre "display" a cristalli liquidi che visualizzano la posizione sui tre assi, dal circuito che seleziona i volts per centimetro (1-2-5) e infine dal selettore dei piani per il plotter ( $X_1, X_2$ =orizzontale;  $X_1, X_3$ =sagittale;  $X_2, X_3$ =frontale).

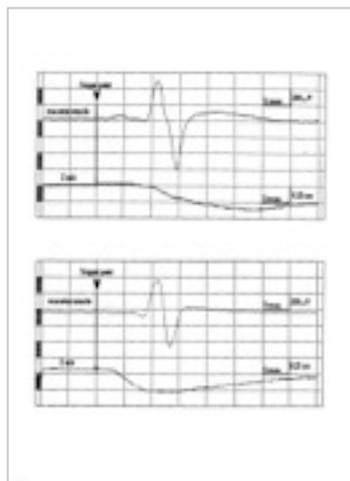
#### **Stadio 5**

##### **Antenna**

Oltre al supporto in parte metallico e in parte plastico l'antenna e' costituita da 8 sensori (Ferrite mounted Hall generator of InSb semiconductor material) e dai solenoidi posti in prossimita' di

ciascuno di essi. Il potenziale elettrico generato da ciascun sensore di Hall prima di essere inviato al circuito di sample and hold viene opportunamente amplificato da un integratore operazionale in configurazione differenziale.

Oltre ai limiti precedentemente esposti un ulteriore limite bioingegneristico del sistema elettrognatografico viene dalla frequenza di campionamento ed alla precisione della misura. Recenti studi eseguiti su soggetti affetti da disfunzione temporo mandibolare hanno dimostrato che l'ampiezza del riflesso mandibolare è diminuita sul lato ipsilaterale alla deviazione. Per valutare più dettagliatamente la correlazione tra posizione mandibolare e riflesso mandibolare evocato percuotendo il mento con un martello triggerato, non è sufficiente il campionamento del Sirognatograph. Infatti come si può osservare in figura 26 (grafico superiore) al momento della martellata non si nota nessuna deflessione verso il basso della mandibola (traccia inferiore) e comunque la mandibola inizia ad abbassarsi soltanto dopo il potenziale d'azione muscolare.



**Fig.26:**Riflesso mandibolare evocato percuotendo il mento con un martello triggerato piezoelettrico.

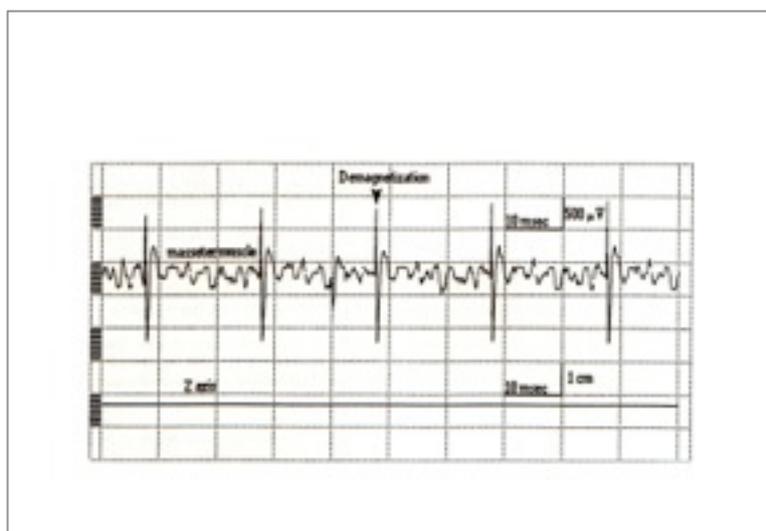
Questo risulta dal fatto che per un campionamento di 50 Hz lo strumento prende 1 punto ogni 20 mSec, quando il riflesso mandibolare si è già esaurito. La martellata può perciò, essere considerata come un atto impulsivo per cui è necessario aumentare il campionamento. Da un'attenta analisi del circuito elettrico è emerso che è possibile, senza modifiche drastiche, aumentare la F. di C. fino ad un massimo di 500 Hz. Infatti del periodo di 20 millisecc. (F. di C. = 50 Hz) il Sirognatograph esaurisce il ciclo di campionamento in circa 3 millisecc., nei restanti 17 msec. è inattivo. Pertanto riducendo il Ciclo di campionamento a 2 msec. è possibile aumentare la F. di C. di 10 volte.(500

Hz). Cio' è reso possibile dal fatto che il tempo di latenza (0.75 msec) e il tempo di saturazione (2,5 msec) hanno una tolleranza di  $\pm 50\%$ . Quindi per aumentare la F. di C. è stato necessario eseguire alcune modifiche al circuito elettrico, inserendo una piccola scheda tra lo stadio squadratore d'onda e il monostabile a 10 microsec che moltiplica la frequenza di rete per 10 ottenendo in uscita una F. di 500 Hz in fase con quella di ingresso.

È stato modificato il tempo del monostabile a 0,75 msec portandolo a 0,2 millisecc e del monostabile a 2,5 msec (demagnetizzazione) portandolo a 1,25msec.

È stata modificata la F. di taglio dei filtri passa basso dagli originari 20-25 Hz agli attuali 200-250 Hz. Come si può notare in fig.26 (grafico inferiore), dopo aver eseguito le modifiche opportune al Sirognathograph l'abbassamento mandibolare avviene prima del riflesso mandibolare, e precisamente a 2,5 mSec. Si può, perciò, analizzare dettagliatamente la posizione della mandibola, la accelerazione, il tempo di latenza meccanico di spostamento. Il nostro limite per studiare ulteriormente la posizione mandibolare ed i riflessi trigeminali è tuttora la F. di C., in quanto la precisione di questo strumento è principalmente vincolata dalla presenza della demagnetizzazione dei sensori (precedentemente descritta).

*Tutti gli studi elettrognatografici eseguiti con Sirognathograph abbinato a sistemi software in cui viene soppressa la demagnetizzazione dovrebbero essere considerati non attendibili e clinicamente non significativi. La demagnetizzazione, registrabile come corrente indotta dalle bobine dell'antenna su gli elettrodi EMG posizionati sul viso del paziente mostrano l'importanza di questo fenomeno (Fig.27). A tale proposito è sufficiente schermare i cavi degli elettrodi più che eliminare la demagnetizzazione.*



**Fig.27:**Tracciato oscilloscopio per la valutazione del potenziale elettrico generato dalla demagnetizzazione registrato con due elettrodi posizionati sul viso del paziente e l'asse in uscita ( z axis corrispondente all'asse  $x_3$  ) del sirognatograph.

## ELETTROMIOGRAFIA

Elettromiografia				
Test Diagnostici	Cutoff	Sensibilità	Specificità	VPP
EMG a riposo ( Cooper e Rabuzzi 1984)	EM1=10 $\mu$ V EM2= 2.5 $\mu$ V	0.89	0.19	0.13
Livello di massima chiusura masticatoria	160 $\mu$ V	-	-	-

Troppo spesso e non sempre con le adeguate conoscenze scientifiche si parla di gnatologia funzionale riguardante l'impiego di metodiche ed apparati elettromiografici. Questo fenomeno clinico, che per certi versi è stato forzatamente introdotto nelle discipline odontostomatologiche ed in particolar modo nella gnatologia, ha assunto una aspetto più di moda e di speculazione che di efficacia clinica. Per questo ed altri motivi il metodo diagnostico elettromiografico (EMG) è stato eliminato dal RDC per il basso valore predittivo (0.13). Si discuteranno, perciò, gli argomenti base dell'EMG generale mentre si riprenderanno e si approfondiranno successivamente gli argomenti di EMG clinica.

### Elettrodi

I segnali registrati durante una contrazione volontaria muscolare dipendono in massima parte dal tipo di elettrodo impiegato. L'elettrodo di superficie posizionato sul muscolo è in grado di

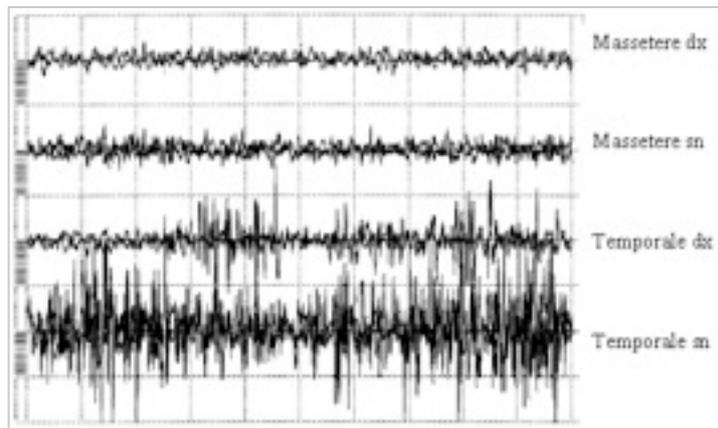
registrare più unità motorie sommate, mentre l'uso dell'elettrodo ad ago permette registrazioni di potenziali di singola unità motoria durante una moderata attività muscolare. Aumentando il carico muscolare la sincronizzazione dell'attività di molte unità motorie preclude l'identificazione della singola unità motoria. Per un impiego di routine si può affermare che l'elettromiografista nei laboratori di neurofisiologia impiega principalmente elettrodi standard concentrici ad ago, bipolari o monopolari, mentre per un uso esclusivamente gnatologico si impiegano elettrodi di superficie. Gli elettrodi di superficie costituiti di placchette di metallo fatte di platino o argento di dimensioni  $\approx 1 \text{ cm}^2$ , possono essere di tipo adesivo o fissate sulla cute con collodio. La pulizia della pelle, il lieve graffiamento e l'applicazione di pasta conduttrice riducono l'impedenza della pelle. L'eccessiva pasta conduttrice può generare un ponte tra i due elettrodi cancellando la differenza di potenziale. Il voltaggio dell'offset dell'elettrodo all'interfaccia non è registrabile dall'amplificatore ma un movimento meccanico determina cambiamenti dell'interfaccia metallo – pasta conduttrice causando un evidente artefatto. Elettrodi di superficie vengono usati prevalentemente per il monitoraggio della contrazione volontaria muscolare durante studi kinesiologici,<sup>(46)</sup> registrazioni di potenziali d'azione muscolari e nervosi ed infine per stimolare le terminazioni nervose periferiche. Un elettrodo di questo tipo può anche servire come elettrodo di riferimento o di terra. In congiunzione con un elettrodo monopolare ad ago si possono eseguire elettromiografia in muscoli poco profondi come il massetere, mentre per muscoli di profondità superiore come lo pterigoideo esterno è consigliabile impiegare un ago coassiale. Come si può notare in Fig.28 il paziente viene sottoposto ad esame elettromiografico con un elettrodo ad ago monopolare ed uno di superficie come riferimento per la rilevazione di attività di unità motorie in profondità nel muscolo massetere.



