



Università degli studi di Genova
Facoltà di Medicina e Chirurgia

**MASTER IN RIABILITAZIONE DEI DISORDINI
MUSCOLOSCELETRICI**
in collaborazione con
LIBERA UNIVERSITÀ DI BRUXELLES

**METODI DI MISURAZIONE DELLA FORZA DEI
MUSCOLI MASTICATORI**

A.A. 2011-2012

Tesi di
Francesco Ottaviani

Relatore
Marco Testa

Correlatore
Tommaso Geri

INDICE

Abstract	3
Introduzione	4
Materiali e metodi	7
Risultati	8
Discussione.....	18
Tipo e dimensioni del dispositivo.....	19
Posizione nell'arcata dentale.....	22
Misurazioni unilaterali e bilaterali.....	22
Correlazioni.....	23
Conclusioni.....	25
Key points.....	26
Bibliografia.....	27

ABSTRACT

Obiettivo: L'obiettivo dello studio è quello di effettuare una revisione narrativa della letteratura, al fine di individuare e descrivere i metodi di misurazione a disposizione della forza dei muscoli masticatori. Si porrà attenzione ai principali fattori che in letteratura si ritiene influenzino la forza del morso e ai risultati che le misurazioni hanno prodotto.

Materiali e metodi: La ricerca è stata effettuata nella banca dati MEDLINE fino al 14 Aprile 2013, e si è limitata a reperire articoli in lingua Inglese o Italiana, eseguiti su esseri umani. Per essere inclusi, gli articoli dovevano presentare contemporaneamente dati precisi riguardo la misurazione della forza dei muscoli masticatori, della forza del morso o delle forze protrusive, quali: descrizione del dispositivo, utilizzo del dispositivo in almeno 8 soggetti, conseguimento nei risultati di valori di forza oggettivi e confrontabili.

Risultati: Nella sintesi qualitativa sono stati inclusi 24 articoli, effettuati su gruppi di soggetti con caratteristiche eterogenee e con metodi di valutazione quasi tutti diversi tra loro.

Conclusioni: Il progresso tecnologico ha migliorato sempre di più la qualità della misurazione della forza dei muscoli masticatori; tuttavia bisogna essere cauti nel confrontare i risultati dei diversi studi, sia per i fattori biologici dei soggetti, che per le caratteristiche del dispositivo. Per questo motivo non si è ancora arrivati a definire uno strumento standard, né valori di riferimento condivisi nella misurazione della forza dei muscoli masticatori.

INTRODUZIONE

L'Articolazione Temporo-Mandibolare (ATM) è una delle articolazioni più usate del corpo umano, non solo durante la masticazione, ma anche nella deglutizione e nel parlare.

I movimenti dell'ATM nella masticazione avvengono in gran parte grazie all'attivazione dei muscoli massetere, temporale, pterigoideo mediale o interno, pterigoideo laterale o esterno, classificati come muscoli primari della masticazione.

Una contrazione bilaterale dei masseteri, dei temporalis e degli pterigoidei mediali eleva la mandibola, per portare a contatto tra loro i denti delle arcate opposte. La linea di forza del massetere è pressoché perpendicolare alla superficie dei molari, dove riesce a sviluppare grandi forze per afferrare e tritare il cibo. Per una masticazione efficace, oltre all'elevazione, sono necessari anche i movimenti di protrusione e retrusione: il massetere provvede anche alla protrusione, con la sua parte superficiale, e a movimenti laterali della mandibola; il muscolo temporale con le fibre posteriori retrude, oltre a partecipare a movimenti laterali; lo pterigoideo mediale in parte protrude, e provvede efficacemente all'escursione controlaterale della mandibola sul piano frontale. Lo pterigoideo laterale, contratto bilateralmente, produce una forte protrusione.⁽¹⁻³⁾

La masticazione è una delle funzioni più interessate da problemi al sistema stomatognatico e una sua disabilità rientra tra le limitazioni che possono avere i pazienti con Disordini Temporo-Mandibolari (TMD, dall'inglese *Temporo-Mandibular Disorders*).⁽⁴⁾ Il termine TMD copre l'insieme dei problemi che riguardano la muscolatura masticatoria, l'ATM e/o le strutture ad esse associate (secondo la definizione dell'American Academy of Orofacial Pain), ed è una delle principali condizioni di dolore orofacciale, non legato ai denti. Tra i segni tipici di TMD abbiamo: dolore e debolezza nella regione dei muscoli masticatori o dell'ATM, rumori durante i movimenti di apertura-chiusura della bocca, movimenti mandibolari limitati o asimmetrici.⁽⁵⁾ La presenza di dolore influisce sul controllo motorio, sulla propriocezione e le funzioni sensoriali dell'ATM, come il riposizionamento o la discriminazione dello spessore tra i denti, nonché sulla performance e la forza masticatoria: la riabilitazione finalizzata al miglioramento della funzione masticatoria può essere perciò un obiettivo nel trattamento dei TMD.^(4,6)

In letteratura, la funzione masticatoria viene misurata in maniera oggettiva in molti suoi parametri: la performance masticatoria, la forza del morso, la resistenza del morso, l'attività elettromiografica e la cinematica mandibolare.⁽⁷⁾ Tra questi, l'indice che probabilmente è stato più

studiato è la forza masticatoria volontaria, cioè lo sforzo esercitato tra i denti della mascella e quelli della mandibola, quando quest'ultima è sollevata dai muscoli masticatori: questo valore è di particolare interesse nel caso di malocclusioni, malattie neuromuscolari, interventi chirurgici e TMD, perché correlato all'interazione dei muscoli con i sistemi nervoso, scheletrico e dentale.^(8,9) L'elevazione è il movimento principale dell'ATM nell'atto occlusivo, ed è anche il più analizzato; pochi studi, invece, sono stati condotti sulle forze protrusive, per la difficoltà dei soggetti nel controllare il reclutamento muscolare in un movimento ristretto della mandibola, che nella sua massima escursione richiede una contrazione inusuale, senza vincoli solidi, come i denti lo sono nell'elevazione.^(2,3) Nell'occlusione, comunque, al movimento puramente verticale della mandibola si aggiungono anche forze di scivolamento sul piano orizzontale, per permettere una triturazione ottimale del cibo.^(2,10) Per questo motivo, in un'analisi completa della masticazione, insieme alla forza dovrebbero essere valutate anche l'attività muscolare e i movimenti mandibolari.⁽¹⁾

Numerosi metodi e dispositivi vengono elaborati per lo studio della forza intraorale. Borelli, nel 1681, produsse il primo gnatodinamometro, lo strumento per misurare la forza esercitata nel chiudere la bocca; Black eseguì la prima valutazione scientifica nel 1893, elaborando un nuovo tipo di dispositivo e, successivamente, molti altri ricercatori hanno continuato ad analizzare la forza occlusale, creando attrezzature sempre più innovative.⁽¹²⁾ A livello di ricerca, molti studi utilizzano trasduttori estensimetrici a resistenza elettrica: generalmente questi dispositivi supportano carichi di 50-800 N con un'affidabilità assoluta di circa 10 N e un'affidabilità relativa di 0,80.⁽¹³⁾ La misurazione della forza massima del morso è influenzata da fattori correlati alla tecnica di rilevazione, alle dimensioni e alla collocazione del mezzo di misurazione, al numero di denti inclusi e all'area di contatto occlusale, nonché dai lati della misurazione (bilaterale o monolaterale).^(7,14) La forma e la dimensione del dispositivo spesso limitano la sua utilità clinica, a causa del posizionamento nella cavità orale, analizzando forze massimali e movimenti poco funzionali, che rendono la masticazione un atto volontario, non più semi-automatico.^(10,11,13) Lo spessore del trasduttore è importante, in quanto un'altezza maggiore obbliga il soggetto ad aprire di più la bocca: aperture oltre i 15 mm farebbero iniziare un movimento dei condili lungo l'eminanza articolare, modificando anche le forze dei muscoli elevatori.^(13,15) A tal proposito, da alcuni anni vengono utilizzati anche sensori di carico dallo spessore inferiore a 1 mm, costituiti da pellicole di polimeri conduttivi, che non richiedono alloggiamenti rigidi e poco confortevoli, come quelli dei trasduttori estensimetrici.⁽¹³⁾ Con dispositivi dallo spessore minimo si possono condurre misurazioni di attività più funzionali e bisogna tenere conto anche del fatto che la relazione tra

attività elettromiografica e forza è diversa in condizioni isometriche e in condizioni dinamiche, perché la velocità di accorciamento del muscolo ha un suo ruolo in queste ultime.⁽⁴⁾ In letteratura troviamo anche misurazioni più complete dal punto di vista biomeccanico: queste puntano a valutare le forze di reazione articolare e le forze muscolari, non solo nella componente verticale, ma in tutte le 3 direzioni ortogonali, attraverso algoritmi biomeccanici, che elaborano i dati anatomici del paziente, insieme ai valori della forza e dell'attività muscolare, registrati nello stesso momento, rispettivamente con un trasduttore e con l'elettromiografia di superficie.⁽¹⁶⁾

Considerando che in letteratura non è stato definito un gold standard per la valutazione della forza del morso e che i differenti dispositivi hanno vantaggi e svantaggi peculiari, la stima di questo parametro incontra ancora delle difficoltà: nei sani infatti non si sono individuati valori di riferimento condivisi, ma è un obiettivo su cui si sta lavorando, perché standard ben definiti sono cruciali in clinica, per identificare alterazioni e disfunzioni del sistema stomatognatico, ma anche per supportare la diagnosi e la prognosi.⁽⁹⁾

Lo scopo di questo elaborato è di effettuare una revisione narrativa della letteratura, che punti a descrivere i metodi di misurazione a disposizione della forza dei muscoli masticatori, osservando da un punto di vista riabilitativo i pregi e i limiti dei dispositivi descritti, in prospettiva di un utilizzo più in ambito clinico, che sperimentale. Si porrà attenzione ai principali fattori che in letteratura^(7,12,14) si ritiene influenzino la forza del morso (il tipo di sensore utilizzato, le sue dimensioni, il suo posizionamento all'interno della bocca e la lateralità della misurazione) e ai risultati che le misurazioni hanno prodotto.

MATERIALI E METODI

La ricerca è stata effettuata da un singolo operatore per mezzo di Pubmed, la banca dati elettronica di Medline, dalla sua creazione fino al 14 Aprile 2013, utilizzando le seguenti stringhe di ricerca:

- ("Masticatory Muscles"[Mesh] OR "Pterygoid Muscles"[Mesh] OR "Temporal Muscle"[Mesh] OR "Masseter Muscle"[Mesh]) AND (Force OR "Bite Force"[Mesh]OR "Muscle Strength Dynamometer"[Mesh] OR "Muscle Strength"[Mesh] OR "Coated Materials, Biocompatible"[Mesh])AND("Outcome Assessment (Health Care)"[Mesh] OR "Technology Assessment, Biomedical"[Mesh] OR "Process Assessment (Health Care)"[Mesh] OR "Outcome and Process Assessment (Health Care)"[Mesh] OR "Index of Orthodontic Treatment Need"[Mesh] OR measurement OR "Exercise Test"[Mesh]);
- "masticatory muscles" AND (force OR strength) AND (measurement OR assessment OR test);
- bite AND (force OR strength) AND (measurement OR assessment);
- protrusive mandibular force.

La ricerca si è limitata a reperire articoli redatti in lingua Inglese o Italiana ed eseguiti su esseri umani.

Il testo completo dei record è stato ottenuto tramite il Servizio Bibliotecario di Ateneo dell'Università degli Studi di Genova.

Per essere inclusi, a prescindere dal disegno di studio, gli articoli dovevano presentare contemporaneamente dati precisi riguardo la misurazione della forza dei muscoli masticatori, della forza del morso o delle forze protrusive, quali: descrizione del dispositivo, utilizzo del dispositivo in almeno 8 soggetti, conseguimento nei risultati di valori di forza oggettivi e confrontabili.

Sono stati esclusi: articoli di presentazione di nuovi dispositivi, con un numero insufficiente di pazienti; studi in vitro; studi in cui il dolore temporo-mandibolare era indotto artificialmente; studi con pazienti trattati unicamente con apparecchi ortodontici; studi in cui non veniva descritto il metodo di misurazione della forza; studi che misuravano l'attività elettromiografica, la funzione, la performance, l'efficienza, o l'abilità masticatoria, ma non la forza.

RISULTATI

Tramite Pubmed, la prima stringa ha prodotto 114 articoli, la seconda 141, la terza 272, la quarta 28, per un totale di 555 articoli.

In seguito al processo di screening sono stati esclusi 518 articoli che avevano scarsa, o poca attinenza con lo studio. In questo numero rientrano anche gli articoli non reperiti, perché pubblicati unicamente in formato cartaceo, non digitalizzato.

In seguito al processo di elegibilità, dei 37 articoli in ingresso, sono stati inclusi tutti gli articoli in cui comparivano dati precisi riguardo la misurazione della forza volontaria dei muscoli masticatori, o delle forze protrusive, o della forza del morso, mentre sono stati esclusi 13 articoli: di questi, 4 sono duplicati, gli altri 9 sono riportati in *Tabella 1* con i motivi di esclusione. Le revisioni della forza del morso sono state escluse per le informazioni troppo generalizzate e vaghe sui metodi di misurazione. La revisione di Van der Bilt⁽⁷⁾ è tornata comunque utile per approfondire concetti presenti nell'introduzione e nella discussione, pertanto verrà riportata nella bibliografia.

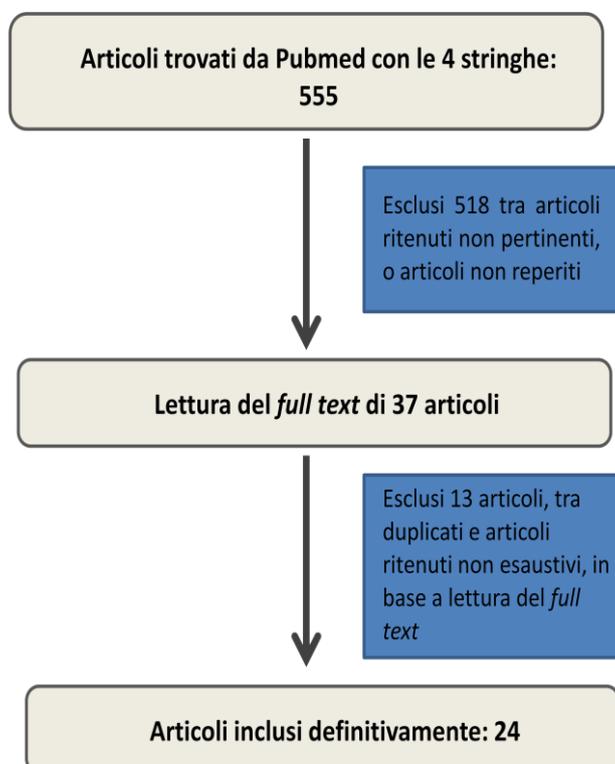
Tabella 1: Articoli esclusi dopo lettura del full text

Autore, articolo, pubblicazione	Motivo di esclusione
Carlsson G.E. Early in contrast to recent methods to evaluate masticatory function in implant patients J Prosthodont Res. 2012 Jan;56(1):3-10	Revisione
van der Bilt A. Assessment of mastication with implications for oral rehabilitation: a review ⁽⁷⁾ J Oral Rehabil. 2011 Oct;38(10):754-80	Revisione
Gomes S.G., Custodio W., Faot F., Cury A.A., Garcia R.C. Chewing side, bite force symmetry, and occlusal contact area of subjects with different facial vertical patterns Braz Oral Res. 2011 Sep-Oct;25(5):446-52	Articolo con autori, materiali e metodi identici ad un altro articolo già selezionato ¹⁹
Sipert C.R., Sampaio A.C., Trindade I.E., Trindade A.S. Jr. Bite force evaluation in subjects with cleft lip and palate J Appl Oral Sci. 2009 Mar-Apr;17(2):136-9	Valutazione di pazienti con labbro leporino sottoposti alla chirurgia
Rues S., Schindler H.J., Türp J.C., Schweizerhof K., Lenz J. Motor behavior of the jaw muscles during different clenching levels Eur J Oral Sci. 2008 Jun;116(3):223-8	Articolo con autori, materiali e metodi identici ad un altro articolo già selezionato ¹⁶

Scherder E, Posthuma W, Bakker T, Vuijk PJ, Lobbezoo F. Functional status of masticatory system, executive function and episodic memory in older persons J Oral Rehabil. 2008 May;35(5):324-36	Articolo riguardante lo stato funzionale del sistema masticatorio, con pochi dati sulla forza del morso e una misurazione poco sensibile
Wichelhaus A., Hüffmeier S., Sander F.G. Dynamic functional force measurements on an anterior bite plane during the night J Orofac Orthop. 2003 Nov;64(6):417-25	Misurazione dell'occlusione non volontaria, durante la notte
Lyons MF, Cadden SW, Baxendale RH, Yemm R. Twitch interpolation in the assessment of the maximum force-generating capacity of the jaw-closing muscles in man Arch Oral Biol. 1996 Dec;41(12):1161-8	Misurazione dell'occlusione non volontaria, mediante il metodo del twitch interpolation
Boretti G, Bickel M, Geering AH. A review of masticatory ability and efficiency J Prosthet Dent. 1995 Oct;74(4):400-3	Revisione

Nella seguente flow-chart (*Figura 1*) sono riportati i passaggi che hanno portato alla selezione finale di 24 articoli:

Figura 1



Gli articoli selezionati per la revisione sono riassunti, negli aspetti concernenti questo studio, in *Tabella 2*, in ordine cronologico inverso di pubblicazione.