**Fig.28:** Elettromiografia eseguita con elettrodo ad ago monopolare e elettrodo di superficie come riferimento. In questo modo l'asse di registrazione diviene più trasversale e meno superficiale ma riduce l'area di registrazione stessa rispetto alla registrazione con elettrodi di superficie.

Il paziente si è presentato con un blocco mandibolare completo e nessuna manovra riuscì ad sbloccare la mandibola. Furono eseguiti immediatamente gli esami elettrofisiologici trigeminali come sopradescritto. L'assenza di attività a riposo del massetere ha escluso un interessamento muscolare ed ha indotto immediatamente l'operatore ad un intervento anestesiológico con curarizzazione per permettere un'indagine intraorale. La diagnosi definitiva fu di carcinoma faringeo con invasione del muscolo pterigoideo interno di sinistra.

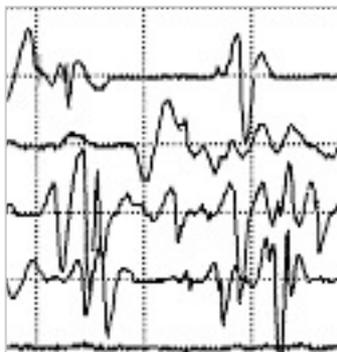
La punta di un elettrodo concentrico coassiale introdotto da Adrian e Bronk,<sup>(47)</sup> ha una forma ovale con un'area esposta di circa 150 – 600  $\mu\text{m}$  ed un'impedenza di 50 k $\Omega$ . L'elettrodo quando vicino alla sorgente registra la differenza di potenziale tra il filo interno all'ago e la cannula esterna. L'elettrodo concentrico bipolare è costituito da una cannula nel cui interno si trovano due filamenti di platino. L'elettrodo registra la differenza di potenziale tra i due filamenti e la cannula serve da terra. La registrazione determinata dalla differenza di potenziale elettrico tra i due filamenti permette solo la registrazione di un piccolo numero di fibre muscolari. Nel caso riportato (Fig.29) si evidenzia il tracciato EMG di una paziente affetta da DOF.



**Fig.29:**Elettromiografia di superficie dei masseteri e temporale. Si può notare un aumento dell'attività interferenziale ed in ampiezza del temporale sinistro.

Eseguendo un' elettromiografia ad ago (Fig.30) si è potuto evidenziare un'attività spontanea a riposo dei muscoli masticatori ed in particolare del temporale sn con scariche polifasiche che hanno indirizzato la diagnosi su una distonia oro facciale. Si può facilmente comprendere l'importanza di un'indagine elettromiografica con elettrodi ad ago per una diagnosi differenziale precoce tra patologia neurologica o gnatologica tipicamente funzionale. In presenza di attività elettromiografiche elevate mantenendo la mandibola in posizione di riposo è indispensabile una

valutazione del fenomeno con elettrodi ad ago per analizzare qualitativamente l'unità motoria (MUP).



**Fig.30:** Vedi testo

### **Sensibilità**

I potenziali registrabili durante esaminazioni elettrodiagnostiche variano in ampiezza da microvolt a millivolt. Tenendo presente uno schermo tradizionale dei più comuni elettromiografi per uso neurologico si deve notare che la quadrettatura della finestra temporale elettromiografica corrisponde ad 1 V/cm. I segnali di 1  $\mu$ V ed 1 mV se amplificati 1.000.000 ed 1.000 volte rispettivamente causano una deflessione di 1 cm del segnale sul monitor. Per seguire questo range di sensibilità l'amplificatore deve avere una serie di livelli. Un sistema che usa un preamplificatore con un guadagno di 500, seguito da ulteriori livelli di amplificazione ed attenuazione può produrre una variabilità di guadagno da 2 a 2000. Questo arrangiamento aumenta il rapporto segnale – rumore permettendo una maggiore amplificazione prima dell'emergenza del rumore sviluppato dal circuito successivo. Per ottenere questo risultato è importante che il preamplificatore abbia un'alta impedenza in entrata ed un basso livello di rumore.

Questo concetto di bioingegneria sta alla base dell'interpretazione dei fenomeni elettrofisiologici, infatti molti lavori che riportano dati di elevata attività elettromiografica registrata con elettrodi di superficie nei muscoli masticatori in posizione di riposo, non hanno una validazione scientifica (vedi tabella RDC). Il range di 5 – 10  $\mu$ V, come riportato in letteratura <sup>(48,49,50)</sup> risulta essere un errore di interpretazione in quanto questo valore deriva dal basso rapporto segnale – rumore e dall'interferenze con la corrente di rete. Per registrare potenziali così bassi, tipici del segnale

elettroencefalografico, sono necessari elettromiografi ad altissima sensibilità ed impedenza come quelli per neurofisiologia. Infatti con questi apparati è possibile rilevare potenziali evocati cerebrali somatosensoriali, visivi ed acustici che sono nell'ordine dei  $\mu\text{V}$ .

*Si raccomanda perciò molta attenzione nell'interpretare un rumore elettromiografico come ipertonìa muscolare.*

## **Impedenza**

L'entità della corrente generata in funzione del tempo nel tessuto muscolare o nervoso certamente non può essere considerata come un circuito a corrente continua in cui la corrente in uscita è costante. In questo tessuto non solo vi è un generatore di corrente, come la fibra muscolare o nervosa ma si interpongono in questo biosistema, tessuti che posseggono una loro capacità, induttanza e resistività. Tale situazione raffigura il sistema neuromuscolare come un circuito a corrente alternata con una variante che complica ulteriormente il sistema e cioè la sorgente elettrica viene rappresentata come un "segnale stocastico". Ciò indica che il segnale in uscita non è un segnale certo, ripetibile costantemente nel tempo e facilmente configurabile come può essere la corrente di rete, che ha una rappresentazione sinusoidale di 50 Hz, ma è un segnale che varia nel tempo proprio per la sua modulabilità ed aleatorietà. Questo fenomeno comporta l'introduzione dell'impedenza. In un circuito a corrente alternata in cui si sovrappongono elementi induttivi e capacitivi, il rapporto tra il voltaggio e la corrente è chiamato impedenza ed è simile alla resistenza in un circuito a corrente continua per la legge di Ohm. Mentre la resistenza è una costante, l'impedenza è una quantità bidimensionale che richiede la specificazione della grandezza e dell'angolo di fase, infatti, ambedue possono variare al variare della frequenza.<sup>(51)</sup>

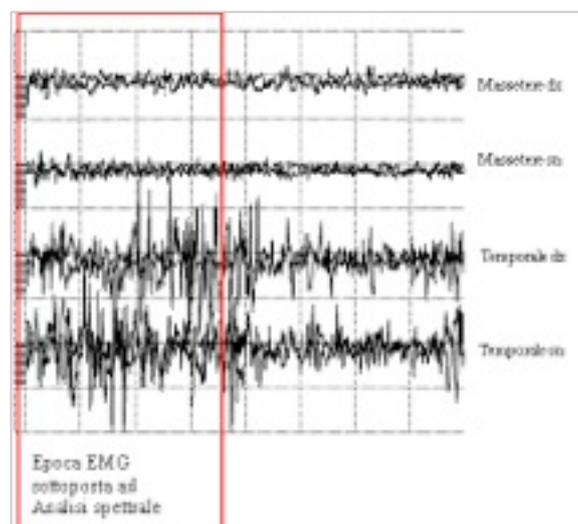
## **Filtri**

Riprendendo il concetto del segnale elettrico registrabile che abbiamo considerato variabile in frequenza, si può notare come questo segnale risulti compreso tra una frequenza più bassa ed un'altra più alta e ciò significa che il segnale in uscita ha una banda di frequenza propria. I filtri non sono altro che circuiti i quali permettono il passaggio di qualche banda di frequenza mentre ne attenuano altre, un poco come avviene per gli equalizzatori dei sistemi musicali stereo. Esistono perciò negli apparati elettrofisiologici più complessi, filtri che tagliano le frequenze alte e filtri che tagliano le basse ma anche i notch che consisterebbero in filtri centratori in cui si specifica la frequenza di taglio.

## Metodi di quantificazione: Trasformate di Fourier, Integrali e Rettificazione

Un ulteriore concetto fondamentale di elettronica che è stato impiegato da tempo in elettrofisiologia è lo studio delle frequenze di scarica del segnale elettromiografico o elettroencefalografico e corrisponde all'analisi *spettrale di Fourier*. Questo matematico francese dimostrò che una qualunque forma d'onda ripetitiva può essere espressa come la somma di una serie di sinusoidi e di cosinusoidi. Per dare un valore clinico all'interpretazione di un tracciato elettromiografico si è pensato fosse necessario analizzare il tracciato non in funzione del tempo ma attraverso un'analisi dinamica spettrale basata sulla presentazione del contenuto energetico delle varie componenti spettrali dei segnali contenuti. Un esempio significativo che si incontra in vari campi della fisica è costituito dalla rappresentazione di uno stesso fenomeno nel dominio del tempo o nel dominio delle frequenze.<sup>(52)</sup> Prendiamo il caso dell'udito; un suono orchestrale può essere descritto come andamento nel tempo della pressione totale acustica *istantanea*, oppure con i valori *istantanei* di tutte le componenti armoniche della pressione stessa.

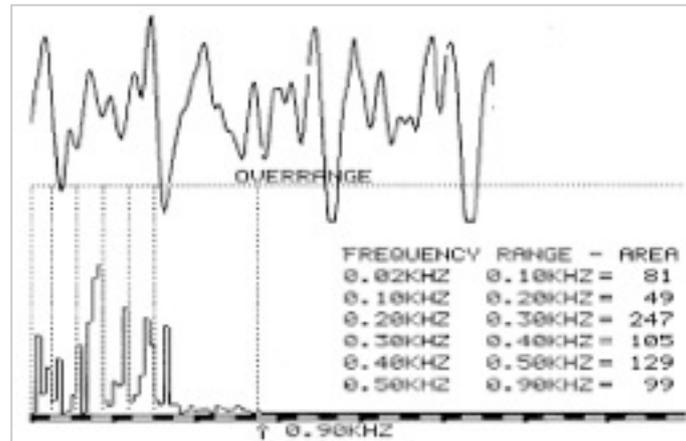
Una rappresentazione nel dominio del tempo di un segnale elettromiografico perciò, è più adatto ad evidenziare episodi ed eventi mentre quella nel dominio delle frequenze fornisce maggiori informazioni sulla natura dei generatori di quel evento o fenomeno.(Fig.31)



**Fig.31:**Tracciato elettromiografico dei masseteri e dei temporali EMG non rettificato.

Il tracciato elettromiografico (Fig.31) ad una analisi visiva mostra una normale attività

interferenziale elettromiografica, ma se volessimo dare un valore di energia del segnale dovremmo prima rettificarlo, successivamente analizzarlo con lo spettro d'onda del segnale con la trasformata di Fourier ed infine calcolarne l'area integrale e dunque quantificare l'integrale di ogni banda di frequenza (Fig.32)



**Fig.32:**Tracciato elettromiografico della figura precedente trattato con rettificazione ed integrazione del tracciato per analizzare lo spettro di potenza del segnale.

Questo metodo fu spesso impiegato per valutare le risposte in frequenza di scarica delle unità motorie. Si sosteneva appunto, che i muscoli interessati da tale patologia avessero una bassa frequenza di scarica rispetto ai muscoli non coinvolti. <sup>(53)</sup> Questo dato clinico venne criticato per molti motivi:

- Lo smorzamento (damping) indotto dalle differenze strutturali e di posizione del tessuto sul muscolo target sottostante.
- Le variabili che entrano in gioco nell'attività muscolare volontaria.
- La mancanza di correlazione con la forza esercitata nella chiusura della bocca (trasduttore di forza).

Anche in questo caso il metodo EMG è stato, giustamente, eliminato dal RDC per un gravissimo errore di interpretazione elettrofisiologico in quanto il range di EM1=5-10  $\mu$ V e EM2=2.5 $\mu$ V, riportati in letteratura (tabella 2) è da riferirsi a potenziali di placca (end plate potentials) di cui si discuterà nei prossimi capitoli.

Gli argomenti trattati nei paragrafi precedenti, riguardanti l'elettromiografia generale focalizzano l'attenzione sul tracciato elettromiografico con attività volontaria del soggetto. Questo tipo di elettromiografia si riferisce ad una elettromiografia quantitativa in cui si assiste ad una valutazione principalmente organica del sistema nervoso centrale e periferico trigeminale. Nel campo della gnatologia riabilitativa e delle disfunzioni temporo mandibolari l'interesse si sta spostando su un'analisi elettrofisiologica del sistema trigeminale di tipo qualitativo. <sup>(54,55)</sup> Per questi motivi si stanno costruendo protocolli elettrofisiologici basati su valutazioni qualitative dei riflessi trigeminali e dei potenziali evocati motori. <sup>(56)</sup>

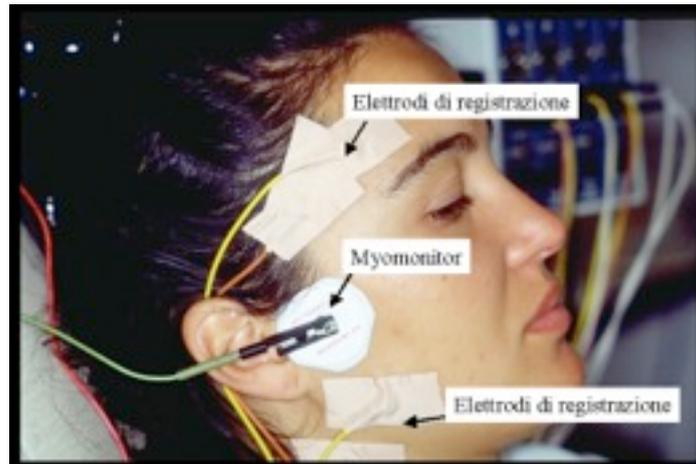
## STIMOLAZIONE ELETTRICHE TRANSCUTANEE

### (TENS)

Metodologie di stimolazione elettrica				
Test Diagnostici	Cutoff	Sensibilità	Specificità	VPP
Spazio libero di riposo prima della stimolazione (Cooper e Rabuzzi 1984)	0.75-2.0 mm	0.42	0.62	0.17
Spazio libero di riposo dopo la stimolazione (Cooper e Rabuzzi 1984)	0.75-2.0 mm	0.76	0.19	0.11
Traiettoria di chiusura prima dopo stimolazione elettrica (Cooper e Rabuzzi 1984)	Non definita	0.75	0.27	0.12

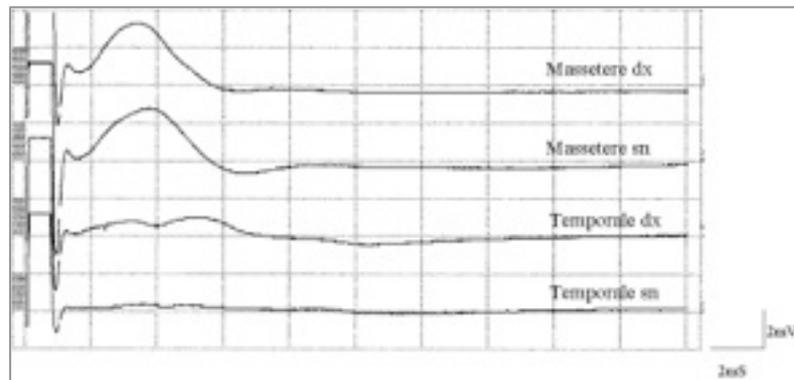
La TENS da Transcutaneal Electric Nerve Stimulation è stata introdotta in odontoiatria nel 1969 ed il principale requisito della procedura era la determinazione della posizione centrica denominata appunto “miocentrica”. Alcuni autori criticarono immediatamente il metodo perché incapace di evocare una risposta diretta di tutti i muscoli masticatori trigeminali mentre altri tentarono di dare una loro spiegazione sulla genesi della trasmissione neuromuscolare.<sup>(57,58)</sup>

Uno dei concetti fondamentali su cui si basò la procedura era la stimolazione diretta dei muscoli masticatori trigeminali. Alcuni muscoli masticatori sono inseriti in regioni profonde della faccia a volte non raggiungibili nemmeno con elettrodi ad ago, per cui si doveva in ogni caso evocare un risposta diretta di tutto il tronco nervoso periferico motorio trigeminale. Per studiare l’effetto del myomonitor si è interfacciato un elettromiografo a 4 canali equipaggiato di un trigger di sincronizzazione con lo stimolo erogato dal myomonitor. Questo trigger di sincronizzazione permetteva all’elettromiografo di far partire la traccia di acquisizione ed in tal modo si poteva evidenziare la presenza o l’assenza della risposta neuromuscolare con la propria latenza ed ampiezza. In figura 33 si può notare la disposizione degli elettrodi sia stimolanti che registranti. Il myomonitor, a conclusione della ricerca, non fu in grado di evocare una risposta su i muscoli temporalis in quanto il ramo nervoso motorio trigeminale di questo muscolo corre in profondità in fossa infratemporale.



**Fig.33:**Posizionamento degli elettrodi registranti e di stimolazione. Il myomonitor venne interfacciato con apposita scheda di interfacciamento all'elettromiografo. Questa scheda permetteva di sincronizzare lo stimolo proveniente dal myomonitor con l'acquisizione della traccia dell'elettromiografo

Si evidenzia questo fenomeno dalla figura 34 in cui appare la risposta dei muscoli masseteri ad una latenza di  $\approx 2\text{ms}$  ed ampiezza di  $\approx 3\text{mV}$  mentre non appare la risposta dei muscoli temporali.<sup>(59,60)</sup>



**Fig.34:**Potenziale d'azione muscolare fascico generato dalla stimolazione con myomonitor. Si evidenzia solo il potenziale dei masseteri dx. e sn

Da questo prima constatazione scientifica si assistette ad una serie di aggiustamenti metodologici accompagnati da altrettanti spiegazioni empiriche. Avendo smantellato la teoria della stimolazione diretta del tronco nervoso motorio trigeminale i difensori del myomonitor asserirono che la stimolazione determinava una risposta indiretta e perciò riflessa capace di evocare un potenziale di azione di tutti i muscoli masticatori trigeminali. Purtroppo la risposta riflessa tanto esaltata è una

risposta riflessa trigeminale molto complessa ed è denominata onda H da Huffman <sup>(61)</sup>

Questa risposta riflessa deriva dalla stimolazione diretta delle fibre Ia in fossa infratemporale che inviano l'impulso nervoso al sistema nervoso centrale e precisamente ai nuclei mesencefalici trigeminali i quali, con un collaterale, determinano il reclutamento fasico dei motoneuroni trigeminali. Ci sono due parametri essenziali in questo tipo di risposta riflessa:

- ✓ Lo stimolo elettrico deve essere assolutamente basso per evocare un potenziale d'azione dalle fibre Ia e non dalle fibre  $\alpha$  per cui lo stimolo in fossa infratemporale deve essere portato con elettrodo ad ago in prossimità del nervo motorio masseterino (Fig.35)
- ✓ Per evocare una risposta dai nuclei motori del V non è sufficiente l'input periferico delle fibre Ia e del nucleo mesencefalico ma è necessario che il nucleo motorio del V sia in una condizione di pre-eccitabilità. Questa pre-eccitabilità sul V motorio viene dal volley del sistema cortico-bulbare, il che significa, che il paziente deve volontariamente stringere con moderazione i denti. In conclusione, nessuna risposta riflessa di tipo onda -H può essere evocata mantenendo la bocca in posizione di riposo fisiologico.



**Fig.35:** Posizionamento degli elettrodi per evocare un'onda H. Gli elettrodi di stimolazione sono costituiti da un elettrodo ad ago inserito in fossa infratemporale i cui repéri anatomici sono l'arco zigomatico e la posizione del condilo mandibolare in apertura. Gli elettrodi di registrazione sono posizionati sul massetere.