Tabella 2

ANNO, AUTORI, TITOLO	SOGGETTI Numero Sesso Età (media \pm SD o range) Condizione di salute	STRUMENTAZIONE PER MISURARE LA FORZA Tipo di sensore Spessore Materiale masticato Feedback	POSIZIONAMENTO del SENSORE DI FORZA	ALTRE MISURAZIONI
Shimada A. et al 2012 ⁽¹¹⁾ MEASUREMENT OF DYNAMIC BITE FORCE DURING MASTICATION	N=14 (7M,7F) Età = 26,1 \pm 2,9 Dentatura naturale normale	Estensimetro KFR-02-C1-16 (nuovo); 0mm (non influisce sull'occlusione verticale); 5 tipi di cibi naturali masticati	Trasduttore fisso sul 1o molare della mandibola, con una vite perno (2 mm di diametro) sul molare opposto della mascella; UNILATERALE (lato preferito dal paziente)	ATTIVITÀ EMG di superficie misurata bilateralmente (massetere e temporale anteriore); MOVIMENTI MANDIBOLARI con kinesiografo (analisi della sola dimensione verticale)
Testa M. et al. 2011 ⁽⁶⁾ CONTROL OF JAW-CLENCHING FORCES IN DENTATE SUBJECTS	N=16 (8M, 9F) Età = 28,4 \pm 6,67 (dai 24 ai 40) Sani, senza segni o sintomi di TMD	Trasduttore piezoresistivo (Flexiforce A201); 9mm, riducibile a 6-7mm dopo alcune pressioni dei denti; Feedback visivo (per produrre forze di serramento al 10,30,50,70% e alla massima contrazione volontaria)	Sensore posto tra i denti molari UNILATERALMENTE (a destra e sinistra)	
Sato N. e Yoshike N. 2011 ⁽¹⁷⁾ DIETARY PATTERNS AFFECT OCCLUSAL FORCE BUT NOT MASTICATORY BEHAVIOUR IN CHILDREN	N=61 Età=5	Pellicola sensibile alla pressione, con analizzatore (Dental Prescale 50H type R e OCCLUZER FPD-707); < 1mm	Arcata dentale	DATI ANTROPOMETRICI; NUMERO DI MASTICAZIONI con contatore di masticazioni; APPORTO DI CIBO con registrazioni dalle porzioni
Mountain G. et al. 2011 ⁽¹⁸⁾ BITE FORCE MEASUREMENT IN CHILDREN WITH PRIMARY DENTITION	N=205 (58,5%M e 41,5%F) Età= 3,25-6,33 Esclusi bambini con TMD, dolore, o con denti mancanti nella zona di applicazione del sensore	Estensimetro (nuovo, specificamente costruito); Minima apertura e occlusione naturale	Estensimetro per singoli denti, posto tra i primi e i secondi molari primari a misurare la forza UNILATERALE; tra gli incisivi centrali per forza BILATERALE	PESO con Seca 835; ALTEZZA con Leicester Height Meter

Custodio W. et al. 2010 ⁽¹⁹⁾ OCCLUSAL FORCE, ELECTROMYOGRAPHIC ACTIVITY OF MASTICATORY MUSCLES AND MANDIBULAR FLEXURE OF SUBJECTS WITH DIFFERENT FACIAL TYPES	N=78 (39M,39F) Età = 23,5 Sani, senza deformità facciali	Resistore di forza piezoresistivo (FSR no. 151 NF) collegato ad analizzatore (Spider 8); Sensore + alloggiamento= 2,25 mm	Sensori posti nella 1a regione molare, BILATERALMENTE	ATTIVITÀ EMG di superficie misurata bilateralmente (massetere e temporale anteriore); CURVATURA della mandibola con misurazione digitale della distanza inermolare in 3 posizioni
Palinkas M. et al. 2010 ⁽⁹⁾ AGE AND GENDER INFLUENCE ON MAXIMAL BITE FORCE AND MASTICATORY MUSCLES THICKNESS	N=177, suddivisi in 5 gruppi Età = 7-80 Dentatura completa (eccetto gruppo 1), occlusione normale, no segni e sintomi di disfunzioni sistema masticatorio	Dinamometro digitale (IDKK) mobile	Dinamometro nel 1o molare, UNILATERALMENTE (a destra e a sinistra)	US per spessore dei muscoli temporale e massetere (bilateralmente)
Motegi E. et al. 2009 ⁽²⁰⁾ OCCLUSAL FORCE IN PEOPLE IN THEIR SIXTIES ATTENDING COLLEGE FOR ELDERLY	N=46 (22M, 24F) Età= 66,9	Pellicola sensibile alla pressione, con analizzatore (Dental Prescale 50H type R e OCCLUZER FPD-730) < 1mm	Arcata dentale	NUMERO DI DENTI determinato con una visita orale
Pereira L.J. et al. 2009 ⁽⁴⁾ MASTICATORY FUNCTION IN SUBACUTE TMD PATIENTS BEFORE AND AFTER TREATMENT	N=15 (2M, 13F) Età = 36 (17-67) TMD non specifico, subacuto e con minima intensità di dolore di 40 mm sulla VAS	Estensimetro	Trasduttore, consistente in una forcilla con estensimetri posti BILATERALMENTE nella 1a regione molare	PERFORMANCE MASTICATORIA ottenuta setacciando i pezzetti masticati di cibo standard per test (Optosil); DURATA DI UN CICLO MASTICATORIO ; EMG di superficie (massetere e temporale anteriore); INTENSITÀ DEL DOLORE con VAS di 100mm; FUNZIONE ORALE PERCEPITA con questionario MFIQ
Farella M. et al. 2009 ⁽²¹⁾ SYNERGIST COACTIVATION AND SUBSTITUTION PATTERN OF THE HUMAN MASSETER AND TEMPORALIS MUSCLES DURING SUSTAINED STATIC CONTRACTIONS	N=10 (5M, 5F) Età = 28,2 ± 7,6 Adulti, no dolore in apertura, protrusione e laterotrusione, overjet e overbite tra 0 e 4 mm, no diagnosi di TMD o dolore cronico	Estensimetro 4 mm, protetto da plastica, per un'apertura interincisale media di 17,6 mm; Feedback visivo (per produrre forze del 10, 15, 20% della forza massima di serramento)	Trasduttore fisso sul 1o molare inferiore, UNILATERALMENTE sul lato preferito	ATTIVITÀ EMG di superficie misurata bilateralmente (massetere e temporale anteriore), DOLORE con VAS elettronica

Rues S. et al. 2008 ⁽¹⁶⁾ FORCES AND MOTOR CONTROL MECHANISM DURING BITING IN A REALISTICALLY BALANCED EXPERIMENTAL OCCUSION	N=10 (10M) Età = 32 ± 5,7 Dentatura classe I o II di Angle, senza anomalie o malocclusioni	1 estensimetro 6/120 LY 11 per registrare le forze verticali; 4 estensimetri 3/120 LY 11 per registrare le forze orizzontali, per una misurazione complessiva nelle 3 direzioni ortogonali; Apertura interincisale= 7,5-10,5 mm; Feedback su monitor (per produrre forze risultanti di 50,100,150,200,300,400 N in direzione verticale e in direzione abituale)	3 trasduttori fissi, paralleli al piano occlusivo mascellare posti BILATERALMENTE sui primi molari e tra i canini: i 2 trasduttori posteriori a trasmettere solo forze perpendicolari al piano occlusale mascellare, formati da una base piatta, con il sensore al di sotto, e da una piccola sfera; il trasduttore tra i canini a trasmettere forze verticali e orizzontali, con un perno con 4 sensori all'interno	ATTIVITÀ EMG di superficie misurata bilateralmente (massetere, temporale anteriore, temporale posteriore, digastrico anteriore)
van der Bilt A. et al. 2008 ⁽¹⁴⁾ BITE FORCE AND ELECTROMYOGRAPHY DURING MAXIMUM UNILATERAL AND BILATERAL CLENCHING	N=81 (13M,68F) Età = M: 37 ± 16; F: 39 ± 14 Sani, dentizione naturale	1 (unilaterale) o 2 (bilaterale) estensimetri; Apertura tra i denti = 10mm	Morso UNILATERALE (a destra e a sinistra): 1 trasduttore, posizionato sulla prima superficie occlusiva della prima regione molare. Morso BILATERALE: 2 trasduttori, posizionati tra i primi molari, uno a destra e uno a sinistra	ATTIVITÀ EMG di superficie misurata bilateralmente (massetere e temporale anteriore)
Lujan-Climent M. et al. 2008 ⁽¹⁰⁾ INFLUENCE OF STATIC AND DYNAMIC OCCLUSAL CHARACTERISTICS AND MUSCLE FORCE ON MASTICATORY PERFORMANCE IN DENTATE ADULTS	N=100 (29M,71F) Età = 22,4 Esclusi soggetti con meno di 24 denti naturali, sotto trattamento o sofferenti di dolore diverso da TMD	Gnatodinamometro; 20,5 mm	Trasduttore mobile a misurare forze UNILATERALI in 5 posizioni: tra i primi molari a destra e a sinistra; tra i primi premolari in ambo i lati; tra gli incisivi centrali	FORZA MASSIMA di mano, lingua, labbra con gnatodinamometro; OCCLUSIONE STATICA con calibro digitale e DINAMICA con materiale registrante; PERFORMANCE MASTICATORIA con cibo standard per test (Optosil)
Duarte Gaviao M.B. et al. 2007 ⁽²²⁾ MASTICATORY PERFORMANCE AND BITE FORCE IN CHILDREN WITH PRIMARY DENTITION	N=15 (M e F) Età = 3-5,5 Buone condizioni dentali, presenza di tutti i denti primari	Tubo di plastica pressurizzata deformabile elasticamente, connessa a un sensore (MPX 5700 Motorola SPS); Diametro 7 mm,	Tubo tra i denti posteriori di mandibola e mascella, misurazione BILATERALE	PERFORMANCE MASTICATORIA con misurazione ottica digitale dei pezzetti masticati di cibo standard per test (Optosil)