*Il sistema RDC ha giustamente eliminato questa metodica come esame diagnostico in quanto non validizzato clinicamente (valore predittivo positivo 0.11-0.17). Il difetto che si può imputare al sistema RDC è che questa metodica doveva essere eliminata per l'errore grave di interpretazione elettrofisiologica e non per la mancanza di dati statistici standardizzati. E' da tener presente che non è pensabile una preparazione bioingegneristica da parte di un'ampia popolazione di medici che impiegano strumenti elettromedicali per scopi diagnostici, per cui è auspicabile che le industrie stesse realizzino strumenti ineccepibili da un punto di vista fisico e fisiologico. Premesso questo*

*l'utilizzatore e perciò il medico, si adopererà per la sperimentazione clinica e di conseguenza per la validizzazione del metodo.*

## **ALTERNATIVA AL RDC**

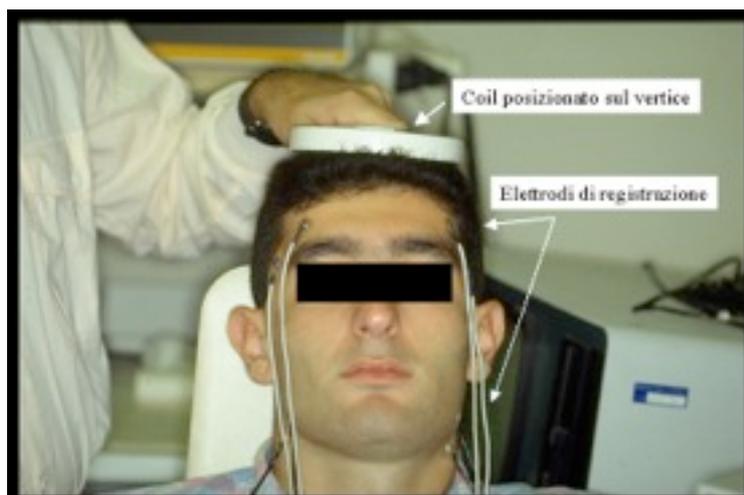
Un alternativa al sistema RDC che, nel suo contesto ovviamente, ha ridotto il livello scientifico diagnostico a soli esami clinici puramente odontoiatrici, rimane: a) una attenta semeiotica medica, b) un test psicometrico di qualsiasi tipo ( si tende a screening con test semplici tipo Hamilton), c) l'impiego di indagini strumentali appropriati al percorso diagnostico intrapreso. In un paziente con DTM, per esempio, che riferisce dolore e ipoestesia, spasmo muscolare o movimenti involontari mandibolari, vertigini o quant'altro, sarà più opportuno indirizzare la diagnostica strumentale su indagini elettrofisiologiche o di RM dell'encefalo o test di laboratorio ematochimici più che una RM dell'ATM o un semplice esame clinico dell'apertura della bocca come consiglia RDC.

Per quanto riguarda l'elettrofisiologia trigeminale un riflesso è certamente una risposta complessa che coinvolgente il sistema nervoso centrale e periferico, più o meno complessa in quanto dipende dalla circuiteria mono o polisinaptica interessata. In una risposta riflessa si può relativamente distinguere il contributo dell'input periferico dall'output centrale. In questo modo l'analisi elettrofisiologica ha una componente organica e funzionale. Per ottenere ciò è necessario che le risposte evocate dai muscoli target siano messi in relazione ad un evento. Questo evento può essere uno stimolo visivo, acustico, elettrico o meccanico. Inoltre lo stimolo, chiamato trigger, determina lo start dell'acquisizione del tracciato con una finestra temporale precedentemente programmata. In questa finestra temporale risiede tutta la risposta muscolare interessata. Attraverso questo metodo è possibile implementare il tracciato con average, smoothing, analisi dell'area integrale pre-e post trigger, ecc..

Se il trigger è di tipo visivo o acustico e la registrazione avviene con elettrodi posti sul cranio si assiste ad un'analisi del tracciato elettroencefalografico di quella finestra temporale che corrisponde ad un potenziale evocato visivo od acustico. Questo fenomeno elettrofisiologico viene chiamato potenziale corticale evocato in quanto lo stimolo ha origine periferica e la registrazione viene eseguita sull'attività del sistema nervoso centrale. Di solito l'analisi di questi potenziali evocati si ferma alle prime stazioni della generazione dell'impulso, tronco encefalico per l'acustico, corteccia

occipitale per il visivo, perciò le onde elettrofisiologiche studiate sono nell'ordine di 10 –100 mSec. Il loop di questo evento, perciò, è *periferico- centrale*.

Se uno stimolo di tipo elettrico o recentemente magnetico(Fig.36) fosse applicato sullo si può indurre una depolarizzazione del tessuto nervoso centrale motorio, sia delle fibre cortico bulbari (C-MEPs) che della radice motoria (R-MEPs) e registrare in periferia sui muscoli target un potenziale evocato chiamato potenziale evocato motorio. Il loop di questo evento a differenza dell'altro è *centrale- periferico*.



**Fig.36:** Rappresentazione di una stimolazione corticale trigeminale magnetica. Il coil consiste di una bobina in cui passa un impulso di 3000 V con durata di 100 –200  $\mu$ S. Il passaggio di corrente nella bobina genera un campo magnetico indotto capace di attraversare il cranio facilmente e senza alcun dolore per il paziente. Il campo magnetico intracranico viene ritrasformato in campo elettrico indotto capace di depolarizzare i motoneuroni piramidali con meccanismi complessi.

Un altro tipo di valutazione qualitativa elettrofisiologica consiste nell'analisi delle risposte muscolari evocate da un stimolo applicato alla periferia e registrato alla periferia stessa nei muscoli target. In questo caso il loop è *periferico- centrale- periferico* e corrisponde allo studio dei riflessi in senso stretto. L'analisi dei riflessi trigeminali e dei potenziali evocato motori delle radici e della corteccia trigeminale perciò consente di valutare il livello di facilitazione o inibizione di tipo centrale o periferico nell'uomo.<sup>(62)</sup> Un esempio di riflessi trigeminali è riportato.(Fig.37)



**Fig.37:**Riflesso mandibolare evocato percuotendo il mento attraverso un leggera percussione del mento attraverso un martelletto neurologico triggerato piezoelettrico. Lo stiramento indotto dalla martellata determina lo stiramento dei fusi neuromuscolari ed un potenziale di azione delle fibre Ia che hanno il loro corpo cellulare nei nuclei mesencefalici trigeminali. Il loop del riflesso si chiude evocando una risposta fasica dei motoneuroni trigeminali.

*In conclusione la gnatologia si sta evolvendo verso una tecnologia capace di incorporare metodologie specificatamente neurofisiologiche e bioingegneristiche per ottenere un miglioramento diagnostico ed un riconoscimento scientifico internazionale.*

## **MATERIALI E METODI**

### **PAZIENTI**

Sono stati testati 69 soggetti dei quali un gruppo di 33 pazienti riferivano dolore cronico oro facciale unilaterale differenziato in un sottogruppo di 13 pazienti che riferivano dolore oro-facciale atipico (DOA) in cui era difficile evidenziare segni patologici occlusali e/o dell'articolazione temporomandibolare ATM ed in un sottogruppo di 20 pazienti con dolore oro-facciale e segni clinici caratteristici dei DTM.

Questi segni clinici erano rappresentati da rumori dell'ATM come click e scrosci, blocchi articolari parziali e totali, deviazioni mandibolari in chiusura e limitazione nell'apertura della bocca inferiore a 30 mm.. L'età media del gruppo fu di  $37.4 \pm 12.4$  e fu classificato come "painfull patients" (pf).

### **GRUPPO DI CONTROLLO**

Il gruppo dei 36 soggetti di confronto erano costituiti da un sottogruppo di 15 soggetti sani e di un altro di 21 soggetti che non riferivano alcun dolore oro facciale ma presentavano sintomi episodici rari con caratteri fisici tipici dei DTM. L'età media del gruppo fu di  $30.8 \pm 9$  e fu classificato come "painless patients" (pl).

A tutti i soggetti furono eseguiti i seguenti esami elettrofisiologici:

## **POTENZIALE EVOCATI MOTORI DELLE RADICI TRIGEMINALI (BILATERAL ROOT- MOTOR EVOKED POTENTIALS <sub>b</sub>R-MEPS )**

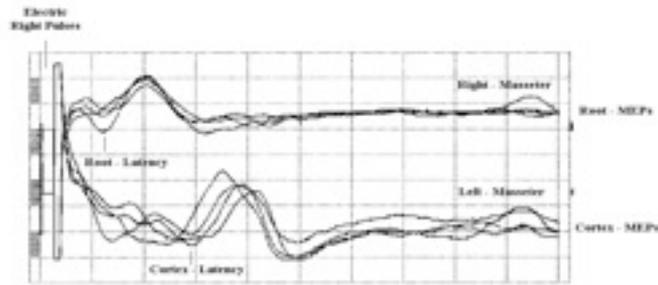
La Stimolazione Elettrica Transcraniale ( $\epsilon$ TCS) delle due radici trigeminali fu evocata attraverso un elettromiografo equipaggiato di due elettrostimolatori (Phasis OteBiomedica, Italia). Gli elettrodi per la stimolazione furono posizionati sul cranio seguendo questa disposizione: l'anodo al vertice ed il catodo a 11-12 cm lungo una linea meato acustico-vertice della regione parietale su ciascun lato. La disposizione degli elettrodi permette il passaggio di corrente tra il catodo e l'anodo. Da tener presente che per evocare una risposta dalla radice trigeminale è preferibile posizionare il catodo sull'area della radice in quanto questo tessuto nervoso si comporta elettrofisiologicamente come un nervo periferico.

In fig.2 si può notare come la distanza tra la regione parietale del cranio ed il forame ovale è di  $\approx 4$  cm il che favorisce la stimolazione catodica per evocare una risposta dalla radice motoria trigeminale intra o extra cranica. Se invertiamo la disposizione elettrodica si determinerà una stimolazione anodica più efficace per evocare una risposta corticale trigeminale.



**Fig.2:** Il taglio assiale TC passante per il meato acustico medio ed interno evidenzia chiaramente il forame ovale ad una distanza dalla regione parietale  $\approx 4$  cm.

In figura 3 , infatti, viene riportata una tipica stimolazione anodica del emisfero cerebrale destro. L'artefatto elettrico viene registrato ovviamente su ambedue i lati ( masseteri) dopo di che si può assistere ad una risposta ipsilaterale allo stimolo denominata Root-MEPs da potenziale evocato della radice motoria ed una risposta controlaterale denominata C-MEPs da potenziale evocato motorio corticale. Questa risposta neuromuscolare ha una latenza di  $\approx 6$ mS ed è generata dalla distanza del fascio cortico-bulbari.e dal ritardo centrale.



**Fig.3:** Stimolazione anodica della corteccia trigeminale. Il posizionamento dell’anodo in regione parietale a 11 cm sulla linea meato acustico-vertice, genera due risposte la Root- MEPs (ispilaterale) e la Cortex-MEPs (controlaterale)

Le risposte neuromuscolari furono chiamate Potenziali Evocati Motori Trigeminali Bilaterali e siglate come  ${}_b$  R-MEPs. <sup>(11,12)</sup> Lo stimolo elettrico consisteva in un onda quadra di 250  $\mu$ ms in durata ad un voltaggio di 200-300 V ed una corrente di  $\approx$ 100 mA. La sensibilità EMG fu di 2 mV per divisione ed i filtri passabanda 0.1 - 2 kHz.

Furono registrati ed analizzate le ampiezze del potenziale attraverso il calcolo picco-picco. Il reclutamento massimale della radice trigeminale fu determinato aumentando il voltaggio fino alla saturazione delle risposte e cioè fin quando l’ampiezza del  ${}_b$  R-MEPs non cambiava più aumentando ulteriormente la corrente di stimolazione.

### MISURE

Il primo step di questo studio fu di individuare un lato a cui riferire le risposte neuromuscolari trigeminali riflesse ed evocate motorie. Per i “painfull patients”<sup>x</sup> il lato fu individuato nel lato algico e denominato “painfull patients -” ( pf<sup>-</sup> ) mentre per i painless patients e precisamente per i soggetti sani, fu considerato il lato di non preferenza masticatoria, mentre per gli asintomatici il lato dove si verificavano episodicamente fenomeni fisici riferibili clinicamente a DTM e fu denominato “painless patients -” ( pl<sup>-</sup> ) I controlaterali, naturalmente, per i painfull patients e i painless patients furono denominati ( pf<sup>+</sup> ) e ( pl<sup>+</sup> ) rispettivamente .

Sono stati analizzati i seguenti parametri:

- a) ampiezza picco-picco del jaw jerk per ogni lato quando la mandibola veniva mantenuta in rest position, per i painfull patients and painless patients. (  ${}_{rp}JJpf^-$ ,  ${}_{rp}JJpf^+$ ,  ${}_{rp}JJpl^-$  e  ${}_{rp}JJpl^+$  )

- b) ampiezza picco-picco del jaw jerk per ogni lato quando la mandibola veniva mantenuta dal paziente in intercuspal position per i painfull patients and painless patients. (  $ipJJpf^-$ ,  $ipJJpf^+$ ,  $ipJJpl^-$  e  $ipJJpl^+$  )
- c) ampiezza picco-picco del  ${}_b$ Root-MEPs per ogni lato (  $Rpf^-$ ,  $Rpf^+$ ,  $Rpl^-$  e del  $Rpl^+$  )
- d) il rapporto espresso in percentuale tra il valore di ampiezza del  $JJpf^-$  ed il controlaterale  $JJpf^+$  denominato  $JJpf\%$  ; del  $JJpl^-$  ed il  $JJpl^+$  denominato  $JJpl\%$ . Il test fu eseguito nelle condizioni di posizione di riposo e di massima intercuspazione (  $rpJJpf\%$ ,  $rpJJpl\%$ ,  $ipJJpf\%$  ed  $ipJJpl\%$  )
- e) il rapporto espresso in percentuale tra il valore di ampiezza del  $Rpf^-$  ed il controlaterale  $Rpf^+$  denominato  $Rpf\%$ , del  $Rpl^-$  e del controlaterale  $Rpl^+$  denominato  $Rpl\%$ .

Per i valori assoluti dei voltaggi sono stati calcolati media, deviazione standard, mediana, valore minimo e massimo. Inoltre fu calcolata la differenza in percentuale dell'ampiezza del jaw jerk in rest position ed in intercuspal position rispetto all'ampiezza dei Root.MEPs ipsilaterale.

Per i valori dei rapporti sono stati calcolati i seguenti parametri descrittivi: media, deviazione standard, mediana, varianza, asimmetria e curtosi. Per valutare la differenza tra gruppi e' stato utilizzato il test di Mann-Whitney per 2 campioni indipendenti.

Il rapporto fu calcolato inserendo sempre al numeratore il lato di riferimento e cioè per i  ${}_b$ Root-MEPs il  $Rpf^-$  ed il  $Rpl^-$  e per il jaw jerk in rest position  $rpJJpf^-$ ,  $rpJJpl^-$  ed intercuspal position  $ipJJpf^-$  ed il  $ipJJpl^-$ .

Inoltre sono stati anche calcolati i seguenti percentili: 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95. L'uso dei percentili al posto degli intervalli di confidenza, per la valutazione dei cut-off diagnostici, e' reso necessario dalla distribuzione non perfettamente normale dei valori, vedi curtosi e asimmetria, e dalla loro ridotta numerosità.

## RISULTATI

In Tab.1,2,3 sono riportati rispettivamente, i valori assoluti per i painful e i painless patients, del jaw jerk in rest position, in intercuspal position e dei  $\sqrt{b}$ Root-MEPs. La media del  $r_{pJJpl}^-$  ( $0.75 \pm 0.23$ ) e del  $r_{pJJpl}^+$  ( $0.94 \pm 0.24$ ) mostrarono una relativa simmetria tra lati e tra i gruppi ed il valore di ampiezza tra il jaw jerk e l'ampiezza massima della Root-MEPs ipsilaterale risultò in media di  $\approx 20\%$  per ambedue i gruppi.

<b>Tab.1</b>	$r_{pJJpl}^-$ mV	$r_{pJJpl}^+$ mV	$r_{pJJpf}^-$ mV	$r_{pJJpf}^+$ mV
Media	0.75	0.94	0.65	0.87
S:D.	0.23	0.24	0.21	0.23
Mediana	0.72	0.95	0.64	0.84
Min.	0.4	0.53	0.31	0.54
Max.	1.19	1.28	1.09	1.3
% of R-MEPs	0.17	0.2	0.15	0.16

<b>Tab.2</b>	ipJJpl <sup>-</sup> mV	ipJJpl <sup>+</sup> mV	ipJJpf <sup>-</sup> mV	ipJJpf <sup>+</sup> mV
Media	0.8	1.3	0.4	1.5
S:D.	0.5	0.6	0.4	1.1
Mediana	0.7	1.2	0.3	1.2
Min.	0.2	0.4	0.03	0.2
Max.	2.2	2.8	1.9	6.8
% of R-MEPs	18	27	9.5	29

<b>Tab. 3</b>	Rpl <sup>-</sup> mV	Rpl <sup>+</sup> mV	Rpf <sup>-</sup> mV	Rpf <sup>+</sup> mV
Media	4.4	4.7	4.2	5.2
S:D.	1.9	2.1	2.9	2.5
Mediana	4	4.3	4.2	4.5
Min.	2	2.2	0.6	1.9
Max.	11	12.5	14.9	11.1

La media del ipJJpl<sup>-</sup> fu di 0.8 mV  $\pm$  0.5 mentre per il controlaterale ipJJpl<sup>+</sup> fu di 1.3 mV  $\pm$  0.6. I risultati in questo gruppo furono simili a quelli riportati per i soggetti sani in altri studi (13,14).

La media del ipJJpf<sup>-</sup> fu di 0.4 mV  $\pm$  0.4 e 1.5 mV  $\pm$  1.1 per il controlaterale.

Per i <sup>b</sup>Root-MEPs la media del Rpl<sup>-</sup> fu di 4.4 mV  $\pm$  1.9 mentre per il controlaterale Rpl<sup>+</sup> di 4.7 mV  $\pm$  2.1. La media per Rpf<sup>-</sup> fu 4.2 mV  $\pm$  2.9 mentre per Rpf<sup>+</sup> fu 5.2 mV  $\pm$  2.5.

Fu calcolata per ciascun gruppo, anche, la percentuale in ampiezza del jaw jerk rispetto all'ampiezza della Root-MEPs ipsilaterale. I risultati furono:

L'ampiezza del jaw jerk in intercuspal position rispetto all'ampiezza della R-MEPs ipsilaterale nei " pf " fu il 9.5% sul lato del dolore mentre risultò normale sul controlaterale  $\approx$  30%. Il valore medio in percentuale dell'ampiezza del jaw jerk rispetto all'ampiezza della Root-MEPs, riportata in letteratura è del  $\approx$  30%. (15,16)

L'analisi del rapporto in percentuale tra lati (Tab.4 ) mostrò un'elevata simmetria della risposta della <sup>b</sup>Root-MEPs sia per i Rpl % (0.93 %  $\pm$  0.12 ) che per i Rpf % (0.91%  $\pm$  0.22) con una differenza tra le medie di 0.02 non statisticamente significativo ( P >> 0.5).

Quando i soggetti mantenevano la mandibola in rest position  $_{rp}JJpf\%$  (  $0.86 \pm 0.38$  ) che per i  $_{rp}JJpl\%$  (  $0.81 \pm 0.4$  ) la differenza tra le medie non fu statisticamente significativa mentre si evidenziò una elevata asimmetria tra il  $_{ip}JJpl\%$  (  $0.61\% \pm 0.2$  ) ed i  $_{ip}JJpf\%$  (  $0.24\% \pm 0.14$  ) con una differenza tra medie di 0.37, corrispondente al 37%, statisticamente significativa ( $P < 10^{-3}$ ).

<b>Tab.4</b>	$Rpl\%$	$Rpf\%$	$_{rp}JJpf\%$	$_{rp}JJpl\%$	$_{ip}JJpf\%$	$_{ip}JJpl\%$
Media	0.93	0.91	0.86	0.81	0.24	0.61
D. S.	0.12	0.22	0.38	0.4	0.14	0.2
Mediana	0.90	0.92	0.75	0.74	0.23	0.6
Varianza	$1.5^{-2}$	$5^{-2}$	0.14	0.16	$2.03^{-2}$	$4.2^{-2}$
Asimmetria	1.5	-1.7	1.13	0.95	0.79	0.21
Curtosi	3.13	4.7	2	2	-0.11	-1.1
Differenza tra le medie	0.02			0.05		0.37
P-value (test di Mann Whitney)	> 0.5			>0.5		$< 10^{-3}$

L'analisi dei percentili a differenti step per i  $_{ip}JJpl\%$ ,  $_{ip}JJpf\%$ ,  $Rpl\%$  e  $Rpf\%$  è stata eseguita per determinare due cutoff:

- il primo, denominato cutoff <sup>a</sup>, necessario per una precoce diagnosi differenziale tra DOA e patologie neurologiche intracraniche ed extracraniche coinvolgenti il sistema nervoso trigeminale. Questo primo filtro è basato sulle risposte dei  $_{b}Root-MEPs$  ed in particolare sul rapporto  $Rpf\%$  e  $Rpl\%$ .
- il secondo, denominato cutoff <sup>b</sup>, basato sulle risposte del jaw jerk in intercuspal position ( $_{ip}JJpf\%$  e  $_{ip}JJpl\%$ ) rappresenta un secondo filtro che oltre ad essere una conferma del primo, identifica nel campione del DOA il comportamento specifico neuromuscolare dei pazienti con DTM. Tab.5

Tab.6	Rpf %	Rpf %
	Cutoff <sup>a</sup> <0.76	Cutoff <sup>a</sup> >0.76
ipJJpf %		
Cutoff <sup>b</sup> < 0.32	Organic Damage (out)	DTM (entry)
ipJJpf %		
Cutoff <sup>b</sup> > 0.32	Organic Damage (out)	DOA (entry)

Percentili	Rpl %	ipJJpl %	Rpf %	ipJJpf %
5	0.76	0.32	0.21	5.1 <sup>-2</sup>
10	0.81	0.35	0.74	0.1
25	0.85	0.44	0.85	0.13
50	0.9	0.60	0.92	0.23
75	0.96	0.81	1.06	0.32
90	1.1	0.9	1.1	0.46
95	1.2	0.94	1.2	0.56

Considerando un percentile del 5% il cutoff<sup>a</sup> cade ad un rapporto in percentuale tra lati (Rpl %) di 0.76 e viene considerato come valore di riferimento per disturbi di tipo organico del sistema trigeminale. Valori < 0.76, che descrivono asimmetrie tra lati superiori al 24 % sono considerati Organic Damage ed escono dal modello mentre valori > 0.76 sono considerati DOA e passano al secondo filtro e cioè al cutoff<sup>b</sup>.