<p>Pizolato R.A. et al. 2007⁽²³⁾ MAXIMAL BITE FORCE IN YOUNG ADULTS WITH TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS AND BRUXISM</p>	<p>N= 19 (7M, 12F) gruppo TMDB; 19 (9M, 10F) gruppo controllo Età = M 22,4; F 21,5 (dai 19 ai 31); Dentizione completa, occlusione normale, no storie di trattamento farmacologico o chirurgico; gruppo TMDB: storia di TMD e bruxismo; gr. controllo: sani</p>	<p>2 estensimetri (KFG-1-D16-11); 10 mm</p>	<p>Gnatodinamometro con 2 estensimetri</p>	<p>SINTOMI valutati con un questionario; SEGNI esaminati clinicamente</p>
<p>Schindler H.J. Et al. 2005⁽²⁾ DIFFERENTIAL ACTIVITY PATTERNS IN THE MASSETER MUSCLE UNDER SIMULATED CLENCHING AND GRINDING FORCES</p>	<p>N=10 M Età = 33 ± 1,8 Dentatura classe I o II di Angle, senza anomalie scheletriche</p>	<p>2 estensimetri 3/120 LY 11 perpendicolari alla base del piatto, 1 estensimetro 6/120 LY montato al centro della parte inferiore, per una misurazione complessiva nelle 3 direzioni ortogonali; Altezza del perno:15 mm, altezza del piano base: 1,5mm; apertura interincisale 7mm</p> <p>Feedback della forza risultante su monitor</p>	<p>Dispositivo personalizzato per ogni soggetto, con trasduttori fissati BILATERALMENTE ad arco gotico, con perno e piano base posti a livello dei primi molari su uno splint di metallo sul calco della mandibola, e perno sul calco della mascella paralleli al piano occlusale inferiore, a permettere l'attivazione della muscolatura in 3 direzioni ortogonali (antero-posteriore, destra-sinistra, verticale), senza far avvenire il contatto tra i denti</p>	<p>ATTIVITÀ EMG di superficie e profonda del massetere destro con 5 elettrodi (2 profondi, 3 superficiali)</p>
<p>Kohyama K. Et al. 2004⁽³²⁾ EFFECTS OF SAMPLE HARDNESS ON HUMAN CHEWING FORCE: A MODEL STUDY USING SILICONE RUBBER</p>	<p>N=16 F Età= 27,4 ± 7,9 Condizione= sane, senza problemi di masticazione</p>	<p>Foglietto sensibile multi-punto (269 celle sensibili), flessibile, spessore 0,1 mm collegato a un sensore tattile computerizzato (I-SCAN); 3 tipi di silicone gomma masticati</p>	<p>Sensore fissato per semplice contatto UNILATERALMENTE su incisivi e molari, sopra al quale è posto il campione di gomma</p>	<p>PICCO DI FORZA con somma delle forze delle celle; TEMPO PER ARRIVARE AL PICCO; MASSIMA AREA DI CONTATTO TRA CAMPIONE E DENTI; VELOCITÀ DELLA FORZA; PRESSIONE ATTIVA, DURATA DELLA FORZA; TEMPO DI UN CICLO; IMPULSO</p>

Ferrario V.F. et al. 2004 ⁽²⁶⁾ SINGLE TOOTH BITE FORCES IN HEALTHY YOUNG ADULTS	N=52 (36M, 16F) Età= 19-29 (M=20,3 ± 2,2; F=20,1 ± 1,1) Dentizione permanente completa, almeno 28 denti, overjet e overbite 2-4 mm; no malocclusioni né segni/sintomi di TMD	Estensimetro (nuovo) in acciaio inossidabile (Occlusator), spessore totale con il rivestimento 8,5 mm, riducibile con il serramento dei denti; apertura interincisale 10mm quando posto sui molari; Feedback visivo	Trasduttore posto in 7 livelli: incisivo centrale, incisivo laterale, canino, 1o premolare, 2o premolare, 1o molare, 2o molar; misurati UNILATERALMENTE (a destra e sinistra)	
Lamey P.-J. et al. 2001 ⁽²⁷⁾ MIGRAINE AND MASTICATORY MUSCLE VOLUME, BITE FORCE AND CRANIOFACIAL MORPHOLOGY	N=20 di cui N=10 con emicrania (1M,9F) e N=10 (1M,9F) sani Età = 43 (29-51) 10 soggetti con emicrania senza aura; 10 senza dolore (gruppo di controllo)	Estensimetro (LM-200KS); 2 mm apertura totale della bocca 4mm; Feedback visivo	Trasduttore a misurare forze BILATERALI, posteriormente tra i primi molari, e anteriormente	VOLUME MUSCOLARE di massetere e pterigoideo mediale con RM; MORFOLOGIA CRANIOFACCIALE con misurazioni digitali di cefalometrie standard; FORZA della PINZA POLLICE-INDICE della mano dominante con lo stesso trasduttore
Maki K. et al. 2001 ⁽²⁸⁾ A STUDY ON THE MEASUREMENT OF OCCLUSAL FORCE AND MASTICATORY EFFICIENCY IN SCHOOL AGE JAPANESE CHILDREN	N=208 (102 M, 106 F) Età= 7-9 anni Occlusione normale, nessun dente mancante	Multimetro digitale MPM-3000 e trasduttore di forza occlusale; 1 mm	Trasduttore sulla superficie occlusale del 1o molare; misurazione UNILATERALE (a destra e sinistra)	EFFICIENZA MASTICATORIA determinata tramite granuli di ATP masticati 30 volte
Chintakanon K. et al. 2000 ⁽³⁾ A METHOD FOR PROTRUSIVE MANDIBULAR FORCE MEASUREMENT IN CHILDREN	N=69 (42M,27F) Età = 11 ± 1 Classe II di Angle, asintomatici di TMD e senza storia di cure dentali	Coppa rigida sul mento, collegata a un trasduttore; Feedback visivo a segnalare l'applicazione di forze verticali (non protrusive)	La coppa sul mento, connessa al trasduttore con una puleggia, progettata per misurare la forza protrusiva isometrica. Per eliminare lo slack del sistema viene posta la coppa a un pretensionamento di 10 N, con un sistema non elastico di pulegge, e utilizzato come livello di partenza	RESISTENZA MUSCOLARE del movimento protrusivo, misurata con lo stesso strumentazione

<p>Sato S. et al. 1999⁽²⁹⁾ OCCLUSAL CONTACT AREA, OCCLUSAL PRESSURE, BITE FORCE AND MASTICATORY EFFICIENCY IN PATIENTS WITH ANTERIOR DISC DISPLACEMENT OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT</p>	<p>N=48 F del gruppo sperimentale (1o sottogruppo: 22 con riduzione del disco; 2o sottogruppo: 26 senza riduzione); 30 F del gruppo di controllo Età = 23,0 (dai 16 ai 49) 1o sottogruppo; 21,9 (17-36) 2o sottogruppo; 22,8 (19-31) controllo Diagnosi di dislocazione anteriore del disco (gr. sperimentale); sani (controllo)</p>	<p>Pellicola sensibile alla pressione, con analizzatore (Dental Prescale 50H type e OCCLUZER FPD-703) < 1mm</p>	<p>Arcata dentale</p>	<p>AREA DI CONTATTO E PRESSIONE OCCLUSALI con Dental Prescale; EFFICIENZA MASTICATORIA determinata tramite spettrofotometro che misura l'assorbanza di granuli di ATP masticati 50 volte</p>
<p>Tortopidis D. et al. 1998⁽³⁰⁾ THE VARIABILITY OF BITE FORCE MEASUREMENT BETWEEN SESSIONS, IN DIFFERENT POSITIONS WITHIN THE DENTAL ARCH</p>	<p>N= 8 M Età= 29 (25-32) Dentatura naturale completa, senza click o dolori all'ATM o ai muscoli associati</p>	<p>Ogni trasduttore è in acciaio inossidabile, formato da 2 asticelle parallele, ciascuna con 2 estensimetri (tranne il trasduttore bilaterale, formato da 2 estensimetri e 2 resitori, per bilanciare il circuito) e collegato con un filo a un circuito; 8-10 mm, distanza verticale 11mm tra canini; Feedback visivo</p>	<p>3 tipi di trasduttore: TRASDUTTORE UNILATERALE: tra il secondo premolare e il primo molare, in un lato; TRASDUTTORE BILATERALE: tra il secondo premolare e il primo molare, in entrambi i lati; TRASDUTTORE ANTERIORE: tra i denti incisivi e canini, con la mandibola protrusa</p>	
<p>Miura H. et al. 1998⁽³¹⁾ EVALUATION OF CHEWING ACTIVITY IN THE ELDERLY PERSON</p>	<p>N= 70 Età= 65-74 Sani</p>	<p>Pellicola sensibile alla pressione (Prescale 50H); < 1mm</p>	<p>Arcata dentale</p>	<p>AREA DI CONTATTO OCCLUSALE con Prescale; DENTI MANCANTI determinati da una visita orale; RELAZIONE INTERMASCELLARE con classificazione di Eichner modificata; VALUTAZIONE DELLA PROPRIA ABILITÀ MASTICATORIA con un questionario</p>

Mioche L. e Peyron M.A. 1995 ⁽³²⁾ BITE FORCE DISPLAYED DURING ASSESSMENT OF HARDNESS IN VARIOUS TEXTURE CONTEXTS	N=10 (4M,6F) Età=23-32 Sani	Celle di carico (ELF); 2,5 mm	3 celle di carico, a contatto con gli incisivi della mascella sopra e con il campione di cibo sotto	CARATTERISTICHE MECCANICHE DEI PRODOTTI attraverso Food Texture Analysis System
---	-----------------------------------	----------------------------------	--	---

Focalizzando l'attenzione sul dispositivo impiegato per misurare la forza dei muscoli masticatori, in 11 studi^(2,4,11,14,16,18,21,23,25,26,29) vengono impiegati trasduttori estensimetrici, in 2^(6,19) trasduttori piezoresistivi, in 5^(17,20,24,29,31) pellicole sensibili alla pressione; negli articoli rimanenti vengono usati altri tipi di trasduttori, come coppe mentoniere³, multimetri digitali⁽²⁷⁾ o tubi di plastica deformabile connessi a un sensore⁽¹³⁾, o non sono descritti nel dettaglio^(9,10,31). In 4 casi^(3,11,18,25) viene esplicitato l'utilizzo di un nuovo metodo o dispositivo di misurazione, mentre negli altri casi vengono adottate metodiche usate in precedenza.