Il cutoff<sup>b</sup> basato sul rapporto del jaw jerk, ad un percentile del 5% genera, per i ipJJpl % una asimmetria tra lati di 0.32 e questo fu considerato come valore di riferimento per la diagnosi differenziale tra DOA e DTM. Valori < 0.32 e cioè asimmetrie superiori al 68 % tra lati sono riferibili a pazienti con DTM e nel nostro campione corrispondono al 75 %.

In Tab.6 viene riportata una matrice per il cutoff<sup>a</sup> e per il cutoff<sup>b</sup> che consente una rapida valutazione elettrofisiologica del caso clinico.

## **DISCUSSIONE**

### **CONSIDERAZIONI NEUROFISIOPATOLOGICHE**

Con la  $\epsilon$ TCS le fibre trigeminali sono depolarizzate lungo il proprio corso intracranico prossimale al forame ovale. La simmetria in ampiezza delle risposte Rpf % ci permette di escludere possibili danni organici della radice motoria od errori tecnici di registrazione includendo anche il posizionamento degli elettrodi.

Alcuni autori <sup>(17)</sup> riportarono estreme asimmetrie in ampiezza nei pazienti con DTM, altri reclutando principalmente paziente DTM con sintomatologia decisamente unilaterale <sup>(18)</sup> notarono che le asimmetrie del jaw jerk erano a carico della latenza <sup>(19,20,21)</sup> oltre che della ampiezza.

In questo studio l'asimmetria di ampiezza del jaw jerk sembra essere dovuta principalmente ad una mancata facilitazione del riflesso sul lato del dolore quando la mandibola era mantenuta in massima intercuspazione ( $ipJJpf\%$ .) Questa affermazione deriva dalla considerazione che l'ampiezza media del riflesso sul lato del dolore dei painfull subjects corrisponde al 9.5% della Root-MEP inferiore perciò al controlaterale (29%) ed a quello registrato con la mandibola in rest position. Tab.1,2.

Sono presi in considerazione i possibili meccanismi neurofisiopatogenetici che modulano le risposte riflesse muscolari trigeminali.

#### SBILANCIAMENTO PRIMARIO DEL DRIVE CENTRALE

Alcuni studi hanno dimostrato una diminuzione del 50% della forza di chiusura mandibolare <sup>(22)</sup> mentre altri conclusero che "iperattività muscolare" potesse essere il meccanismo chiave nel DTM e che l'iperattività muscolare originasse da un meccanismo centrale nel sistema nervoso

L'anormale attività del drive centrale si esplicherebbe mediante una modulazione direttamente sui motoneuroni, attraverso il sistema corticobulbare, o indirettamente attraverso la modulazione delle circuiterie multisinaptiche della formazione reticolare laterale. Le cause dell'iperattività muscolare sono state riferite a fattori psicogeni <sup>(23,24,25,26)</sup> od a patologie primarie del sistema nervoso centrale come le distonie.<sup>(27)</sup>

In uno studio in cui furono reclutati pazienti affetti da DTM con sintomatologia e segni clinici unilaterali, <sup>(28)</sup> fu testata la funzionalità del sistema corticobulbare ed il sistema corticoreticolare, attraverso stimolazione magnetica corticale ed il ciclo di recupero del periodo silente esterocettivo masseterino.

Il comportamento elettrofisiologico delle risposte neuromuscolari, in questi pazienti, fu sovrapponibile a quello dei soggetti sani escludendo, perciò, qualsiasi forma di ipereccitabilità del sistema nervoso centrale elettrifisiologicamente documentabile.<sup>(29,30)</sup>

#### SBILANCIAMENTO PRIMARIO DELL'INPUT PERIFERICO

Deviando la mandibola su un lato, si determina un aumento dell'attività elettromiografica e dell'ampiezza del jaw jerk sul lato mediotrusivo (controlaterale alla deviazione) ed inoltre questo aumento è proporzionale alla deviazione mandibolare. <sup>(31)</sup> e ciò porterebbe a pensare ad un potenziamento dell'asimmetrie in intercuspil position.

Negli esperimenti sull'uomo la contrazione volontaria è in grado di attivare sia i neuroni scheletrici che i fusimotori. (32,33,34) Rimane comunque non chiaro se gli effetti sui riflessi siano mediati da cambiamenti delle proprietà meccaniche delle fibre extrafusali, delle intrafusali o di ambedue. In un recente lavoro (35) gli autori dimostrarono che il riflesso tendineo aumenta del doppio ed oltre con una contrazione muscolare volontaria del 5% e che questa facilitazione aumenta fino ad una contrazione del 25% dopo di che il riflesso va incontro ad una saturazione..

Se coesistesse una deviazione mandibolare verso il lato algico si determinerebbe un cambiamento fisico-meccanico dei fusi neuromuscolari sia di tipo passivo ( stiramento) che di tipo attivo ( attivazione fibre  $\gamma$  )

#### SBILANCIAMENTO SECONDARIO DEL DRIVE CENTRALE DA INPUT DELL'ARTICOLAZIONE TEMPOROMANDIBOLARE

La sostanza P (SP) e la Neurokinina A (NKA) sono state trovate nel fluido sinoviale, nelle fibre nervose dell'articolazione temporomandibolare (ATM).(36) e nel subnucleo caudalis del V. (37,38) Stimoli nocicettivi provocano rilascio di SP e NKA facilitando le reazioni nocicettive attraverso una lenta **DISCUSSIONE**

#### CONSIDERAZIONI NEUROFISIOPATOLOGICHE

Con la  $\epsilon$ TCS le fibre trigeminali sono depolarizzate lungo il proprio corso intracranico prossimale al forame ovale. La simmetria in ampiezza delle risposte Rpf % ci permette di escludere possibili danni organici della radice motoria od errori tecnici di registrazione includendo anche il posizionamento degli elettrodi.

Alcuni autori (17) riportarono estreme asimmetrie in ampiezza nei pazienti con DTM, altri reclutando principalmente paziente DTM con sintomatologia decisamente unilaterale (18) notarono che le asimmetrie del jaw jerk erano a carico della latenza (19,20,21) oltre che della ampiezza.

In questo studio l'asimmetria di ampiezza del jaw jerk sembra essere dovuta principalmente ad una mancata facilitazione del riflesso sul lato del dolore quando la mandibola era mantenuta in massima intercuspide (ipJJpf %). Questa affermazione deriva dalla considerazione che l'ampiezza media del riflesso sul lato del dolore dei painfull subjects corrisponde al 9.5% della Root-MEP inferiore perciò al controlaterale ( 29%) ed a quello registrato con la mandibola in rest position. Tab.1,2.

Sono presi in considerazione i possibili meccanismi neurofisiopatogenetici che modulano le risposte riflesse muscolari trigeminali.

#### SBILANCIAMENTO PRIMARIO DEL DRIVE CENTRALE

Alcuni studi hanno dimostrato una diminuzione del 50% della forza di chiusura mandibolare <sup>(22)</sup> mentre altri conclusero che “ iperattività muscolare “ potesse essere il meccanismo chiave nel DTM e che l’iperattività muscolare originasse da un meccanismo centrale nel sistema nervoso

L’anormale attività del drive centrale si esplicherebbe mediante una modulazione direttamente sui motoneuroni, attraverso il sistema corticobulbare, o indirettamente attraverso la modulazione delle circuiterie multisinaptiche della formazione reticolare laterale. Le cause dell’iperattività muscolare sono state riferite a fattori psicogeni <sup>(23,24,25,26)</sup> od a patologie primarie del sistema nervoso centrale come le distonie.<sup>(27)</sup>

In uno studio in cui furono reclutati pazienti affetti da DTM con sintomatologia e segni clinici unilaterali, <sup>(28)</sup> fu testata la funzionalità del sistema corticobulbare ed il sistema corticoreticolare, attraverso stimolazione magnetica corticale ed il ciclo di recupero del periodo silente esterocettivo masseterino.

Il comportamento elettrofisiologico delle risposte neuromuscolari, in questi pazienti, fu sovrapponibile a quello dei soggetti sani escludendo, perciò, qualsiasi forma di ipereccitabilità del sistema nervoso centrale elettrifisiologicamente documentabile.<sup>(29,30)</sup>

#### SBILANCIAMENTO PRIMARIO DELL’INPUT PERIFERICO

Deviando la mandibola su un lato, si determina un aumento dell’attività elettromiografica e dell’ampiezza del jaw jerk sul lato mediotrusivo (controlaterale alla deviazione) ed inoltre questo aumento è proporzionale alla deviazione mandibolare. <sup>(31)</sup> e ciò porterebbe a pensare ad un potenziamento dell’asimmetrie in intercuspal position.

Negli esperimenti sull’uomo la contrazione volontaria è in grado di attivare sia i neuroni scheletromotori che i fusimotori. <sup>(32,33,34)</sup> Rimane comunque non chiaro se gli effetti sui riflessi siano mediati da cambiamenti delle proprietà meccaniche delle fibre extrafusali, delle intrafusali o

di ambedue. In un recente lavoro <sup>(35)</sup> gli autori dimostrarono che il riflesso tendineo aumenta del doppio ed oltre con una contrazione muscolare volontaria del 5% e che questa facilitazione aumenta fino ad una contrazione del 25% dopo di che il riflesso va incontro ad una saturazione..

Se coesistesse una deviazione mandibolare verso il lato algico si determinerebbe un cambiamento fisico-meccanico dei fusi neuromuscolari sia di tipo passivo ( stiramento) che di tipo attivo ( attivazione fibre  $\gamma$  )

## SBILANCIAMENTO SECONDARIO DEL DRIVE CENTRALE DA INPUT DELL'ARTICOLAZIONE TEMPOROMANDIBOLARE

La sostanza P (SP) e la Neurokinina A (NKA) sono state trovate nel fluido sinoviale, nelle fibre nervose dell'articolazione temporomandibolare (ATM).<sup>(36)</sup> e nel subnucleo caudalis del V. <sup>(37,38)</sup> Stimoli nocicettivi provocano rilascio di SP e NKA facilitando le reazioni nocicettive attraverso una lenta **DISCUSSIONE**

## CONSIDERAZIONI NEUROFISIOPATOLOGICHE

Con la  $\epsilon$ TCS le fibre trigeminali sono depolarizzate lungo il proprio corso intracranico prossimale al forame ovale. La simmetria in ampiezza delle risposte Rpf % ci permettere di escludere possibili danni organici della radice motoria od errori tecnici di registrazione includendo anche il posizionamento degli elettrodi.

Alcuni autori <sup>(17)</sup> riportarono estreme asimmetrie in ampiezza nei pazienti con DTM, altri reclutando principalmente paziente DTM con sintomatologia decisamente unilaterale <sup>(18)</sup> notarono che le asimmetrie del jaw jerk erano a carico della latenza <sup>(19,20,21)</sup> oltre che della ampiezza.

In questo studio l'asimmetria di ampiezza del jaw jerk sembra essere dovuta principalmente ad una mancata facilitazione del riflesso sul lato del dolore quando la mandibola era mantenuta in massima intercuspidação (ipJJpf %.) Questa affermazione deriva dalla considerazione che l'ampiezza media del riflesso sul lato del dolore dei painfull subjects corrisponde al 9.5% della Root-MEP inferiore perciò al controlaterale ( 29%) ed a quello registrato con la mandibola in rest position. Tab.1,2.

Sono presi in considerazione i possibili meccanismi neurofisiopatogenetici che modulano le risposte riflesse muscolari trigeminali.

## SBILANCIAMENTO PRIMARIO DEL DRIVE CENTRALE

Alcuni studi hanno dimostrato una diminuzione del 50% della forza di chiusura mandibolare <sup>(22)</sup> mentre altri conclusero che “iperattività muscolare” potesse essere il meccanismo chiave nel DTM e che l’iperattività muscolare originasse da un meccanismo centrale nel sistema nervoso

L’anormale attività del drive centrale si esplicherebbe mediante una modulazione direttamente sui motoneuroni, attraverso il sistema corticobulbare, o indirettamente attraverso la modulazione delle circuiterie multisinaptiche della formazione reticolare laterale. Le cause dell’iperattività muscolare sono state riferite a fattori psicogeni <sup>(23,24,25,26)</sup> od a patologie primarie del sistema nervoso centrale come le distonie.<sup>(27)</sup>

In uno studio in cui furono reclutati pazienti affetti da DTM con sintomatologia e segni clinici unilaterali, <sup>(28)</sup> fu testata la funzionalità del sistema corticobulbare ed il sistema corticoreticolare, attraverso stimolazione magnetica corticale ed il ciclo di recupero del periodo silente esteroceettivo masseterino.

Il comportamento elettrofisiologico delle risposte neuromuscolari, in questi pazienti, fu sovrapponibile a quello dei soggetti sani escludendo, perciò, qualsiasi forma di ipereccitabilità del sistema nervoso centrale elettrifisiologicamente documentabile.<sup>(29,30)</sup>

## SBILANCIAMENTO PRIMARIO DELL’INPUT PERIFERICO

Deviando la mandibola su un lato, si determina un aumento dell’attività elettromiografica e dell’ampiezza del jaw jerk sul lato mediotrusivo (controlaterale alla deviazione) ed inoltre questo aumento è proporzionale alla deviazione mandibolare. <sup>(31)</sup> e ciò porterebbe a pensare ad un potenziamento dell’asimmetrie in intercuspal position.

Negli esperimenti sull’uomo la contrazione volontaria è in grado di attivare sia i neuroni scheletromotori che i fusimotori. <sup>(32,33,34)</sup> Rimane comunque non chiaro se gli effetti sui riflessi siano mediati da cambiamenti delle proprietà meccaniche delle fibre extrafusali, delle intrafusali o di ambedue. In un recente lavoro <sup>(35)</sup> gli autori dimostrarono che il riflesso tendineo aumenta del doppio ed oltre con una contrazione muscolare volontaria del 5% e che questa facilitazione aumenta fino ad una contrazione del 25% dopo di che il riflesso va incontro ad una saturazione..

Se coesistesse una deviazione mandibolare verso il lato algico si determinerebbe un cambiamento fisico-meccanico dei fusi neuromuscolari sia di tipo passivo ( stiramento) che di tipo attivo

## SBILANCIAMENTO SECONDARIO DEL DRIVE CENTRALE DA INPUT DELL'ARTICOLAZIONE TEMPOROMANDIBOLARE

La sostanza P (SP) e la Neurokinina A (NKA) sono state trovate nel fluido sinoviale, nelle fibre nervose dell'articolazione temporomandibolare (ATM).<sup>(36)</sup> e nel subnucleo caudalis del V. <sup>(37,38)</sup> Stimoli nocicettivi provocano rilascio di SP e NKA facilitando le reazioni nocicettive attraverso una lentadeporalizzazione mediata dai recettori tachikinici o attraverso il rilascio di altre sostanze come gli ammino acidi eccitatori (EAA) <sup>(39,40,41)</sup>

L'iniezione di olio di mostarda (MO ) nella ATM provoca una acuta risposta infiammatoria nei tessuti ed un sostenuto aumento dell'eccitabilità dei neuroni troncoencefalici nocicettivi nel subnucleus caudalis del V con attivazione dei riflessi di apertura e chiusura mandibolare.<sup>(42)</sup> Alcuni autori, <sup>(43)</sup> dimostrarono che l'iniezione di MO nella ATM del topo evocava un aumento dell'attività EMG nei muscoli digastrico e massetere. Questa co-attivazione suggerisce uno splinting dei muscoli che determina una limitazione del movimento della mandibola.<sup>(44,45,46,47)</sup>.

Inoltre l'iniezione di MO nella ATM del topo è capace di indurre cambiamenti neuroplastici nei neuroni nocicettivi caudalis che riflettono un processo analogo al "central sensitization" descritto per i modelli nocicettivi spinali <sup>(48, 49)</sup>

Il nostro studio elettrofisiologico ha evidenziato un decremento facilitatorio del jaw jerk sul lato del dolore, in contrasto con gli studi sperimentali sopra citati che affermano un effetto eccitatorio, ma non si può escludere il diverso comportamento delle risposte riflesse trigeminali nei diversi tempi della malattia come nell'evento acuto (trauma, blocco in chiusura completo ecc.)in cui ci si può aspettare un aumento dell'attività EMG per spintaggio della ATM.

Il modello del “vicious circle” fu proposto anche per il dolore muscolare. Le afferenze del gruppo III e IV dai muscoli dovrebbe avere un azione eccitatoria sui neuroni fusimotori ed aumentare l'attività di fondo dei fusi muscolari e di conseguenza aumentarne la loro sensibilità. <sup>(50)</sup>.

Altri studi <sup>(51)</sup> hanno dimostrato che i fusimotori rimanevano inibiti 5-15 min dopo lo start dell'inflammazione muscolare indotto farmacologicamente e ciò contraddice la teoria del “vicious circle”.

L'infusione di soluzione salina ipertonica nel muscolo fu proposta per studiare il comportamento dell'eccitabilità dei riflessi spinali nell'uomo e si affermò che vi è un aumento del riflesso da stiramento e che ciò poteva essere relazionata al modello di adattamento al dolore.<sup>(52)</sup> Inoltre la mancanza di incremento del riflesso-H suggerì un effetto periferico più che centrale del fenomeno neuromuscolare.

Alcuni autori <sup>(53)</sup> hanno documentato le proprietà funzionali dei neuroni del tronco encefalico che ricevono input dai fusi neuromuscolari. Essi <sup>(54)</sup> investigarono l'effetto del dolore muscolare sperimentale, sul central processing dei segnali propriocettivi in relazione ai movimenti mandibolari ed identificarono neuroni nel subnucleus caudalis V, prevalentemente nella parete mediale del subnucleus interopolaris (Vi) adiacente alla formazione reticolare, che ricevono input dai fusi neuromuscolari, probabilmente, attraverso il tratto di Probst.

Gli autori conclusero che i nocicettori muscolari, agendo attraverso interneuroni, alterano il drive fusimotorio il quale di conseguenza modula la sensibilità e output delle terminazioni primarie e secondarie dei fusi neuromuscolari. Le afferenze muscolari del III gruppo agiscono primariamente sui motoneuroni  $\gamma$ -statici mentre quelle del II gruppo agiscono preferenzialmente sui motoneuroni  $\gamma$ -dinamici. <sup>(55)</sup> Questo studio citato ed altri principalmente dimostrarono che il dolore muscolare e la fatica è capace di inibire i motoneuroni  $\gamma$ -statici e di conseguenza l'attività dei fusi neuromuscolari. <sup>(56,57,58)</sup>

Questo modello neurofisiologico in cui si distingue un meccanismo centrale secondario, direttamente legato ad uno sbilanciamento dell'input dalle afferenze muscolari del gruppo III e II ed i principali cambiamenti sui motoneuroni  $\gamma$ -statici può essere di notevole aiuto nella comprensione dei meccanismi neurofisiopatogenetici che intervengono nelle risposte del jaw jerk nei pazienti del nostro campione..

## **CONSIDERAZIONI CLINICHE**

Il modello presentato può essere considerato un valido aiuto diagnostico da appaiare all'anamnesi clinica nelle DOA e nei disturbi dell'ATM per vari motivi:

- I- il segno clinico obiettivo in patologie gravi neurologiche si possono manifestare solo tardivamente.
- II- Avendo una alta selettività sui DTM e per le patologie organiche che in qualche modo alterano la funzionalità trigeminale elettrofisiologica ancor prima di quella clinica, mettono in guardia il clinico anche da quelle condizioni di DOA dove il modello tende alla simmetria massima.
- III- La semplicità di esecuzione
- IV- Il basso costo di impatto sociale rispetto al costo di altre manovre diagnostiche di tipo odontoiatrico.