In 8 articoli^(2,11,14,16,21,25,26,29) viene riportata l'apertura della bocca o la distanza tra gli incisivi, mentre in altri 13^(6,10,17,18,19,20,22,23,24,27,28,30,31) vengono riportate solo le dimensioni del trasduttore. Quando descritta, l'apertura tra denti opposti è di 4 mm a livello dei molari nello studio di Lamey et al⁽²⁶⁾, di 7 mm nello studio di Schindler et al⁽²⁾, di circa 10 mm a livello degli incisivi o dei canini in altri 4 studi^(14,16,25,29) o va dai 13,4 ai 20,1 nello studio di Farella et al⁽²¹⁾. Negli articoli dove viene descritto solamente lo spessore del dispositivo^(2,6,10,19,22,23,27,31), le dimensioni variano da 1 a 20 mm di spessore. Shimada et al⁽¹¹⁾ presenta invece un trasduttore che non influisce sulla posizione verticale, similmente a 5 studi^(17,20,28,30,24) che utilizzano pellicole dallo spessore inferiore a 1 mm. Nella maggior parte dei casi il dispositivo è posto nella regione molare^(2,4,6,9,11,14,19,21,22,27), o in più posizioni, tra cui i denti molari^(10,18,25,26,29). Il sensore descritto da Kohyama et al⁽²⁴⁾ copre un'area che va dagli incisivi ai molari, quello di Mioche e Peyron⁽³¹⁾ invece è a contatto con gli incisivi della mandibola.

Il lato dove è posto il dispositivo è un altro aspetto sempre descritto. In 8 studi la misurazione viene fatta unilateralmente: nella maggior parte di questi^(6,9,23,25,27) la forza è registrata sia a destra, che a sinistra, mentre negli studi di Shimada et al⁽¹¹⁾ e Farella et al⁽²¹⁾ è sul lato preferito del paziente, e in un altro caso⁽²⁵⁾ non è descritto. In altri 11 studi^(2,4,14,16,17,19,20,22,26,28,31) la misurazione è compiuta bilateralmente: in questo gruppo sono da considerare anche le registrazioni compiute con la pellicola Dental PrescaleTM, che copre l'arcata dentale^(17,20,28,30). Nelle valutazioni che considerano gli incisivi non sempre si parla di uno o due lati, perché il sensore è centrale e va a

coprire sia i denti di destra che di sinistra: Lujan-Climent et al⁽¹⁰⁾ e Mountain et al⁽¹⁸⁾ usano trasduttori unilaterali nei denti posteriori e trasduttori centrali per gli incisivi, Mioche e Peyron⁽³¹⁾ utilizzano solamente celle di carico negli incisivi. Tortopidis et al⁽²⁹⁾ e van der Bilt et al⁽¹⁴⁾ misurano la forza sia bilateralmente che unilateralmente.

Nella quasi totalità degli studi viene misurato il massimo sforzo volontario nel morso o in protrusione. Alcuni autori parlano di massima intercuspidação: con questo termine si intende l'occlusione in cui i denti superiori ed inferiori si articolano tra loro con il più elevato numero di contatti possibile. Nei casi in cui non è richiesto solamente il massimo sforzo del morso, ai soggetti vengono richiesti determinati compiti a percentuali precise di forza o in direzioni diverse da quella verticale^(2,6,16,21). In altri 3 studi viene valutata la forza durante la masticazione di cibo naturale⁽¹¹⁾ o di campioni di gomma dalla consistenza simile al cibo^(24,31).

L'unità di misura della forza più espressa è il Newton (N), che in certi casi viene ottenuta da altri valori: Gaviao et al⁽²²⁾ trova la pressione in Psi (*pound per square inch*, cioè libbre per pollice quadrato) moltiplicando la pressione occlusale per l'area del sensore, per poi convertirla in N, Motegi et al⁽²⁰⁾ dal prodotto tra area di contatto occlusale (mm²) per pressione occlusale (Mpa, cioè Megapascal). Pizolato et al⁽²³⁾ registra la forza in Kgf (chilogrammi forza), per poi convertirla in N. Maki et al⁽²⁷⁾ non riporta la forza in N, bensì in Kg. Testa et al⁽⁶⁾, al contrario degli altri autori, non valuta la forza assoluta, ma la forza relativa (cioè la correlazione rispetto al valore ottenuto dalla massima contrazione volontaria), attraverso 3 indici: distanza media, errore offset, deviazione standard.

La maggior parte dei soggetti reclutati nella valutazione della forza sono adulti, con età tra i 20 e i 60 anni; 5 studi sono condotti su bambini, di età inferiore a 10 anni^(3,17,18,22,27), mentre Motegi et al⁽²⁰⁾ e Miura et al⁽³⁰⁾ valutano soggetti sopra ai 60 anni; Palinkas et al⁽⁹⁾ arruola soggetti dai 7 agli 80 anni, suddivisi in 5 gruppi in base all'età.

I soggetti sono sani dal punto di vista dentale o dell'ATM, ad eccezione di 4 studi: Pereira et al⁽⁴⁾ recluta soggetti con TMD, Pizolato et al⁽²³⁾ con TMD e bruxismo, Lamey et al⁽²⁶⁾ con emicrania, Sato et al⁽²⁸⁾ con dislocazione anteriore del disco dell'ATM.

DISCUSSIONE

In questa revisione sono stati inclusi 24 studi, in cui viene misurata la forza dei muscoli masticatori, indagando i principali fattori che la influenzano. Negli studi selezionati, la forza dei muscoli masticatori, e in particolare del morso, è stata misurata su soggetti sani, portatori di dentiera, individui con TMD, bruxismo, o emicrania, e in tutte le fasce di età: bambini, giovani adulti, adulti e anziani. Ogni misurazione è stata eseguita con i soggetti seduti, con la colonna in posizione eretta e la testa in posizione naturale.

La misurazione della forza del morso è utilizzata per valutare e per confrontare la funzione dei muscoli elevatori della mandibola tra soggetti in una grande varietà di situazioni sperimentali.⁽²⁹⁾ È influenzata da fattori biologici, propri dell'individuo (la forza dei muscoli masticatori, lo stato della dentizione, la soglia del dolore), ma anche il metodo di misurazione condiziona i valori ottenuti in molti aspetti: il dispositivo di registrazione, il design, l'apertura della mandibola, la zona in cui la forza viene registrata, il numero di denti inclusi, i lati compresi nella registrazione. Bisogna perciò essere cauti nel fare confronti approssimativi tra i valori di forza ottenuti con dispositivi diversi.^(7,13,18,29)

La maggior parte dei sensori valuta la chiusura verticale, anche se la vera forza del morso è il vettore somma delle forze misurate dal trasduttore e delle componenti di forza non verticali, misurate nelle 2 dimensioni perpendicolari all'asse del trasduttore.⁽¹⁵⁾ Recenti studi usano dispositivi che analizzano i vettori di forza nelle 3 dimensioni dello spazio, considerando che la grandezza della forza verticale è solo l'80% di tutte le forze espresse.⁽¹⁶⁾

Una riflessione più limitata va fatta sullo studio dei movimenti protrusivi della mandibola, molto meno studiati dell'elevazione. I metodi di misurazione sono differenti: mentre Schindler et al⁽²⁾ utilizzano un normale trasduttore, che permette lo studio in varie direzioni senza permettere il contatto tra denti di arcate opposte, Chintakanon et al⁽³⁾ sviluppano un nuovo metodo non invasivo di misurazione della forza protrusiva mandibolare, con l'utilizzo di una larga coppa sul mento, punto di misurazione meno sensibile e meno fastidioso dei denti, specialmente per un campione di bambini. Questo metodo studia la funzione combinata dei muscoli pterigoideo laterale, massetere (fasci superficiali) e pterigoideo mediale (che possiede fibre orientate antero-posteriormente).⁽³⁾ La forza protrusiva ha un'alta variabilità, anche nello stesso soggetto (forse per difficoltà di reclutamento), è data da alti livelli di attivazione dei masseteri e nei bambini è approssimativamente 10 volte più piccola della forza del morso riportata, mentre negli adulti va da 1/2 a 1/4 della forza verticale risultante massima⁽²⁾.