## Bibliografia

- 1) Sollecito T.P., Richardson R.M., Quinn P.D., Cohen G.S.: Intracranial schwannoma as atypical facial pain. Case report. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;76:153-6
- 2) Shankland W.E.: Trigeminal neuralgia: typical or atypical? *Cranio.* 1993;11:108-12.
- 3) Graff-Radford S.B., Solberg W.K.: Is atypical odontalgia a psychological problem? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1993;75:579-82.
- 4) Ruelle A., Datti R., Andrioli G.: Cerebellopontine angle osteoma causing trigeminal neuralgia: case report. *Neurosurgery.* 1994;35:1135-7.
- 5) Veshchev I, Spektor S.: Trochlear nerve neuroma manifested with intractable atypical facial pain: case report. *Neurosurgery* 2002 Apr;50(4):889-91; discussion 891-2
- 6) Vincent A., Lang B., Newsom-Davis J.: Autoimmunity to the voltage-gated calcium channel anomalies. The Lambert-Eaton myasthenic syndrome, a paraneoplastic disorders. *Trends Neurol* 1989;12:496-502
- 7) Newsom-Davis J.: Lambert-Eaton myasthenic syndrome: a review. *Monographs in Allergy* 25; 116-124
- 8) Lambert E., Elmqvist D.: Quantal components of end-plate potentials in the myasthenic syndrome. *Ann NY Acad Sci* 1971; 183: 183-199
- 9) Fukunaga H., Engel A., Osame M., Lambert E.: Paucity and disorganization of pre-synaptic membrana active zone in teh Lambert-Eaton myasthenic syndrome. *Muscle Nerve* 1982; 5:686-697
- 10) Bromberg MB., Albers JW., McCune WJ.: Transient Lambert-Eaton myasthenic syndrome associated with lupus erithematosus. *Muscle Nerve* 1989; 12; 15-19
- 11) Ketz E., Fopp M., Weissert M., Bekier A.: Polymyositis, miasthenic syndrome and thymoma in the patient with defective cell-mediated immunity. *Acta Neurol Belg* 1979;79:469-474
- 12) Fricton JR.: Atypical orofacial pain disorders: a study of diagnostic subtypes. *Curr Rev Pain* 2000;4(2):142-7
- 13) Stalberg E.: Dynamic electromyography and muscle biopsy changes in a 4-yr follow-up: Study of patients with a history of polio. E. Stalberg, G. Grimby: *Muscle&nerve* 1995; 18:699-707
- 14) Farrar WB.: Differentiation of temporomandibular joint dysfunction to simplify treatment (other articles included) *J.Prosthetic Dent.* 1972; 28: 555-629

- 15) Block SL.: Differential diagnosis of cranial facial cervical pain. In Sarnat BG., Laskin DM (eds): *The temporomandibular joint*, ed 3. Springfield.III Charles C.Thomas .1980 pp. 348-421
- 16) Eversole LR., Machado L.: Temporomandibular joint internal derangements and associated neuromuscular disorders. *J. Am.Dent Assoc* 1985; 110: 69-79
- 17) Bwll WE.: *Temporomandibular disorders:Classification, Diagnosis, Management.*(2 ed).Chicago Year Book Medical Publishers, 1986
- 18) Friction Jr., Kroening RJ., Hathaway KM.:*TMJ and Craniofacial pain: Diagnosis and Management.* St Louis, Ishiyaku EuroAmerica. 1988
- 19) American Academy of Craniomandibular Disorders: *Craniomandibular Disorders: Guidilines for evaluation, Diagnosi, and Management.* Chicago, Quintessence Publ.Co 1990
- 20) Talley RL., Murphy GJ., Smith Sd., Baylin MA., Haden JL.: Standards for the history, examination, diagnosis, and treatment of temporomandibular disorders (DTM): A position paper. *J Craniomand. Prat.* 1990; 8: 60-77
- 21) Bergamini M., Prayer-Galetti S.: A classification of musculoskeletal disorders of the stomatognathic apparatus. *Front Oral Physiol.* 1990; 7: 185-190
- 22) Truelove EL., Sommers EE., LeResche L., Dworkin SF., Von Korff M.: Clinical diagnostic criteria for RMD: New classification permits multiple diagnosis. *J. Am. Dent. Assoc.* 1992; 123: 47-54
- 23) Lund JP., Widmer CG., Donga R., Stohler CS.: The pain adaptation model: An explanation of the relationship between chronic pain and muscular activity. *Can J Physiol Pharmacol* 1991; 69: 683-694
- 24) Bird KE: Opto-electronic analysis of masticatory movements and velocities in the rat. *Arch Oral Biol.* 1988: 33, 209-215
- 25) Griffin CJ., Malor R.: An analysis of mandibular movement. In: *Frontiers of Oral Physiology.* Basel: S. Karger, 1974;1: 159-198
- 26) Gordon SR., Warren MS., Connor SA.: Location of the terminal hinge axis and its effects on the second molar cusp position. *J Prosthet. Dent.* 1984; 52: 99-105
- 27) Hart JK., Sakamura JS., Mandibular lateral side-shift and the need for gnathologic instrumentation. *J Prosthet. Dent.* 1985; 54:415-419

- 28) Bessette R., Quinlivan J.: Electromyographic evaluation of the Myomonitor. J Prost. Dent. 1973, 30: 19-24
- 29) Lund JP., Lamarre Y., Lavigne G., Duquet G.: Human jaw reflex. In: Motor Control Mechanism in Health and Disease . (ed) Desmedt JE, New York: Raven Press 1986
- 30) Frisardi G.: Motor evoked potentials in gnathology: diagnostic and therapeutic method. J. of Gnathology, Quintessence (ed) 1993, 12: 39-44
- 31) Ceradini G.: Cinematica dei sistemi rigidi da: Scienza delle costruzioni 1 Cinematica e statica dei sistemi rigidi. Masson Editoriale ESA 1993
- 32) Clayton JA.:A pantographic reproducibility index for use in diagnosing temporomandibular joint dysfunction. A report on research.. J Prosthet. Dent.1985, 54: 831-838
- 33) Klett R., Luckerath W.: Effects of projection errors on the pantographic diagnosis of TMJ dysfunction. Deutsch Zahnarzt Z 1989. 44: 36-40
- 34) Lederman KH., Clayton JA., Patients with restored occlusions. Part I: TMJ dysfunction determined by pantographic reproducibility index. J Prosteh.Dent. 1982,47: 198-205
- 35) Lederman KH., Clayton JA.,: Patients with restored occlusions. Part II: The relationship of clinical and subjective symptoms to varying degrees of TMJ dysfunction. J Prosthet. Dent. 1982, 47:303-309
- 36) Shields JM., Clayton JA., Sindledecker LD.: Using pantographic tracings to detect TMJ and muscle dysfunctions. J Prosthet. Dent.1978, 39: 80-87
- 37) Slavicek R., Die Funktionellen Determinanten des Kauorgans. München, Verlag Zahnärztlich –Medizinisches-Schrifttum. 1984
- 38) Slavicek R., Avril C., Collesano V.: Basi matematico-geometriche dell'axiographia. Rivista Italiana di Stomatologia.1983. 52, 52: 103-106
- 39) Hannam A G, De Cou R E,and Wood W W: The kinesiographic measurement of jaw displacement. J Prosth Dent 44:88-93,1980.
- 40) Lewin A: Electrognathographics.Quintessence Books.1981
- 41) Mandarini P.: Teoria dei segnali. Elementi. Euroma, Ed. Universitaria di Roma, La Goliardica 1987 )
- 42) Sirognatograph wiring reference: SIEMENS Germany
- 43) Cuniberti E.,De Lucchi L.,De Stefano B.: Elettronica: dispositivi e sistemi Petrini Editore

Torino 1988 1988

- 44) Usher M.J "Sensori e trasduttori" Tecniche Nuove Milano 1989
- 45) Feine JS., Hutchins MO., Lund JP.: An evaluation of the criteria used to diagnose mandibular dysfunction with the mandibular kinesiograph. J. Prosthet. Dent. 1988; 60: 374-380
- 46) Basmajian J.V.: Electrodes and electrode connectors. In Desmedt J.E.:(ed) New developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Vol.1 Karger, Basel, 1973, pp 502-510
- 47) Adrian ED., Bronk DW: The discharge of impulses in motor nerve fibres II. The frequency of discharge in reflex and voluntary contractions. J. Physiol. (Lond) 67: 119-151 1929
- 48) Cooper BC., Alleva M., Cooper DL., Lucente FE.: Myofascial pain dysfunction: an analysis of 476 patients. Laryngoscope 1986, 96:1099-1106
- 49) Cooper BC., Rabuzzi DD.: Myofascial pain syndrome: a clinical study of asymptomatic subjects. Laryngoscope 1983, 94 68-75
- 50) Manns A., Zuazola RV, Sirhan R., Quiroz M, Rocabado M. Relationship between the tonic elevator mandibular activity and the vertical dimension during the states of vigilance and hypnosis. J Craniomandib. Prat.1990. 8: 163-170
- 51) Kimura J.: Electrodiagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice. Edition II, 1989
- 52) Lindström L., Petersén I.: Power spectrum analysis of EMG signals and its applications. in Progress in Clinical Neurophysiology. Computer-Aided Electromyography. Ed. J.E. Desmedt, Brussels Karger 1983; pp 1-50
- 53) Molin C.: Vertical isometric muscle forces of mandible. Acta Odontol Scand 1972, 30: 485-99
- 54) Frisardi G.: Motor evoked potentials (MEPs) in gnathology. Study on the postural position and determination of the vertical occlusion dimension. J. of Gnathology. Quintessence (ed) 1994, 13: 23-27
- 55) Cruccu G., Frisardi G., van Stembergh D.: Side asymmetry of the jaw jerk in human craniomandibular dysfunction. Arch. of Oral Biol. 1992; 37: 4: 257-262
- 56) Frisardi G, Ravazzani P., Tognola G., Grandori F.: Electric versus magnetic transcranial stimulation of the trigeminal system in healthy subjects. Clinical applications in gnathology. J. of Oral Rehab. 1997; 24: 101-109
- 57) Wessberg GH., Carrol WL., Dinham R.: Transcutaneous Electric stimulation as an adjunct in

- the management of myofascial pain-dysfunction syndrome. J. Prosthetic Dent. 1981; 45:307-314
- 58) Bessette R, Quinlivan J.: Electromyographic evaluation of the Myo-monitor. J. Prosthetic Dent. 1973; 30:19-24
- 59) Jankelson B., Sparks S., Crane P., Radke J.: Neural conduction of the Myo-monitor stimulus: A quantitative analysis. J. Prosthetic Dent. 1975 ; 34: 245-253
- 60) Grippaudo G., Frisardi G.: Comparazione tra potenziali muscolari evocati con elettrostimolazione transcutanea e transcraniale. 79<sup>th</sup> Annual World Dental Congress FDI. 1991; III/329-340
- 61) Godoux E., Desmedt J.: Human masseter muscle: H-and tendon reflex. Arch. Neurology. 1975; 32:229-234)
- 62) Cruccu G., Frisardi G., Pauletti G., Romaniello A., Manfredi M.: Excitability of the central masticatory pathways in patients with painful temporomandibular disorders. Pain 1997; 73: 447-454