TIPO E DIMENSIONI DEL DISPOSITIVO: Gli gnatodinamometri vengono usati da molto tempo come strumenti per misurare la forza del morso. Con il tempo, sono stati apportati continui miglioramenti e oggi vengono adottati dispositivi sensibili elettronici, sufficientemente accurati e precisi per la misurazione di carichi comuni.^(12,13) Confrontando i tipi di sensore utilizzati negli studi per misurare la forza del morso negli ultimi 20 anni, può essere fatta una distinzione essenziale tra 2 gruppi di dispositivi: i trasduttori a resistenza elettrica e le pellicole sensibili alla pressione.^(7,12) Gli studi fatti nell'area Occidentale del mondo (principalmente Europa e Brasile), utilizzano trasduttori estensimetrici o trasduttori piezoresistivi, fissati sui denti (*Figura 2*) o all'interno di gnatodinamometri (*Figura 3*). In questi articoli vengono usati molti tipi diversi di trasduttori, mentre una maggiore omogeneità nella scelta del dispositivo risulta negli articoli provenienti dal Giappone, che adottano foglietti sensibili alla pressione.

Figura 2



Figura 3



I dispositivi più utilizzati per registrare la forza del morso sono i trasduttori estensimetrici, disponibili in altezze e larghezze variabili.⁽¹²⁾ Un estensimetro è una piccolissima griglia di metallo laminato, più sottile di un francobollo, che permette di misurare con un'alta precisione grandezze fisiche come il peso, la forza o la pressione, a partire dalla deformazione elastica di un elemento meccanico (metallo o semiconduttore). Gli estensimetri consentono, quando sono incollati su degli elementi meccanici sensibili, di fornire un segnale elettrico proporzionale alla grandezza misurata e di costituire così un trasduttore.⁽³²⁾ I trasduttori piezoresistivi sono simili nella struttura e nella modalità d'utilizzo, ma funzionano su un principio fisico leggermente differente, la piezoresistenza. Definendo con resistività elettrica di un materiale l'attitudine di un materiale a opporre resistenza al passaggio delle cariche elettriche, per il principio fisico della piezoresistenza le deformazioni dell'elemento sensore causano una variazione della resistività elettrica del materiale del resistore, e di conseguenza della sua resistenza elettrica. Quindi i sensori

piezoresistivi variano la propria resistenza principalmente perché varia la resistività del materiale sensibile, gli estensimetri perché varia la lunghezza e la sezione del conduttore che realizza il sensore.^(13,32)

Esiste una grande eterogeneità di trasduttori a disposizione: da uno studio all'altro cambia il sensore, l'alloggiamento, il design, il numero di dimensioni spaziali analizzate. L'alloggiamento del sensore è molto importante e provvede a proteggerlo dalla saliva e a non danneggiarlo, così da permettere numerose misurazioni con lo stesso trasduttore. Il design del dispositivo e il materiale plastico o gommoso di protezione influenzano aspetti come la stabilità del sensore, la facilità nel ricollocarlo nella stessa posizione quando è mobile, una superficie di contatto maggiore che provveda una minore pressione localizzata e un maggiore comfort tra i denti, al fine di compiere una misurazione consistente.^(6,29)

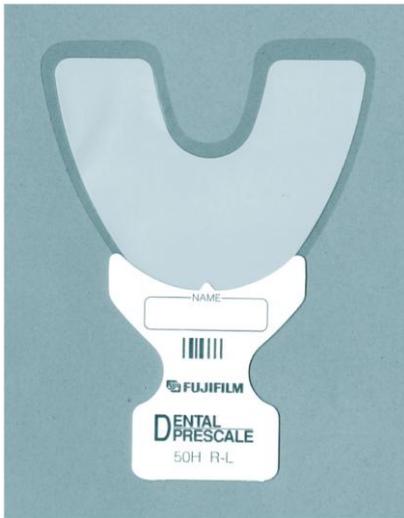
I trasduttori più completi permettono un'analisi delle forze nei 3 piani ortogonali e, misurando contemporaneamente anche l'attività elettromiografica, riescono a calcolare con opportuni algoritmi le forze dei muscoli masticatori, anche se risultano ingombranti nel cavo orale.^(2,16,33)

Negli studi selezionati, i trasduttori vanno da uno spessore nullo, che non influisce sull'occlusione verticale⁽¹¹⁾, ai 20,5 mm⁽¹⁰⁾. Nella maggior parte degli articoli viene descritto lo spessore del sensore, mentre meno frequentemente si parla dell'apertura della bocca o della distanza tra gli incisivi, che condiziona la forza del morso.^(8,12,15) All'altezza verticale del sensore, infatti, va aggiunta quella dell'alloggiamento o del materiale plastico interposto tra le celle di carico e i denti, che per le sue proprietà spesso si riduce con la pressione. La massima forza del morso aumenta quando la mandibola è aperta e raggiunge valori massimi tra i 14 e i 20 mm di separazione degli incisivi, per poi mantenere un plateau di forza fino a 28 mm e infine diminuire ad aperture più ampie. Vengono proposte più spiegazioni riguardo ai cambiamenti di forza associati a aperture differenti della mandibola: un iniziale movimento dei condili lungo l'eminenza articolare, un cambio nella relazione lunghezza-tensione dei muscoli massetere e temporale, un braccio di leva di questi muscoli più vantaggioso con la mandibola aperta, una diversa attivazione dei muscoli pterigoidei. In ogni modo, sono preferite aperture della bocca inferiori a 15 mm, per un migliore controllo di muscoli elevatori.^(13,15)

In un articolo recentissimo, Shimada et al⁽¹¹⁾ presentano un trasduttore che non interferisce con la dimensione occlusale verticale, permettendo contemporaneamente registrazioni della forza, del movimento e dell'attività muscolare durante la masticazione del cibo. Il dispositivo presenta ancora dei limiti, ma può aprire le porte a future misurazioni più oggettive e funzionali.⁽¹¹⁾

Anche gli studi con trasduttori fabbricati appositamente per bambini pongono attenzione allo spessore, affinché il dispositivo sia il meno fastidioso e ingombrante possibile nella cavità orale.^(18,22)

Figura 4



In Giappone è ampiamente utilizzato il sistema Dental Prescale™

(Figura 4), su cui viene chiesto di mordere per alcuni secondi, con la massima forza e in massima intercuspidação. Il sistema consiste in una pellicola, a forma di ferro di cavallo, contenente microcapsule che, rompendosi con il morso, producono un'intensità di colore proporzionale alla pressione applicata. Il foglietto Prescale viene scansionato dall'analizzatore Occluser, che calcola automaticamente l'area di contatto occlusale, la pressione media in ogni area di contatto e la forza occlusale: il tutto viene visualizzato su un monitor, insieme al pattern dell'area di contatto occlusale.^(12,17,20,28,30) Esistono 2 tipi di

pellicole sensibili alla pressione: tipo R (spesso 97 μm) e tipo W (spesso 800 μm circa). Ogni tipo viene ulteriormente diviso in 2 sottotipi: 30 H, per un range di pressioni minori, e 50 H, per pressioni più alte.⁽¹²⁾

Il Dental Prescale Occluser System™ può aiutare a calcolare la funzione masticatoria ricavando importanti informazioni occlusali in modo obiettivo, ed è usato sia in ambito di ricerca, che come outcome di un ciclo di trattamento in ambito clinico, per la sua facilità di utilizzo. I giudizi sullo spessore del sensore sono discordanti: alcuni autori^(12,34) ritengono che il dispositivo valuti l'occlusione in condizioni quasi fisiologiche, perché lo spessore della pellicola è molto sottile e il suo utilizzo non influisce con l'occlusione abituale in posizione centrale. Altri autori sostengono invece che sensori dallo spessore maggiore a 20 μm forniscano artefatti di misurazione, per informazioni propriocettive falsate e una sovrastima dell'area di contatto occlusale e della forza del morso dei denti posteriori, vicino all'asse articolare.^(35,36)

In un altro studio⁽²⁴⁾ è utilizzato un sensore con caratteristiche simili al Prescale, per valutare la forza occlusale e l'area di contatto tra denti e campioni di cibo. Si tratta di un foglietto con sensore multi-punto chiamato I-SCAN System, disegnato per coprire l'area di contatto dagli incisivi ai molari di un solo lato. È flessibile, più sottile di 0,1 mm e su un'area sensibile di 1076 cm^2 contiene celle di carico in 269 punti: la forza applicata tra i denti è ottenuta dalla somma di tutte le forze

rilevate dalle celle. La misurazione avviene mediante un PC, collegato al sensore con un connettore. Essendo molto sottile e flessibile, Kohyama et al⁽³³⁾ suggeriscono che questo sensore sia uno strumento più adatto ad investigare l'effetto dello spessore del cibo, che la forza del morso nelle 3 dimensioni.

POSIZIONE NELL'ARCATA DENTALE: La posizione del dispositivo nell'arcata dentale produce valori di forza diversi. Le forze espresse sono maggiori tra i denti posteriori, intermedie tra i canini e inferiori tra gli incisivi.^(18,25,29) Nei molari e nei premolari, dove si osserva anche una maggiore correlazione con la performance masticatoria, c'è infatti un'area di supporto più ampia, dovuta a una maggiore area coperta dal legamento periodontale, che permette di distribuire le forze masticatorie su un'ampia superficie del processo alveolare, diminuendo anche l'effetto inibitorio delle afferenze nocicettive.⁽¹⁰⁾ A livello funzionale, infatti, mentre gli incisivi e i canini incidono e tagliano il cibo, i molari hanno il compito di frantumarlo, perciò hanno un'area maggiore e in loro corrispondenza si sviluppano forze maggiori.⁽²⁴⁾

Inoltre dal punto di vista biomeccanico, la mandibola è una leva di tipo III, sempre svantaggiosa, con il fulcro dell'ATM alla sommità del condilo, la forza dei muscoli massetere e temporale applicate distalmente al fulcro e la forza resistente masticatoria applicata distalmente a questi muscoli: la distanza dal fulcro è più vicina a livello dei molari rispetto ai denti anteriori e, a parità di contrazione muscolare espressa, i muscoli masticatori avranno un momento favorevole contro una resistenza che ha il braccio di leva più corto nella parte posteriore del cavo orale.⁽²⁴⁾

Una posizione diversa del dispositivo influenza anche l'attivazione dei gruppi muscolari: se è posizionato anteriormente tra gli incisivi, avviene una protrusione della mandibola e il massetere esprimerà gran parte della sua forza insieme al muscolo pterigoideo mediale. Se il dispositivo è posto più posteriormente, le fibre anteriori del muscolo temporale saranno attivate maggiormente, fornendo un maggior contributo di forza.⁽²⁹⁾

In alcuni studi che verificano gli effetti della consistenza del cibo, comunque, i sensori sono posti nella parte anteriore del cavo orale perché gli incisivi sono più sensibili dei molari nel riconoscere la durezza del cibo o nel discriminare la forza applicata, per un'alta densità di meccanocettori e per i maggiori movimenti compiuti durante la masticazione.^(24,31)

MISURAZIONI UNILATERALI E BILATERALI: Pochi studi hanno analizzato l'influenza della misurazione unilaterale o bilaterale del morso. Testa et al⁽⁶⁾ utilizza un trasduttore unilaterale, al fine di determinare la presenza di una buona simmetria muscolare: nel caso dei TMD, infatti,

sintomi e disabilità sono spesso unilaterali. In questi casi, la possibilità di definire asimmetrie nel controllo motorio della mandibola può fornire un approccio utile per la definizione della condizione clinica e per aiutare la diagnosi e il follow-up delle disfunzioni craniomandibolari. Van der Bilt et al⁽¹⁴⁾, utilizzando lo stesso tipo di trasduttore nella rilevazione unilaterale e bilaterale, ha confermato i risultati di precedenti studi, in cui bilateralmente la forza massima risulta maggiore del 30%, rispetto a quando misurata unilateralmente. Anche l'attività muscolare dei muscoli massetere e temporale anteriore risulta più grande del 30%, quando misurata contemporaneamente a destra e a sinistra. Ponendo il trasduttore in un solo lato, si creano movimenti laterali e carichi meno simmetrici della mandibola e dei tessuti: per evitare danni ai denti, i recettori periodontali forniscono uno stimolo inibente, prevenendo attività e forze muscolari eccessive. Per questa asimmetria, l'attività del muscolo temporale, nei suoi fasci anteriori e posteriori, risulta molto più grande ipsilateralmente al sensore.⁽²⁹⁾

L'inibizione da parte dei recettori periodontali e articolari, perciò, non va sottovalutata: la loro presenza potrebbe evitare l'espletamento della forza massima del morso, sia per il discomfort dato dal contatto del dente con la rigidità del sensore, sia per la paura di fratture dentali. Si dimostra difficile, allora, dire con sicurezza che il valore ottenuto con la misurazione sia la massima forza possibile.^(25,37) Per minimizzare questo limite, in molti studi i sensori vengono ricoperti da un materiale che possa fornire una superficie più confortevole e una posizione standard del trasduttore. Si presume che, proprio per un maggiore comfort, la variabilità intra-soggetto sia minore nei trasduttori unilaterali.⁽²⁹⁾

CORRELAZIONI: Grazie ai risultati degli studi sulla forza del morso, sono state trovate correlazioni significative tra la forza del morso e parametri individuali come il sesso, l'età e la morfologia del viso.

È stato affermato, con risultati statisticamente significativi, che la forza degli uomini è maggiore di quella delle donne del 30% e che prima dei 9 anni non esistono differenze notevoli tra i 2 sessi.^(9,14,23,25,27) Dall'età adolescenziale, nei maschi, i masseteri sviluppano diametro e sezione trasversa maggiori, indicando che le differenze ormonali possono contribuire alla composizione delle fibre muscolari; anche la misura del dente negli uomini è maggiore, con un'area del legamento periodontale più grande.^(23,25)

L'età sembra influire negativamente sulla forza, ma in maniera minore rispetto al sesso: Palinkas et al⁽⁹⁾ hanno notato in entrambi i sessi una riduzione dello spessore di entrambi i masseteri e i temporali dopo i 60 anni, per la trasformazione della massa muscolare in grasso, che altera

l'elasticità tissutale e la capacità di compressione. Secondo Motegei et al⁽²⁰⁾ e van der Bilt et al⁽¹⁴⁾ la forza dipende di più dal numero di denti rimasti, che dall'età; anche la scelta di cibi meno duri, a causa del progressivo deterioramento dentale potrebbe condizionare il trofismo muscolare.^(9,14,20)

Anche il modello facciale verticale sembra influenzare la massima forza oclusale. Esistono infatti 3 modelli facciali, negli esseri umani: dolico facciale, mesio facciale, brachio facciale. I *dolico facciali* sono soggetti la cui faccia si presenta lunga e stretta, presentano catene muscolari deboli e radici dei denti lontane dall'osso corticale. I *mesio facciali* sono i modelli facciali più comuni: in essi non prevale alcuna caratteristica spiccata sia scheletrica che muscolare, anzi mostrano un equilibrio armonico delle componenti verticali ed orizzontali della faccia. Il modello *brachio facciale* corrisponde ai visi corti e larghi, con mandibola forte e squadrata, con catene muscolari forti e radici dei denti molto vicine all'osso corticale. Custodio et al⁽¹⁹⁾ riporta che i brachio facciali esercitano contrazioni e forze muscolari più efficaci dei soggetti mesio facciali e dolico facciali, anche dovute a sezioni trasverse maggiori dei muscoli massetere e temporale, e da ciò si può spiegare perché, in soggetti con condizioni orali apparentemente simili, esistono grandi variazioni nella forza di occlusione bilaterale tra i molari, nell'attività masticatoria EMG e nella curvatura mediale della mandibola.⁽¹⁹⁾

Per ciò che concerne il controllo della forza, Testa et al⁽⁶⁾ afferma invece che non è correlato né al sesso, né all'età.

Molti autori concordano che nei sani non ci sono differenze significative tra destra e sinistra^(6,14,25).

CONCLUSIONI

Da questa revisione risulta una grande eterogeneità di dispositivi usati per calcolare la forza del morso e una continua presentazione di nuovi sensori alla comunità scientifica. Questa è permessa da un incessante sviluppo ingegneristico, che punta a proporre miglioramenti nella valutazione di un parametro, di cui ancora non si è arrivati a definire un gold standard. La causa di questa difficoltà risiede nelle caratteristiche dello strumento di misurazione, che influenzano i valori ottenuti: il tipo di sensore, le dimensioni, il design, la posizione nell'arcata dentale, la misurazione unilaterale o bilaterale e il materiale a contatto con i denti sono i parametri che finora hanno mostrato correlazioni significative con la forza espressa. Perciò bisogna sempre essere cauti e tenere in considerazione questi parametri, quando in letteratura si confrontano i valori di forza, ottenuti con dispositivi diversi.

Dai dati ottenuti si può comunque affermare che il trasduttore ideale dovrebbe interferire il meno possibile con la dimensione oclusale verticale, essere confortevole e permettere il posizionamento sullo stesso punto nel cavo orale, affinché si compiano registrazioni ripetibili e in condizioni simili alla masticazione normale. La misurazione, inoltre, deve essere di facile e veloce esecuzione, specie se pensiamo ad un suo utilizzo in clinica.

Non esiste ancora un metodo "perfetto", ma alcune metodiche hanno le loro peculiarità e al momento possono essere più idonee di altre in determinati obiettivi. Il sistema Dental Prescale™, grazie al suo spessore inferiore a 1 millimetro, sembra avere i suoi vantaggi nel misurare dati oclusali. In ambito di studi biomeccanici, le informazioni più complete sono ricavate da trasduttori con sensori che rilevano forze nelle 3 dimensioni ortogonali, sebbene possono rivelarsi poco confortevoli e troppo spessi. Per un'analisi completa della masticazione in ambito riabilitativo, ad esempio in soggetti con TMD e malattie neuromuscolari, dovrebbero essere valutate attività muscolare, forza masticatoria e cinematica mandibolare. Feedback visivi vengono usati spesso, nel mostrare la forza prodotta durante il test, e possono essere utili persino nel momento di esercizi terapeutici, per migliorare il controllo della forza muscolare. Recentemente è stato proposto un trasduttore che non influisce nella dimensione verticale del morso, permettendo una misurazione contemporanea di forza, attività muscolare e movimenti mandibolari nella masticazione del cibo, con accuratezza e sufficiente affidabilità: questo può aprire nuovi orizzonti nell'analisi delle caratteristiche masticatorie in attività funzionali.

KEY POINTS

La misurazione della forza dei muscoli masticatori è stata effettuata su soggetti sani e su numerose tipologie di pazienti di tutte le età, con una grande varietà di dispositivi sempre più innovativi dal punto di vista ingegneristico

Il tipo di dispositivo, l'alloggiamento del sensore e il design devono fornire una situazione confortevole tra i denti, al fine di compiere una misurazione consistente

Il numero di dimensioni spaziali analizzate è importante, in quanto il vettore del morso non è solo verticale, ma esistono forze in tutte e 3 le dimensioni dello spazio

Lo spessore del dispositivo e la conseguente apertura della mandibola, la misurazione unilaterale o bilaterale e il posizionamento nell'arcata dentale modificano la forza espressa dai muscoli masticatori

La forza dei muscoli masticatori è correlata anche a fattori propri dell'individuo, come il sesso, l'età e la morfologia del viso

Bisogna perciò essere cauti nel fare confronti approssimativi tra i valori di forza disponibili in letteratura e considerare le caratteristiche del dispositivo e dei soggetti reclutati

BIBLIOGRAFIA

- 1 D.A. NEUMANN *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation*, 2nd edition *Mosby-Elsevier 2010*
- 2 H.J. SCHINDLER, J.C. TÜRP, R. BLASER, J. LENZ Differential activity patterns in the masseter muscle under simulated clenching and grinding forces *Journal of Oral Rehabilitation 2005; 32: 552-563*
- 3 K. CHINTAKANON, K.S. TÜRKER, W.J. SAMPSON, G.C. TOWNSEND, T.M. WILKINSON A method for protrusive mandibular force measurement in children *Archives of Oral Biology 2000; 45: 113-121*
- 4 L.J. PEREIRA, M.H. STEENKS, A. DE WIJER, C.M. SPEKSNIJDER, A. VAN DER BILT Masticatory function in subacute TMD patients before and after treatment *Journal of Oral Rehabilitation 2009; 36: 391-402*
- 5 R. DE LEEUW *Orofacial Pain: Guidelines for Assessment, Diagnosis, and Management*, 4th edition *Quintessence Publishing Company 2008*
- 6 M. TESTA, M. ROLANDO, S. ROATTA Control of jaw-clenching forces in dentate subjects *Journal of Orofacial Pain 2011; 25: 250-260*
- 7 A. VAN DER BILT Assessment of mastication with implications for oral rehabilitation: a review *Journal of Oral Rehabilitation 2011; 38: 754-780*
- 8 M.C.S. MARQUEZIN, F.Y. KOBAYASHI, A.B. M. MONTES, M.B.D. GAVIÃO, P.M. CASTELO Assessment of masticatory performance, bite force, orthodontic treatment need and orofacial dysfunction in children and adolescents *Archives of Oral Biology 2013; 58: 286-292*
- 9 M. PALINKAS, M.S.P. NASSAR, F.A. CECÍLIO, S. SIÉSSERE, M. SEMPRINI, J.P. MACHADO-DE-SOUSA, J.E.C. HALLAK, S.C.H. REGALO Age and gender influence on maximal bite force and masticatory muscle thickness *Archives of Oral Biology 2010; 55: 797-802*
- 10 M. LUJAN-CLIMENT, J. MARTINEZ-GOMIS, S. PALAU, R. AYUSO-MONTERO, J. SALSENECH, M. PERAIRE Influence on static and dynamic occlusal characteristics and muscle force on masticatory performance in dentate adults *European Journal of Oral Sciences 2008; 116: 229-236*
- 11 A. SHIMADA, Y. YAMABE, T. TORISU, L. BAAD-HANSEN, H. MURATA Measurement of dynamic bite force during mastication *Journal of Oral Rehabilitation 2012; 39: 349-356*
- 12 D. KOC, A. DOGAN, B. BEK Bite force and influential factors on bite force measurements: a literature review *European Journal of Dentistry 2010; 4: 223-232*
- 13 C.P. FERNANDES, P.O. GLANTZ, S.A. SVENSSON, A. DERGMARK A novel sensor for bite force determinations *Dental Materials 2003; 19: 118-126*

- 14 A. VAN DER BILT, F.A. TEKAMP, H.W. VAN DER GLAS, J.H. ABBINK Bite force and electromyography during maximum unilateral and bilateral clenching *European Journal of Oral Sciences* 2008; 116: 217-222
- 15 J. PAPHANGKORAKIT, J.W. OSBORN Effect on jaw opening on the direction and magnitude of human incisal bite forces *Journal of Dental Research* 1997; 76: 561-67
- 16 S. RUES, J. LENZ, J.C. TÜRP, K. SCHWIZERHOF, H.J. SCHINDLER Forces and motor control mechanism during biting in a realistically balanced experimental occlusion *Archives of Oral Biology* 2008; 53: 1119-1128
- 17 N. SATO, N. YOSHIIKE Dietary patterns affect occlusal force but not masticatory behavior in children *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 2011; 57: 258-264
- 18 G. MOUNTAIN, D. WOOD, J. TOMBA Bite force measurement in children with primary dentition *International Journal of Paediatric Dentistry* 2011; 21: 112-118
- 19 W. CUSTODIO, S.G.F. GOMES, F. FAOT, R.C.M.R. GARCIA, A.A. DEL BEL CURY Occlusal force, electromyographic activity of masticatory muscles and mandibular flexure of subjects with different facial types *Journal of Applied Oral Science* 2011; 19: 343-349
- 20 E. MOTEGI, M. NOMURA, C. TACHIKI, H. MIYAZAKI, F. TAKEUCHI, S. TAKAKU, Y. ABE, M. MIYATANI, T. OGAI, A. FUMA, H. FUKAGAWA, M. KANO, K. SUEISHI Occlusal force in people in their sixties attending college for elderly *The Bulletin of Tokyo Dental College* 2009; 50: 135-140
- 21 M. FARELLA, A. PALUMBO, S. MILANI, S. AVECONE, L.M. GALLO, A. MICHELOTTI Synergist coactivation and substitution pattern of the human masseter and temporalis muscles during sustained static contractions *Clinical Neurophysiology* 2009; 120: 190-197
- 22 M.B.D. GAVIÃO, V.G. RAYMUNDO, A.M. RENTES Masticatory performance and bite force in children with primary dentition *Brazilian Oral Research* 2007; 21: 146-152
- 23 R.A. PIZOLATO, M.B.D. GAVIÃO, G. BERRETIN-FELIX, A.C.M. SAMPAIO, A.S. TRINIDADE JUNIOR Maximal bite force in young adults with temporomandibular disorders and bruxism *Brazilian Oral Research* 2007; 21: 278-283
- 24 K. KOHYAMA, E. HATAKEYAMA, T. SASAKI, H. DAN, T. AZUMA, K. KARITA Effects of a sample hardness on human chewing force: a model study using silicone rubber *Archives of Oral Biology* 2004; 49: 805-816
- 25 V.F. FERRARIO, C. SFORZA, G. SERRAO, C. DELLAVIA, G.M. TARTAGLIA Single tooth bite forces in healthy young adults *Journal of Oral Rehabilitation* 2004; 31: 18-22

- 26 P.J. LAMEY, C.A. BURNETT, L. FARTASH, T.J. CLIFFORD, J.M. MC GOVERN Migraine and masticatory muscle volume, bite force, and craniofacial morphology *Headache* 2001; 41: 49-56
- 27 K. MAKI, T. NISHIOKA, A. MORIMOTO, M. NAITO, M. KIMURA A study on the measurement of occlusal force and masticatory efficiency an school age Japanese children *International Journal of Paediatric Dentistry* 2001; 11: 281-285
- 28 S. SATO, M. OHTA, M. SAWATARI, H. KAWAMURA, K. MOTEGI Occlusal contact area, occlusal pressure, bite force, and masticatory efficiency in patients with anterior disc displacement of the temporomandibular joint *Journal of Oral Rehabilitation* 1999; 26: 906-911
- 29 D. TORTOPIDIS, M.F. LYONS, R.H. BAXENDALE, W.H. GILMOUR The variability of bite force measurement between sessions, in different positions within the dental arch *Journal of Oral Rehabilitation* 1998; 25: 681-686
- 30 H. MIURA, Y. ARAKI, T. HIRAI, E. ISOGAI, K. HIROSE, T.UMENAI Evaluation of chewing activity in the elderly person *Journal of Oral Rehabilitation* 1998; 25: 190-193
- 31 L. MIOCHE, M.A. PEYRON Bite force displayed during assessment of hardness in various texture context *Archives of Oral Biology* 1995; 40: 415-423
- 32 S. PIRANI Introduzione allo studio dei sensori e trasduttori *UNIVPM* 2006
- 33 K. KOHYAMA, E. HATAKEYAMA, T. SASAKI, T. AZUMA, K. KARITA Effect of sample thickness on bite force studied with a multiple-point sheet sensor *Journal of Oral Rehabilitation* 2004; 31: 327-334
- 34 Y. KITAFUSA Application of "Prescale" as an aid to clinical diagnosis in orthodontics *The Bulletin of Tokyo Dental College* 2004; 45: 99-108
- 35 K. ANDO, Y. FUWA, M. KUROSAWA, T. KONDO, S. GOTO Bite force measurement system using pressure-sensitive sheet and silicone impression material *Dental Materials Journal* 2009; 28: 212-218
- 36 K. BABA, Y. TSUKIYAMA, G.T. CLARK Reliability, validity, and utility of various occlusal measurement methods and techniques *The Journal of Prosthetic Dentistry* 2000; 83: 83-89
- 37 M.F. LYONS, S.W. CADDEN, R.H. BAXENDALE, R. YEMM Twitch interpolation in the assessment of the maximum force-generating capacity of jaw-closing muscles in man *Archives of Oral Biology* 1996; 41: 1161-1168